



***16th Brazilian Congress of Mechanical Engineering***

***Engineering for the New Millennium***

---

# PRODUCTION MANAGEMENT

ISBN 85-85769-06-6



## Production Management

TRB0016	7
RAPID PROTOTYPING: INTEGRATING RESEARCH AND DEVELOPMENT INTO THE COMPETITIVENESS AND PRODUCTIVITY	
Latini, Fernando Horta Souza e Lima, Vera Lúcia	
TRB0115	17
ON THE DEVELOPMENT OF AN OXI-CUT PROCESS ORIENTED CAD/CAPP/CAM COMPUTER ENVIRONMENT	
Silva, Alexandre Garcia Costa da Carvalho, Guilherme Caribé de Alfaro, Sadek Crisostomo Absi	
TRB0122	27
APPLICATION OF THE QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD) METHODOLOGY TO MANAGE ACTIVITIES OF SPECIALIST DEVELOPMENT IN ORDER TO SUSTAIN COMPETITIVE ADVANTAGE (CA)	
Quinones, Rosa Maria Lourenção, Paulo Tadeu De Mello Carvalho, Luiz Carlos Ferreira Rosa, Haroldo Luiz	
TRB0127	38
RELATIONSHIP AMONG THE REQUERIMENTS OF ISO 9001: 2000 AND JOB FUNCTIONS THROUGH QFD	
38 Dias, José Celso Sobreiro Miguel, Paulo Augusto Cauchick	
TRB0200	48
KNOWLEDGE DECOMPOSITION AND EXPERT SYSTEMS FOR SUPPORTING CONCURRENT ENGINEERING PROJECTS	
Araujo, Rodrigo Hermes de Possamai, Osmar Valentina, Luiz Dalla	
TRB0241	55
FLEXIBLE MANUFACTURING OF STONWARE FOR TRADITIONAL AND MICROWAVE OVENS IN THE PORTUGUESE CERAMIC INDUSTRY.	
Almeida, António Paiva, João Monney Esteves, José	
TRB0340	65
CHARACTERIZATION OF CORPORATE EDUCATION PROGRAMS FOR THE PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS	
Mundim, Ana Paula Freitas Rozenfeld, Henrique	
TRB0397	75
A METHODOLOGY FOR REMOTE MANUFACTURE OF MECHANICAL PARTS	
Ferreira, João Carlos Espíndola Andriolli, Gabriel Fernando	

TRB0545	82
A STATISTICAL STUDY OF THE CONTROL, CAPABILITY, REPETEABILITY AND REPRODUCIBILITY OF A TEMPERATURE MEASUREMENT PROCESS	
Butkewitsch, Sergio	
Gassani, Ibrahim Andraus	
Amorim, Rosângela Oliveira Do Prado	
Gustin, Pedro Crosara	
Almeida, Ricardo José	
TRB0555	91
REPMA - A METHODOLOGY OF REDESIGN FOR ENVIRONMENT	
Bitencourt, Antônio Carlos Peixoto	
Ogliari, André	
Forcellini, Fernando Antonio	
TRB0594	101
ANALYSIS OF THE AGILITY DRIVERS THROUGH MAKING-DECISION APPROACH: ANP - ANALYTICAL NETWORK PROCESS	
Souza, Antônio Carlos de	
Batocchio, Antonio	
TRB0644	111
SUPPLY CHAIN MANAGEMENT COSTING IDENTIFICATION: A SOURCE FOR ENTERPRISE'S COMPETITIVE ADVANTAGE	
Lima, Flavio Costa Ribeiro de Lima	
Monteiro, Rogério	
Batocchio, Antonio	
TRB0645	121
SEMIAUTONOMOUS TEAM FOR AMAZON PROGRAM	
Nakamura, Rogerio	
Batocchio, Antonio	
Lopreto, Amauri	
TRB0704	128
APPLICATION OF THE EXPERIMENTAL DESIGNS IN THE PROCESS OF MANUFACTURE OF PLASTIC PRODUCTS	
Galdámez, Edwin V C	
 Carpinetti, Luiz C R	
TRB0713	138
INTEGRATING HUMAN RESOURCES WITH CONCURRENT ENGINEERING	
Galdámez, Edwin V C	
Branício, Simone de A. R.	
Bond, Emerson	
TRB0766	145
ENTERPRISE SOLVENCY DIAGNOSIS: A FUZZY LOGIC APPLICATION FOR FINANCIAL ANALYSIS	
Borelli, João Eduardo	
Souza, Marcus Vinicius	
Scarpel, Rodrigo Armando	
Miloni, Armando Zeferino	
Gonzaga, Luis Gonzaga	



TRB0833	155
INVESTMENT ANALYSIS TECHNIQUES APPLIED TO THE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT.	
Monteiro, Rogério	
Lima, Flávio Costa Ribeiro De	
Batocchio, Antonio	
TRB0921	162
LOGISTICS - SOURCE AND SOLUTION OF PROBLEMS IN THE FASHION INDUSTRY	
Nunes, Fernando Ribeiro De Melo	
Nunes Filho, Fernando R.M.	
Taboada, Carlos Manuel Rodriguez	
TRB0991	171
DISCRETE-EVENT SYSTEM SIMULATION WITH INTERFACE OF VIRTUAL REALITY FOR MANUFACTURE SYSTEMS	
Palma, Jandira Guenka	
Porto, Arthur José Vieira	
TRB1035	181
STRATEGIC PLANNING AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT	
Gimenez, Claudemir	
Silva Filho, Oscar Salviano	
Monteiro, Rogério	
Batocchio, Antonio	
TRB1110	189
THE USE OF BENCHMARKING THROUGH THE QUALITATIVE RESEARCH: PROPOSALS OF IMPROVEMENTS FOR THE BRAZILIAN ALUMINIUM FOUNDRY INDUSTRY (AUTOMARKET).	
Bonifacio, Mario	
Zoqui, Eugênio José	
TRB1128	194
ASSEMBLY AUTOMATION ASSISTED BY AN INTELLIGENT COMPUTER SYSTEM	
Mendes, Luiz Gentil	
Trabasso, Luís Gonzaga	
TRB1128	203
ASSEMBLY AUTOMATION ASSISTED BY AN INTELLIGENT COMPUTER SYSTEM	
Mendes, Luiz Gentil	
Trabasso, Luís Gonzaga	
TRB1470	207
ENGINEER QUALIFYING PROGRAM INCLUDED IN EMBRAER PRODUCT DEVELOPMENT CYCLE	
Yasuda, Luciane Hitomi	
Loureção, Paulo	
TRB1592	218
EMPIRICAL MODELLING IN PRODUCT DESIGN	
Fischer, Carlos Norberto	
Beynon, Meurig	
TRB1690	226
EMPIRICAL MODELLING FOR THE LOGISTICS OF REWORK IN THE MANUFACTURING PROCESS	
Fischer, Carlos Norberto	
Beynon, Meurig	
Evans, Michael	



TRB1911 OPTIMAL STRATEGY OF CONTROL IN FLOOD PROBLEMS Silva, Maurício Guimarães da Ortiz, L.M.R.	235
TRB2025 “FEATURES”: A NEW PARADIGM IN CAD/CAM SYSTEMS Cuevas, Luis Rodríguez Tsuzuki, Marcos de Sales Guerra	243
TRB2028 TRANSFORMING ORTHOGRAPHIC PROJECTIONS IN THREE-DIMENSIONAL B-REP SOLIDS Cuevas, Luis Rodríguez Tsuzuki, Marcos de Sales Guerra	253
TRB2039 MECHANICAL DESIGN DATA APPROACH BASED ON OBJECTS AND FEATURES Cunha, Raimundo Ricardo Matos Dias, Altamir	263
TRB2048 MODELLING THE PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS IN COMPLEX INDUSTRIAL ORGANIZATIONS: EMBRAER'S APPROACH - INSIGHTS AND LESSONS LEARNED Araujo, Claudiano Sales Mendes, Luiz Alberto Gentil Toledo, Leonardo Bastos	272
TRB2103 BUILDING A MODEL OF KNOWLEDGE MANAGEMENT ASSESSMENT IN THE PRODUCT DEVELOPMENT 282 Silva, Sergio Luis Rozenfeld, Henrique	282
TRB2234 ANALYSIS AND MODELING OF THE PRODUCTIVE AND LOGISTICS ACTIVITIES IN AGRIBUSINESS SEEKING SIMULATION STUDIES: AN APPLICATION IN THE SECTION OF CANE SUPPLY IN SUGAR CANE INDUSTRY Yamada, Mamoru Carlos Porto, Arthur José Vieira Miranda Jr., José Luiz Inamasu, Ricardo Yassushi	292
TRB2293 DATA WAREHOUSE TECHNOLOGY APPLIED TO SHOP-FLOOR DATA TO IMPROVE PRODUCTION DEMAND Nagai, Walter Aoiama USP Carpinetti, Luis C. R. Rezende, Solange Oliveira Bond, Emerson Oliveira, Robson Butaca Taborelli	302
TRB2344 ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM ADAPTED BY THE INDUSTRY IN SÃO JOSÉ DOS CAMPOS Kuroshima, Roberto Kazuo Lourenção, Paulo	310



TRB2387	318
THE UTILIZATION OF MISTAKE PROOFING DEVICES: POKA YOKE'S CONCEPT EMPLOYED IN THE PERFORMANCE IMPROVEMENT OF THE MANUFACTURING PROCESSES.	
Calarge, Felipe Araújo Davanso, José Carlos	
TRB2581	327
DEVELOPMENT OF A LINE BALANCING SYSTEM BASED ON COMSOAL METHOD	
Togawa, Eduardo Takashi de Paula, Júlio Vital Diniz Álvares, Alberto José	
TRB2688	335
A NEW STRATEGY OF 2 ½ D POCKETS MACHINING	
Oliveira, Leandro Costa de Tsuzuki, Marcos de Sales Guerra	

# PROTOTIPAGEM RÁPIDA: INTEGRANDO PESQUISA E DESENVOLVIMENTO À COMPETITIVIDADE E PRODUTIVIDADE

## Fernando Horta Latini

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - R. Des. Custódio Lustosa, 125 - Itapôa, BH - Cep: 31710-630  
[fernando.latini@datasul.com.br](mailto:fernando.latini@datasul.com.br)

## Vera Lúcia de Souza e Lima

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Av. Amazonas, 7675 - Nova Gameleira, BH - Cep: 30510-000  
[veralima@dppg.cefetmg.br](mailto:veralima@dppg.cefetmg.br)

*A existência de um mercado carente em torno de protótipos na grande Belo Horizonte foi detectada pela prefeitura em consequência do Programa de Internacionalização da Cidade. Era necessário desenvolver um projeto que levantasse as formas de trabalhar com protótipos, as necessidades das pessoas envolvidas, em fim, de concretizar um ambiente onde pudessem ser desenvolvidos protótipos. É objetivo deste demonstrar a importância de trabalhar com modelos tridimensionais ao longo do desenvolvimento de produto, com suas implicações no custo, tempo e qualidade do projeto e partir daí mostrar aos potenciais usuários de Prototipagem Rápida informações básicas, vantagens e desvantagens, na transformação da indústria, acelerando o processo de projeto e produção de novos produtos. O desenvolvimento deste trabalho se dá apoiado em uma vasta pesquisa bibliográfica. Posteriormente foram feitas entrevistas com pessoas envolvidas no assunto a fim de verificar suas expectativas, seus conhecimentos e as possibilidades de implantações destas tecnologias. Conclui-se que esta tecnologia vem a ser um estágio final automatizado de um processo de criação e desenvolvimento de produto. Porém são inúmeras as finalidades que se pode dar a esta tecnologia, que se desenvolve rapidamente, implicando em uma constante atualização das pessoas que procuram integrar pesquisa e desenvolvimento à competitividade e produtividade.*

*Palavras chave: Prototipagem Rápida, Modelos Tridimensionais, CAD, Processos Produtivos, Projeto de Produto*

## 1. Objetivos

Este trabalho procura demonstrar a importância de se trabalhar com modelos tridimensionais durante o desenvolvimento de produto e divulgar as técnicas de Prototipagem Rápida - PR - no que podem transformar a indústria brasileira, acelerando o processo de projeto e produção de produtos novos para o mercado. Demonstrando as vantagens pela qual grandes empresas estão adotando estas novas tecnologias. Como esta tecnologia é relativamente cara para micro, pequenas e até médias empresas há uma saída que cada vez mais é utilizada na economia capitalista e globalizada que são as terceirizações e as parcerias. Tornando desta forma acessível a todos os tipos de empresas que desejam utilizar tais tecnologias.

Objetiva-se, ao final deste trabalho, preparar, conceituar e criar um ambiente acadêmico propício para o desenvolvimento de uma cultura de Prototipagem Rápida, baseando-se em modelos matemáticos, oferecendo aos alunos instrumentos necessários para que possam superar dificuldades na conclusão de projetos através dos modelos e protótipos.

Neste trabalho são apresentadas informações introdutórias pesquisadas e resumidas para apresentação deste trabalho, sobre os processos mais utilizados no mundo e alguns casos de empresas que utilizam técnicas de PR. Através deste será demonstrado porque a PR está no topo do desenvolvimento de novos produtos e como ela pode ajudar do desenvolvimento de novos projetos.

## 2. Introdução

Os sistemas de inovação representam um instrumento indispensável para sustentar o desafio da flexibilidade e da eficiência produtiva. Essas atividades envolvem a constante integração de parceiros que serão sempre buscados visando uma maior base e amplitude das propostas apresentadas.

A habilidade mais cobiçada, hoje, pela indústria é o "Know-how" de produzir protótipos tecnologicamente avaliados dentro das técnicas de compressão de tempo. A pesquisa científica na prospecção tecnológica (básica, chave, ponta ou emergente) é um fator chave de competição e sucesso dos negócios centrados em tecnologia.

A capacidade de resposta das empresas às necessidades do mercado de produzir uma grande variedade de produtos de qualidade com tempo e custo reduzidos é a chave para a competitividade. Produtos frequentemente são feitos em vários ciclos completos através de projeto, prototipagem e fabricação antes de atingir a produção. Por esta razão, a transição rápida do conceito do produto à produção em massa é um desafio a ser vencido e a PR é um elemento determinante para o sucesso do desenvolvimento de novos produtos. A PR permite que as características de projeto sejam simuladas e avaliadas visualmente e funcionalmente antes de serem produzidos em massa.

Tendo o mercado brasileiro grande carência nesta área de prototipagem pode-se dizer que este é um nicho para a

terceirização da PR. Micros, pequenas e médias empresas teriam acesso a tecnologia que proporcionaria maior competitividade e lucratividade. O problema para a disseminação desta tecnologia é a falta de conhecimento do assunto, as empresas em geral desconhecem esta tecnologia e seus benefícios, e este trabalho procura suprir esta carência demonstrando ao longo de seu desenvolvimento informações julgadas úteis para conhecimento desta nova tecnologia.

O texto foi organizado de forma que cada assunto que envolve este trabalho, fosse apresentado separadamente, de modo que possa-se buscar a informação necessária mais rápida e precisamente, começando pelo conceito de modelos. Depois é tratado o conceito de protótipos e a partir deste ponto entra-se dentro do tema central deste trabalho: Prototipagem Rápida. É feita uma abordagem de seu conceito e seu histórico. É apresentado, sucintamente, pontos importantes levantados durante a realização de algumas visitas técnicas. A importância do CAD também é tratado neste trabalho. Finalizando a parte da pesquisa referente PR é apresentado no que poderá ser o futuro da PR. Após todas informações inerentes a PR é tratado da questão do laboratório no CEFET-MG. Foi feito um levantamento, através de pesquisas com alunos para se ter uma noção do grau de conhecimento sobre os assuntos que envolvem este trabalho e da importância do CEFET-MG possuir um laboratório que auxilie os alunos a materializarem seus projetos através de modelos e protótipos e também ser uma forma de começar a desenvolver pessoas com visões um pouco mais prática no desenvolvimento de projetos. As informações foram tabuladas e seus resultados apresentados em forma de tabelas e gráficos. Finalizando o trabalho foi feita a conceituação do laboratório inicialmente proposto.

### 3. Modelos

Para começar a trabalhar com modelos é preciso que se tenha um pouco de conhecimento de conceitos, material, etapas em que são usados e sua importância no desenvolvimento de projeto de produtos.

Bomfim et all (1977) mostra que no desenvolvimento de produto, a representação tridimensional é imprescindível como apoio projetual, e a elaboração de modelos permite ir verificando a validade das soluções propostas.

Segundo Monteiro (1990), diversos tipos de modelos de produto podem ser construídos de acordo com o objetivo. A execução de modelos é feita ao longo do desenvolvimento do projeto, em etapas definidas e atendendo às necessidades de verificação e avaliação de cada um desses momentos.

A seguir é apresentado várias definições de pessoas ligadas diretamente a modelos e também de alguns livros.

O modelo, segundo professores de curso de Desenho Industrial da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP é: “... a execução do modelo fica assim restrita a três etapas bem definidas: pré-modelo, modelo e protótipo”.

- pré-modelo ou modelo de avaliação volumétrica. Este modelo pode ser executado em qualquer material sem necessidade de relação com o produto final. Não são considerados detalhes formais, estruturais ou construtivos. Os materiais utilizados na confecção destes modelos devem ser de baixo custo, fácil manuseio e permitir alterações formais rápidas. Exemplo: isopor, papel, argila e etc. As cores ideais destes modelos são o cinza ou bege. Por meio do modelo é possível avaliar a diferença de sensações dimensionais entre o desenho e o objeto.
- modelo ou simulacro. É um modelo de avaliação formal e ergonômica do objeto. Deve reproduzir fielmente os aspectos formais do objeto, dimensões, formas, cores, texturas, detalhes de acabamento... Esse modelo, não funcionará e, portanto não pode ser utilizado como objeto real para avaliação do desempenho operacional (...) Os materiais utilizados na elaboração de simulacros são de livre escolha, entretanto, devem apresentar características visuais semelhantes às dos materiais que serão utilizados para produção do objeto. Alguns materiais utilizados neste modelo são: gesso, madeira, plástico, metal, etc.”

Segundo alguns professores da Escola de Design da UEMG que atuam na área de planejamento e projeto declaram: “Modelo é a representação tridimensional de um projeto em desenvolvimento, com os objetivos de simulação e aferição dos aspectos estéticos – formais (volumes), análise ergonômicas e antropométricas – e materiais que compõem o projeto original. Durante o desenvolvimento do projeto, podem ser utilizados vários conceitos de modelo:

- Modelo de volume (Escala reduzida): trata-se de um modelo formal em escala reduzida, utilizando para sua execução materiais mais fáceis de serem manuseados e sem tratamento da superfície. Sua função é observar questões estéticas, formais e funcionais.
- Modelo de volume (Escala natural): o objetivo é ter as mesmas leituras efetuadas no modelo reduzido, possibilitando análise mais precisa dos fatores ergonômicos e antropométricos. Possibilita, também, avaliar os princípios de fabricação (materiais, processos, custos, etc.).
- Modelo de apresentação é o modelo com bom acabamento de superfície que tem como objetivo simular o projeto proposto.
- Mock-up é um modelo em escala natural que visa a análise de detalhes de funcionamento do projeto, em partes ou como um todo”.

O modelo segundo Bonsiepe (1983) distingui-se entre diferentes tipos de modelos, classificados segundo a função que compõem no processo projetual:

- modelo de volume: apresenta volume e contorno geral, reduzindo a corpos geométricos simples;
- pré-modelo: não é replica fiel de um desenho técnico, e serve, ao contrário, para corrigir e avaliar detalhes que não se pode determinar através de desenhos. É preferível pintá-los em branco ou cinza claro para poder controlar os detalhes formais;
- modelo de apresentação: serve para simular o produto a produzir, com alto grau de iconicidade;
- modelo operativo: serve para ver o funcionamento de mecanismos, detalhes orgânicos e detalhes operativos ;
- modelo estrutural: serve para mostrar a divisão do produto em componentes”.



Após o levantamento feito acerca de modelos percebe-se que há uma variação na denominação dada aos diversos tipos de modelos. No entanto, independentemente desta denominação, a importância está no papel que cada tipo de modelo desempenha nas diversas etapas do projeto e na suas características.

#### 4. Protótipo

Seguindo o levantamento feito para modelos são apresentadas informações pertinentes a protótipos que são imprescindíveis para que se tenha a clara importância dele no ciclo de desenvolvimento de produtos, o que realmente é um protótipo e as formas de confecção do mesmo e suas características.

No início da era industrial, o protótipo era o produto feito pelo mestre, que depois deveria ser produzido em massa. Baxter (1998) mostra que, no projeto de produtos, a palavra protótipo refere-se a dois tipos de representação dos produtos. Primeiro, no sentido mais preciso da palavra, refere-se à representação física do produto que será eventualmente produzido industrialmente. Em segundo lugar, usa-se o termo protótipo no sentido mais lato, para qualquer tipo de representação física construída com o objetivo de realizar testes físicos.

O protótipo, segundo professores de curso de Desenho Industrial da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP é: "... modelo que reproduz fielmente o objeto final a ser produzido e serve para avaliar o desempenho do objeto projetado na utilização normal. Deve ser executado nos mesmos materiais ou materiais equivalentes aos do produto. Entretanto, o protótipo não é produzido pelos mesmos processos do produto industrializado. O protótipo é sempre confeccionado artesanalmente, por intermédio de processos manuais de modelagem, usinagem, etc".

Segundo alguns professores da Escola de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais que atuam na área de planejamento e projeto afirmam: "Protótipo é o modelo feito obrigatoriamente em escala natural, fabricado artesanalmente com materiais empregados no projeto e tem como objetivo a análise final do produto, adequando-o ao processo de fabricação".

E segundo Baxter (1998): "Os protótipos são feitos em escala natural, com os mesmos materiais do produto final e são dotados de todos os mecanismos funcionais, inclusive para a realização de testes de seu funcionamento".

#### 5. Prototipagem Rápida

Como este artigo é um trabalho que têm a preocupação de esclarecer pessoas que não tem muito conhecimento (ou nenhum) sobre protótipo e PR procurou-se compilar ao máximo as informações a fim de se deixar claro este assunto.

Nos últimos anos surgiu uma nova família de máquinas altamente inovadoras que permitem, com tecnologias e materiais diferentes, obter um protótipo de um modelo ou de um molde, de maneira precisa e rápida a partir do modelo sólido gerado no sistema CAD 3D. Tais máquinas, conhecidas como máquinas de Prototipagem Rápida, Fig. (1), permitem obter peças físicas acabadas, de modo automático, de qualquer forma e em dimensões finais, com complexidade e detalhes que não permitiriam sua obtenção em máquinas convencionais de usinagem, ou tornariam sua execução demorada ou complexa em centros de usinagem numericamente comandados. Dessa forma, tais máquinas possibilitam uma maior velocidade e menor custo na obtenção de protótipos se comparado aos processos tradicionais de usinagem. Hilton (1995) destaca que em certos casos estas técnicas permitem a obtenção de matrizes capazes de produzir uma quantidade limitada de peças, ideal para o emprego na produção de lotes pilotos. Está técnica é chamada de Rapid Tooling, e não será vista em maiores detalhes neste artigo. Tal tecnologia possibilita que as empresas possam desenvolver produtos mais rapidamente (menor time to market) e com menor custo, e, principalmente, com um acréscimo na qualidade por meio de uma melhor avaliação do projeto. Volpato (1999) acrescenta que a PR leva também à uma diminuição das incertezas e riscos. É o caso do ferramental, por exemplo, cujo risco de perda por falhas no projeto diminui drasticamente e também, do produto que, uma vez tornado físico pode ser melhor avaliado antes da decisão de dar continuidade ao seu desenvolvimento.

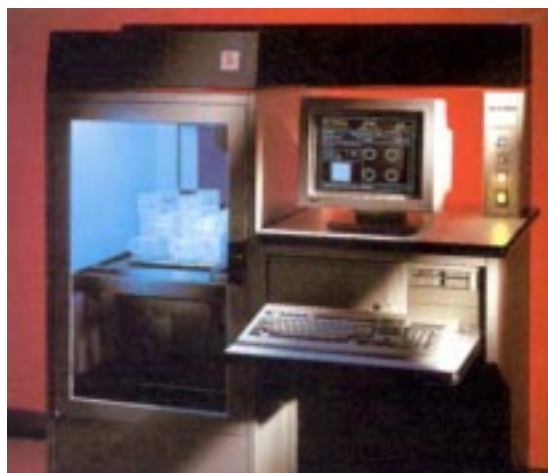


Figura 1 – Máquina de PR modelo SLA-250 da 3D Systems

Para Carvalho (1999) quando usados corretamente, sistemas de PR podem economizar quantias impressionantes de tempo e dinheiro. Em empresas que usam adequadamente PR os tempos de desenvolvimento do produto e dos processos de prototipagem foram reduzidos em semanas e até mesmo meses, e ainda aumentados a qualidade dos seus produtos. Desta forma o produto pode ser comercializado semanas ou meses antes de seus concorrentes e isso pode significar a diferença entre sucesso e fracasso, podendo competir com maior eficiência.

De forma geral PR são conjuntos de tecnologias relativamente novas que procuram atender o desenvolvimento de um projeto através de suas diferentes aplicabilidades. Este conjunto de processos e técnicas auxiliam o desenvolvimento de produtos tornando-os tecnologicamente superiores a um preço e tempo menores.

De forma mais precisa PR é uma tecnologia que possibilita produzir modelos e protótipos partir do modelo sólido 3D gerado no sistema CAD ou, em alguns poucos casos, modelos gerados a partir de digitalização em 3D. Ao contrário dos processos de usinagem, que subtraem material da peça bruta para se obter a peça desejada, os sistemas de PR geram a peça a partir da união gradativa de materiais. Camada por camada, a partir de seções transversais da peça obtidas a partir do modelo 3D. Máquinas de PR produzem peças em plásticos, madeira, cerâmica, metais e tintas. Os dados para as máquinas de PR são gerados no sistema CAD no formato STL, que aproxima o modelo sólido por pequenos triângulos ou facetas. Quanto menor forem estes triângulos, melhor a aproximação da superfície, ao custo de maior tamanho do arquivo STL e tempo de processamento. Um vez que o arquivo STL é gerado, as demais operações são executadas pelo próprio software que acompanha as máquinas de PR. Basicamente estes softwares irão, além de operações básicas de visualização, gerar as seções transversais do modelo que será construído. Tais dados são descarregados para a máquina que irá depositar as camadas sucessivamente até que a peça seja gerada.

Para Ippolito (1995) os sistemas de PR têm um grande interesse no desenvolvimento de novos produtos. Numa fase inicial, eles servem para testar o *design* e a funcionalidade dos componentes projetados; numa fase mais avançada é possível obter a partir deles ferramentas de produção, de menor custo e em menor tempo, destinadas à produção das pré-séries para ensaio dos componentes e para projeto das ferramentas de produção definitivas. Nestas condições, a PR deverá ser considerada como uma ferramenta básica em um sistema de Engenharia Simultânea que consiste em um modelo de gerenciamento de projetos que ao mesmo tempo em que permite maior difusão da informação e tomada de iniciativa por parte das equipes envolvidas, exige maior rigor projetual. Entretanto não cabe ao escopo deste trabalho aprofundar-se com este assunto.

As técnicas de PR surgiram inicialmente em 1987 com o processo de estereolitografia da empresa americana 3D Systems. O sistema SLA-1, o primeiro sistema de prototipagem disponível comercialmente foi um precursor da máquina SLA - 250, bastante popular nos dias de hoje. Após a empresa 3D Systems iniciar a comercialização de máquinas SL nos EUA, as empresas japonesas NTT Data e Sony/D-MEC passaram a comercializar suas versões de máquinas de estereolitografia em 1988 e 1989, respectivamente. Em seguida, em 1990, a empresa Eletro Optical Systems - EOS na Alemanha, passou a comercializar o sistema conhecido como Stereos.

Entre os principais processos de PR, Tab. (1), podemos associar, muitas vezes, o processo ao nome da empresa desenvolvedora ou de maior sucesso dentro do mercado. A maioria, nem todos o são, dos processos de construção baseiam-se no fatiamento do objeto, ou seja, os protótipos são construídos a partir de camadas sobrepostas de material.

Tabela 1 – Principais Processos de Prototipagem Rápida

NOME EM PORTUGUÊS	ABREVIACÃO	NOME EM INGLÊS	EMPRESA
Estereolitografia	SL	Stereolithography	3D Systems
Fusão e Deposição de Materiais	FDM	Fused Deposition Modelling	Stratasys
Sanders Modelmaker		Sanders modelmaker	SPI
Modelagem por Jato Múltiplo	MJM	Multi Jet Modelling	3D Systems
Genesys		Genesys	Stratasys
Laminação de Objetos para Modelos	LOM	Laminated Object Manufacturing	Helisys
Tecnologia de Camada de Papel	PLT	Paper Layer Technology	KIRA
Sinterização a Laser Seletivo	SLS	Selective Laser Sintering	DTM/EOS
Direct Shell Production Casting	DSPC	Direct Shell Production Casting	Soligen

Nos processos de PR existem limitações construcionais que tornam necessários o pós-processamento. Cada processo determina a quantidade e qualidade de pós-processamento necessário para o acabamento final da peça-protótipo. A necessidade ou não de pós-processamento fica a critério da utilização à qual será submetido o protótipo. Muitas vezes o pós-processamento se caracteriza também, além das características do processo, pelo material utilizado.

Os principais motivos para se querer o pós-processamento são: Eliminação do efeito "stairs" (escadas) provocado pela diferença entre as camadas de fabricação, remoção de restos ou marcas de suportes, alteração da cor, impermeabilização da peça e outros.

## 6. O Mercado

Segundo Wohlers (1999) já existem mais de 4.000 sistemas instalados e operando no mundo todo, como ilustra a Fig. (2). Este mercado movimentou quase meio bilhão de dólares em 1998, Fig. (3). Este valor é a soma de dois

segmentos distintos: Produtos e Serviços. Por Produtos, entende-se os sistemas de PR propriamente dito, os materiais consumidos por tais sistemas, software e canhões de laser utilizados pelos sistemas. Serviços, por sua vez, é representado principalmente pelos protótipos produzidos pelos *bureau* (centros) de serviços. Inclui-se também como serviços os contratos de manutenção, seminários, conferências, exposições, treinamento e serviços de consultoria.

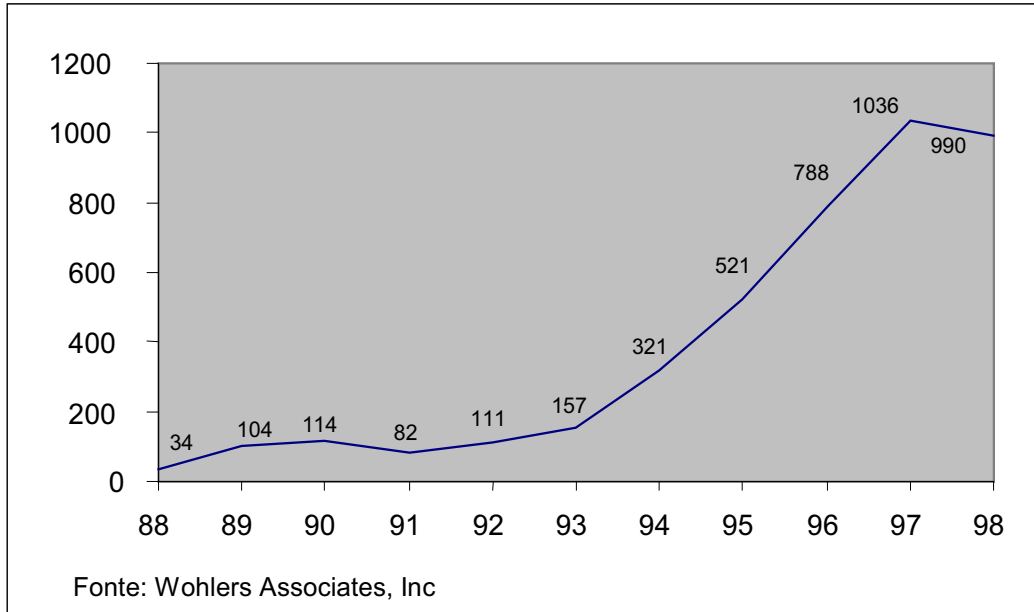


Figura 2: Sistemas de Prototipagem Rápida vendidos no mundo anualmente.

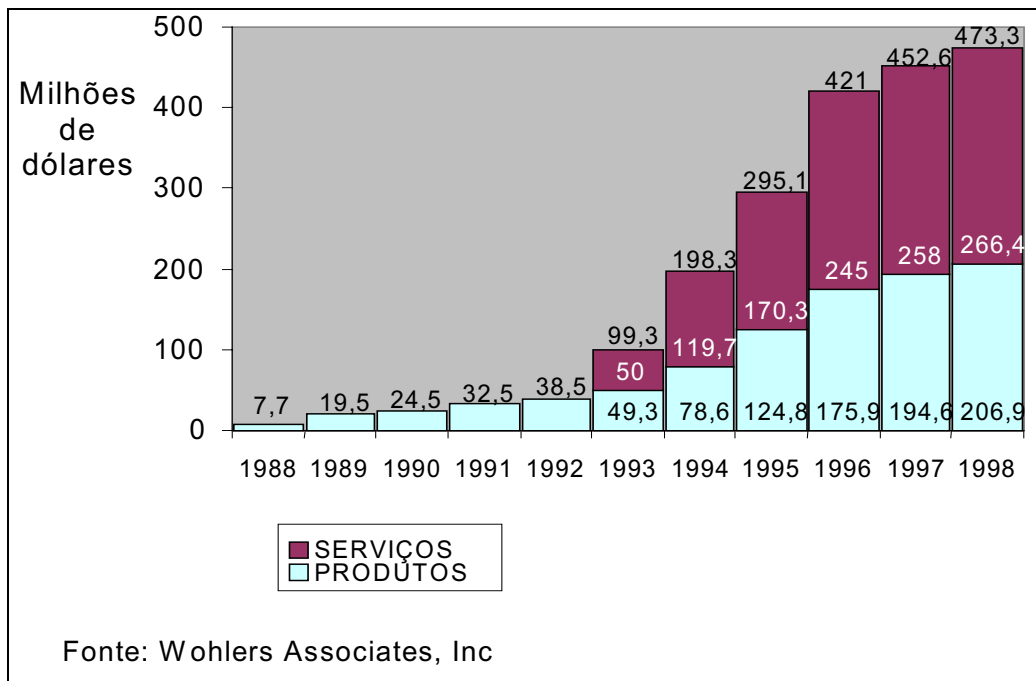


Figura 3: Mercado Mundial de Prototipagem Rápida

Wohlers (1999) acrescenta que o setor de serviços ainda é ligeiramente maior que o de Produtos. Para se ter uma idéia do crescimento deste mercado, em 1992 havia registro de apenas 42 *bureau* de serviços em operação no mundo todo e em 1998 já eram 334. Este imenso crescimento do mercado de serviços de PR fez surgir um novo fenômeno. O aumento da oferta de serviços forçou a queda de preços dos *bureau* de serviços. Protótipos que há seis anos custavam US\$ 3,000 hoje podem ser comprados por menos de US\$ 400. Pressionado por esse mesmo mercado, os tradicionais fabricantes de máquinas de PR se viram obrigados a desenvolver sistemas cada vez mais rápidos, com melhor acabamento superficial, introduzindo novos materiais de PR e, principalmente, de menor preço.

E justamente pensando neste mercado de serviços que este trabalho foi proposto, pensando em criar um ambiente onde as pessoas tenham capacidade técnica de desenvolver protótipos através das mais modernas técnicas de compreensão de tempo que é a PR, além de dar subsídios ao corpo docente e discente do CEFET-MG no

desenvolvimento de projetos apoiados em modelos tridimensionais e prestar serviços de qualidade para as micro e pequenas empresas da região metropolitana de Belo Horizonte carentes no desenvolvimento de seus produtos.

## 7. Relações de Custo

Em contra partida (ou a favor), exige-se a necessidade de atualização constante, alerta permanente, ou seja, um processo dinâmico de planejamento que permita uma nova formulação da visão de negócio e de um ambiente competitivo no futuro e a decisão de providencia mediata que devem ser tomadas em curto prazo.

A PR aponta para o desenvolvimento e integração de métodos, ferramentas, ambientes e tecnologias para automatizar projeto e produção. A integração permitirá ao projetista testar e simular o desempenho da peça num ambiente CAD/CAE, antes mesmo da produção. Isto permite detectar erros nos primeiros estágios do ciclo de desenvolvimento de produtos, quando mudanças ainda não são caras reduzindo de forma significativa o tempo entre a concepção inicial de um produto e sua produção, trazendo benefícios no custo, eficiência, e na qualidade do produto final. A PR vem reforçar a existência do paradigma da Engenharia Simultânea na qual planeja as mudanças a serem feitas o mais cedo possíveis no ciclo de vida do produto. E este tem se tornado cada vez mais curto, devido a inúmeros fatores e os métodos tradicionais de prototipagem são freqüentemente lentos e caros.

Segundo Baxter (1998), o custo das mudanças de projeto ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto, aumenta em cerca de uma ordem de magnitude conforme se passa de uma fase para a seguinte. Ele sugere que as apostas devem ser baixas quando os riscos são elevados e que só devem ser aumentadas quando o risco se reduzir.

Barkan e Iansiti (1993) resumiram a importância da PR na indústria altamente competitiva dando ênfase ao “planejamento antecipado, definição antecipada do produto, maior empenho durante o início do programa e empenho intensivo no projeto antecipado”. Eles acreditam que a identificação de problemas nos primeiros estágios da definição do produto pode reduzir drasticamente o tempo total de desenvolvimento. Por outro lado, a introdução de mudanças em estágios mais avançados pode acarretar em produtos caros, de qualidade inferior, uma força de trabalho maior, baixa produtividade e planejamentos severamente comprometidos. Enfatizam, também, a prototipagem antecipada, como um recurso para reduzir o risco de inovação o qual implica na introdução de novas características do produto. Finalmente, eles apontam a relação entre qualidade do protótipo e qualidade de produto: “Qualidade final de um protótipo pode ser medida em termos do número e características das mudanças do projeto/produção decorrentes de sua avaliação. Esta medida da qualidade do protótipo pode ser usada como um prognóstico da qualidade do produto final”.

De acordo com Hilton (1995), o uso das técnicas de PR na fabricação de ferramentas pode reduzir em 75% o tempo de desenvolvimento, reduzindo também o custo de desenvolvimento do produto. Como exemplo, os fabricantes de brinquedo, poderiam utilizar tecnologias de PR para suprir suas necessidades de produção em larga escala do mesmo produto em um tempo limitado, com desenvolvimento de novos produtos para cada época do ano.

## 8. Visitas Técnicas

Para se ter uma noção precisa da situação das empresas na região metropolitana de Belo Horizonte foram realizadas diversas visitas técnicas, entre os meses de agosto a novembro de 2000, a empresas que produzem produtos, empresas que produzem protótipos, empresas que produzem próteses e escritórios de *design* especializados em desenvolver produtos para terceiros. Porém, devido o artigo ter um número limitado de páginas não será relatado detalhadamente estas visitas, entretanto não se poderia deixar de reforçar que a constatação levantada pela prefeitura de Belo Horizonte é muito condizente e a realidade a que estão inseridas diversas empresas precisa ser mudada para que as mesmas possam ter maior poder de competição. Uma carência alarmante constatada é a falta de pessoal qualificado para trabalhar com protótipos e com desenvolvimento de modelos tridimensionais, nem tanto em relação a sua execução, pois existem cursos profissionalizantes que poderiam suprir esta carência, mas sim pela falta de conhecimento dos benefícios de se trabalhar com tais possibilidades. Mais a frente será mostrado também que o local onde deveria ser ensinado um pouco disto, que é a universidade, também é carente neste ponto. Portanto para melhorar a indústria é preciso melhorar a formação das pessoas que nela irão atuar.

## 9. Desenho Auxiliado por Computador (CAD) e a Prototipagem Rápida

A ferramenta CAD é muito utilizada atualmente em empresas e em cursos profissionalizantes e cursos superiores, entretanto poucas são as pessoas que sabem que é através dela que são gerados os arquivos a serem utilizados em máquinas de PR. Portanto está parte do artigo tratará deste assunto procurando demonstrar os meios e as facilidades que é trabalhar com os arquivos para a tecnologia de PR.

Os avanços do modelamento sólido em CAD também contribuíram para o crescimento da PR. Sem um modelo de CAD, é impossível produzir os dados necessários para o desenvolvimento de protótipo utilizando PR, com a exceção de dados de alguns escâneres 3D e sistemas de digitalização, embora eles representam uma pequena porcentagem dos dados dirigidos as máquinas de PR. Assim quando se refere a PR como um auxílio para o *design*, quase todas partes são construídas utilizando um modelo em CAD, e quase todos são modelos sólidos 3D. Por isto, o mercado de PR só crescerá tão rápido quanto o mercado de modelamento sólido em CAD.

Considerando que a PR e o modelamento sólido em CAD são tecnologias complementares, elas ajudam a se desenvolverem uma a outra. Algumas companhias só compraram sistemas modelamento sólido, após a decisão de

trabalharem com PR. Também há algumas companhias que estão comprando sistemas de modelamento sólido porque num futuro próximo poderão vir a trabalhar com PR. Assim eles realmente ajudam na venda um do outro. Algumas companhias vêm a modelamento sólido como um protótipo inicial e a PR como parte de um protótipo final.

A PR requer a produção de um modelo completamente fechado a tal ponto que se fosse encher o modelo de água ele não poderia vaziar em nenhuma de suas paredes. Por isto, o modelamento sólido em CAD se tornou o método mais popular para preparar dados do modelo para PR. O modelamento de superfícies permite satisfazer certas exigências, mas o uso do modelamento sólido é de longe mais fácil e melhor.

O vínculo entre o modelo de CAD e a máquina de PR é o arquivo de STL. Este formato é a representação geométrica da peça a ser reproduzida. Um arquivo de STL é uma lista de vetores x, y e z coordenados entre si que descrevem um jogo conectado de facetas triangulares formando uma malha de triângulos. Também, inclui a direção do vetor normal apontado para fora a cada triângulo. Muitas irregularidades estão associadas a esta maneira de representar a geometria, como furos, partes sobrepostas ou lacunas nos limites das superfícies, além das imperfeições intrínsecas devido ao número limitado de triângulos na malha de representação das formas geométricas. Para tratar com estas irregularidades, muitas ferramentas estão comercialmente disponíveis para manipular arquivos STL, validando estes arquivos e reparando os problemas usualmente encontrados. A manipulação é possível através do uso de ferramentas de visualização com sombreado e dimensionamento da peça. A quantidade e qualidade de triângulos em um arquivo STL pode ser otimizada, criando modelos mais precisos e realísticos. Finalmente, o modelo STL tem que ser fatiado para a confecção no equipamento de PR a ser utilizado.

Ultimamente os sistemas CAD já vêm com um tradutor de STL que executam uma transformação na superfície e então converte a informação da faceta para um arquivo binário ou ASCII STL. Arquivo de STL binário é muito menor e normalmente preferido, mas arquivos ASCII STL permite a visualização dos conteúdos do arquivo e até mesma edição, caso isto seja necessário. Certos sistemas de PR, como as máquinas da 3D Systems e Stratasys, requerem estruturas de apoio para suporte a máquina. Entretanto é possível produzir estruturas de apoio customizadas com o AutoCAD, porém não é aconselhado. A maioria dos proprietários de sistemas de PR usa uma geração de software suporte que automaticamente cria estruturas de apoios para um arquivo STL. É muitas vezes mais rápido e faz um trabalho melhor.

A partir do AutoCAD Release 13 é permitida a conversão de modelos sólidos para o formato STL usando o comando STLOUT. O AutoCAD pede para selecionar o sólido e então indicar se você quer produzir um arquivo binário STL. Se você entrar com Não, AutoCAD cria um arquivo ASCII STL. Em qualquer caso, AutoCAD nomeia automaticamente STL como a extensão de arquivo. Um modo rápido para determinar se um arquivo STL será ASCII ou binário é abrir o arquivo usando o Notepad ou Write do Windows, ou usando o comando TYPE ou MORE no DOS para listar os conteúdos do arquivo. No AutoCAD o modelo sólido deveria ficar completamente dentro do quadrante positivo de XYZ. Isto significa que as coordenadas XYZ do modelo sólido devem ser maior que zero. Se elas não forem, AutoCAD exibirá uma mensagem de advertência. Certos sistemas de PR, como a estereolitografia da 3D Systems, requerem que o modelo fique dentro do quadrante positivo de XYZ. Se isso não ocorrer, o operador da máquina poderá reposicioná-lo.

PR está crescendo a uma taxa impressionante, como visto anteriormente. A tecnologia está ajudando companhias a justificar o custo de implementar o modelando sólido em CAD. A produção de modelos físicos e partes de protótipos a partir de modelos CAD 3D nunca foi tão fácil. Com o CAD cresce o mercado de modelamento sólido e, assim o mercado de PR. As opções de modelando sólido a partir do AutoCAD R13 estão sendo usado para produzir arquivos STL para PR. Porém, segundo Wohlers (1995) os resultados estiveram misturados. Alguns usuários estão contentes enquanto outros desapontados. Com os preços mais baixos as máquinas de PR estão entrando mais no mercado, e Autodesk está em uma posição de participar desta ascensão junto com o mercado emergente de PR.

## 10. O Futuro da Prototipagem Rápida

A PR não pertence ao futuro, ela é o presente. As empresas mais competitivas do mercado utilizam-se dos diferentes processos de PR para reduzir custos e eliminar possíveis erros. Segundo Carvalho (1999) a PR auxilia na análise de montagem de componentes; análise de pontos de tensão; visualização do produto; identificação de erros; verificação do comportamento do consumidor frente ao produto; aspectos aero e hidrodinâmicos; funcionalidade; desenvolvimento rápido do projeto do produto; redução de custos. Tudo isto é antes mesmo do produto ser fabricado. Juntamente com os Sistemas Especialistas de CAD, CAE e CAM, obtém-se resultados primários muito mais satisfatórios (e garantidos) do que os processos convencionais de projeto de produtos e fabricação dos mesmos.

Aplicações de PR têm evoluído rapidamente de modo a incluir aplicações de visualização científica, medicina e paleontologia. Além disso, a PR atua na área médica na construção de próteses substitutivas ou corretivas de ossos. Atualmente o desenvolvimento da PR volta-se para o Rapid Tooling, que através das técnicas de PR, desenvolvem matrizes para fabricar peças injetadas de plástico, pó metálico e pó cerâmico, a um custo bem mais baixo que o de uma matriz convencional, proporcionando, dependendo da técnica, lotes pilotos de dezenas a milhares de unidades.

Outra aplicação da PR é a nanotecnologia. Detalhes muitos pequenos são fabricados apenas por processos que envolvam grande precisão e automatização do processo, por isso há um grande número de pesquisas voltadas para a nanotecnologia através da PR.

## 11. Pesquisas Empíricas Aplicadas

Para mensurar as reais necessidades existentes no CEFET-MG acerca do tema deste artigo, foram realizadas pesquisas com alunos do curso de graduação. Para levantamento destas informações foram realizadas pesquisas bibliográficas a fim de procurar obter o melhor resultado possível dentro da realidade que envolveu esta pesquisa.

Segundo Silva (1998) população é: "... conjunto de objetos, pessoas ou coisas que possui pelos menos uma característica em comum e que interessa a um determinado fenômeno coletivo". Como esta pesquisa possuía um orçamento apertado em termos de fomento e um prazo muito curto para sua conclusão a pesquisa empírica teve que se limitar a uma amostra da população, que não deixa em nada a atender as reais intenções deste levantamento que é descobrir o conhecimento que os alunos da graduação de Engenharia Elétrica e Mecânica possuem sobre protótipo e PR a fim de se tirar conclusões quanto ao grau de conhecimento, aplicando o conceito da Estatística Indutiva que segundo Martins (1990) é: "Parte da estatística que, baseando-se em resultados obtidos da análise de uma amostra da população, procura inferir, induzir ou estimar as leis de comportamento da população da qual a amostra foi retirada. Também através da Estatística Indutiva podemos aceitar ou rejeitar hipóteses que podem surgir sobre as características da população, a partir também da análise da amostra representativa dessa população". Para este trabalho foi usada uma amostra de alunos da graduação em Engenharia Elétrica e Mecânica de diversos períodos do CEFET-MG.

O questionário elaborado para os alunos do CEFET-MG foi estruturado utilizando questões abertas, uma vez que o objetivo é levantar o grau de conhecimento sobre determinado assunto. Nas técnicas de entrevista, Silva (1998) recomenda que as perguntas devem ser: "... bem claras, curtas e objetivas, de preferência com uma linguagem de fácil entendimento, aliás, de acordo com a linguagem do elemento a ser consultado." E também que: "...a coleta de dados deve ser bem planejada, com a disposição das respostas numa ordem que facilite a organização e apuração de dados para serem encaminhadas ao processamento."

No caso das repostas dadas as questões abertas foi feita uma escala codificada (tabulação) para que as informações pudessem ser tabuladas, ou seja, apresentadas em tabelas. Esta tabulação consistiu em atribuir uma escala de valores crescente tomando como base os conceitos levantados para este trabalho e aqui apresentados nos itens 3 e 4.

A pesquisa foi realizada com alunos matriculados no 2º semestre de 2000 nos cursos de graduação de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Com um total de 878 alunos matriculados, foram aplicados 73 questionários, ou seja, 8,3% do total de alunos. Estas pesquisas foram realizadas entre os dias 19 e 22 de dezembro de 2000, no campus II do CEFET-MG, sendo os alunos escolhidos aleatoriamente, respeitando apenas a um crivo de curso e período. Os resultados estão apresentados na Tab(1).

Tabela 1. Resultado dos questionários aplicados nos alunos de Graduação no 2º semestre de 2000

<b>Questão 1: O que é protótipo?</b>				
<b>Resposta Engenharia</b>	<b>Está com definição equivocada = 1</b>	<b>Definição fraca = 2</b>	<b>Sabe definir razoavelmente = 3</b>	<b>Sabe definir bem = 4</b>
Mecânica	<b>11</b>	<b>23</b>	-	-
Elétrica	<b>18</b>	<b>12</b>	-	-
<b>Questão 2: O que é Prototipagem Rápida?</b>				
<b>Resposta Engenharia</b>	<b>Não sabe definir = 1</b>	<b>Está com definição equivocada = 2</b>	<b>Definição fraca = 3</b>	<b>Sabe definir razoavelmente = 4</b>
Mecânica	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>2</b>
Elétrica	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Questão 3: Na sua opinião é importante o CEFET possuir um laboratório de Prototipagem?</b>				
<b>Resposta Engenharia</b>	<b>Não = 1</b>	<b>Não sabe = 2</b>	<b>É indiferente = 3</b>	<b>Sim, é importante = 4</b>
Mecânica	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>29</b>
Elétrica	-	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>24</b>
<b>Fonte: Pesquisa Empírica</b>				

Por ser esta uma pesquisa realizada sem muitos investimentos e sem dispor de maior tempo, não se pode deixar de registrar que houve falhas em sua elaboração e sua aplicação, isto sendo condizente com a metodologia aplicada por institutos de pesquisas. Entretanto como esta pesquisa foi realizada no intuito de confirmar uma informação previamente conhecida, a necessidade de um laboratório que auxilie os alunos a materializarem seus projetos, pode-se afirmar que seu objetivo foi alcançado.

Após as respostas compiladas e analisadas pode-se afirmar que, apesar do conhecimento sobre protótipos ser bem vago comparado com o conceito dado por profissionais capacitados apresentadas no início deste trabalho, percebe-se que a finalidade de ser do protótipo é conhecida pela grande maioria. Já na questão sobre PR é nítido o grau de desconhecimento da grande maioria com esta nova tecnologia.

Com ralação a importância do laboratório de prototipagem, quase 83% dos alunos que tiveram seus questionários válidos respondeu que acham muito importante a presença de um laboratório de prototipagem no CEFET-MG. Isso vem de encontro com as necessidades detectadas antes do início desta pesquisa e que é um dos motivos de sua origem, ou seja, há uma carência, no CEFET-MG, de um lugar ou ambiente, onde o aluno possa colocar em prática seus projetos e onde ele possa se familiarizar com o tridimensional, exercitando seu lado criativo.

## 12. Conceituação do laboratório

**Missão:** Ambiente propício para o desenvolvimento de protótipos com inovação de processos capaz de integrar o meio acadêmico e o setor produtivo, integrando pesquisa e desenvolvimento à produtividade e competitividade.

**Objetivo:** Atender às micro e pequenas empresas desenvolvendo protótipos dentro da necessidade de competitividade através do processo de prototipagem rápida. Propiciar ao meio acadêmico ambiente de criação e transferência de tecnologia, bem como o desenvolvimento científico e tecnológico.

Após a pesquisa realizada sobre tecnologias de PR conclui-se que esta nova tecnologia vem a ser um estágio final automatizado de um processo de criação e desenvolvimento de produto. Propõe-se neste trabalho, então, a implantação de um espaço próprio para o desenvolvimento de produtos, o Laboratório do Tridimensional. A partir dos anos noventa o mundo transformou-se em um estranho palco onde acontecem cenas de mudanças rápidas e profundas no mundo do trabalho. A inovação assume, neste cenário, o papel principal interferindo na lógica dos sistemas de produção, que tenta compreendê-la, muitas vezes com fatos e lógica de um modelo ultrapassado. O ambiente acadêmico, salas de aulas e laboratórios, feitos de carteiras obedientemente enfileiradas e experiências muitas vezes experimentadas, ainda organiza-se de acordo com o paradigma de produção em massa, não permitindo que a inovação (processo de idealização e criação de um produto concretizado) aconteça.

A necessidade de agregar valor a produtos e processos traz também a oportunidade da educação conduzir o processo de mudanças, pois educar pressupõe aproximar-se não só do intelecto e das idéias das pessoas como dos seus corações. Partindo da constatação de que só a tecnologia não é suficiente para o processo de produção da inovação exige que o ser humano possa exercer plena e criativamente aptidões básicas de habilidades: Abstração; raciocínio; sistêmico; experimentação; cooperação.

Em sua dissertação de mestrado Lima (1994), orientadora deste trabalho, cita: “Finalmente, o Laboratório propõe-se a ser um centro educativo dinâmico, onde o aluno poderá envolver-se com a exploração de protótipos que lhe despertem idéias amplas; que aliem teoria e prática e que possam ser descobertos novos “como”, que através da Arte e da Ciência servirão para aumentar a sensação do mundo em que vivemos e nos possibilite reinventá-lo.”

Portanto as atividades pensadas visam a aquisição da técnica, mas visam também ao prazer de descobrir, de arriscar, de inventar, de fazer e refazer pela experimentação, perdendo o medo de errar e o medo da crítica, adquirindo autoconfiança e gosto pelo “fazer”. Sabe-se que alunos das diversas engenharias necessitam de ter não só o conhecimento teórico/abstrato de um projeto que estão desenvolvendo como também de reconhecer na prática as reais dimensões e implicações do que pretendem executar/realizar.

Este laboratório precisa ter os mais variados materiais para modelagem (argila, isopor, massa plástica, madeira, metal, tinta, papel, papelão, sucatas...) para propiciar ao aluno a oportunidade da experimentação. O laboratório deverá ser implantado, como já foi dito, em ambiente acadêmico, utilizando as estruturas do laboratório do LACTEA, já existente no CEFET/MG, e será parceiro das pequenas e micro empresas, prestando serviços as mesmas, tendo como interlocutora a ITAIM (Incubadora de Empresas Tecnológicas instalado no CEFET-MG). Desenvolverá como consequência pesquisa tecnológica e talentos na área acadêmica.

O Laboratório do Tridimensional não estará sozinho, pois o CEFET-MG já possui dois espaços sistematizados de produção da inovação:

A META – Mostra Específica de Trabalhos e Aplicações, que é uma feira bienal onde os alunos são incentivados a produzir e mostrar trabalhos inéditos, nas várias áreas do conhecimento existentes no CEFET-MG;

LACTEA – Laboratório Aberto de Ciência, Tecnologia e Artes.

## 12. Conclusões Finais

Este trabalho teve, inicialmente, a intenção de prover informações as pessoas relacionadas à atividade de projeto no intuito de salientar a importância de se trabalhar com modelos tridimensionais, a importância do protótipo ao longo do desenvolvimento de produto com suas implicações no custo, no tempo e na qualidade do projeto e partir daí mostrar aos potenciais usuários de tecnologias de PR, informações básicas sobre as tecnologias atuais, suas vantagens e desvantagens, o relacionamento do sistema CAD com a PR e as finalidades que se pode dar a esta nova tecnologia, que desenvolve rapidamente a cada dia, em diversas regiões do mundo, implicando em uma constante atualização das pessoas e empresas que procuram integrar pesquisa e desenvolvimento à competitividade e produtividade.

Quanto ao laboratório do tridimensional o que se almeja neste espaço é que a complexidade do dimensionamento dos projetos nas engenharias possa ser incorporada, também de forma lúdica pelo corpo discente, ou outros usuários do laboratório. Propõe-se por consideramos inevitável à implantação de uma disciplina nos cursos de engenharia de Desenvolvimento de Protótipos, onde o aluno poderá não só executar modelos, mas aprofundar em estudos de sistemas de linguagens (semiótica).

As disciplinas de Desenvolvimento de Protótipos e Formação do Empreendedor apoiadas na base conceptual do LACTEA poderão dar suporte significativo ao processo de pré-incubação na esfera académica do CEFET-MG.

### 13. Agradecimentos

Ao CEFET-MG e a ITAIM, ao IEL, SEBRAE e CNPq pela possibilidade de desenvolvimento desta pesquisa. A todos que de uma forma ou de outra contribuíram para o êxito deste trabalho. A Deus que, sem Ele, nada disso seria possível. E a aqueles que não atrapalharam, o nosso sincero agradecimento.

### 14. Referências

- Barkan, P., Iansiti, M., 1993, Prototyping: a tool for rapid learning in product development, Concurrent Engineering Research Applications, [s.l.], p.123-134.
- Baxter, M., 1998, Projeto de produto: Guia prático para o design de novos produtos. São Paulo: Edgard Blücher. 260p.
- Bomfim, Gustavo A. et al., 1977, Fundamentos de uma metodologia para desenvolvimento de produtos. Rio de Janeiro: UFRJ. 105p.
- Bonsiepe, Gui., 1983, A Tecnologia da tecnologia. São Paulo: Edgar Blucher. 176p.
- Carvalho, J., 1999, Prototipagem rápida. Artigo. 5p. Intenet: <http://www.numa.org.br/>
- Hilton, P., 1995, Making the leap to Rapid Tool making, Mechanical Engineering, [s.l.], p.75-76.
- Ippolito, R.; Iuliano, L.; Gatto., 1995, A benchmarking of rapid prototyping techniques in terms of dimensional accuracy and surface finish. Anais do CIRP, [s.l.], p.96-108.
- Lima, Vera S., 1994, Imagem, Forma e Proporção: Um estudo exploratório em educação Tecnológica. Belo Horizonte: CEFET-MG. 114p. (Tese, Mestrado em Educação Tecnológica).
- Martins, Gilberto A., 1990, Princípios de estatística, 4 ed. São Paulo: Atlas. 255p.
- Monteiro, Maria G., 1990, Da modelagem ao desenvolvimento de modelo: Um ensaio metodológico, Monografia, [s.l.]. 74p.
- Silva, Nelson Peres., 1998, Estatística auto-explicativa. São Paulo: Érica. 152p.
- Volpato, N., 1999, "Prototipagem rápida/ferramental rápido no processo de desenvolvimento de produto", Rev. Máquinas e Metais, p.76-89,.
- Wohlens, T. T., 1995, "AutoCAD and rapid prototyping", Rev. Cadence, [s.l.], 7p. Internet: <http://www.wohlersassociates.com/>
- Wohlens, T. T., 1999, Rapid Prototyping and Tooling State of the Industry 1999: Executive Summary, Time-Compression Technologies,[s.l.], Vol. 4, Issue 3.

## RAPID PROTOTYPING: INTEGRATING RESEARCH AND DEVELOPMENT INTO THE COMPETITIVENESS AND PRODUCTIVITY

### Fernando Horta Latini

Minas Gerais Federal Center of Education Technological - Address: Street Des. Custody Lustosa, 125 - Itapôa, BH/MG - Brazil – Zip Code: 31710-630 [fernando.latini@datasul.com.br](mailto:fernando.latini@datasul.com.br)

### Vera Lúcia of Souza and Lima

Minas Gerais Federal Center of Education Technological – Address: Avenue Amazonas, 7675 - New Gameleira, BH/MG - Brazil – Zip Code: 30510-000 [veralima@dppg.cefetmg.br](mailto:veralima@dppg.cefetmg.br)

The existence of a lacking market around prototypes in great Belo Horizonte was detected by the city hall in consequence of the Program of Internationalization of the City. It was necessary to develop a project that lifted the forms of working with prototypes, the involved people's needs, in end, of summing up an environment where prototypes could be developed.

It is objective of this to demonstrate the importance of working with three-dimensional models along the product development, with its implications in the cost, time and quality of the project and to leave of there to show to the potential users of Rapid Prototyping basic information, advantages and disadvantages, in the transformation of the industry, accelerating the project process and production of new products.

The development of this work occurs leaning in a vast bibliographical research. Later on they were made interviews with people involved in the subject in order to verify its expectations, its knowledge and the possibilities of implantation of these technologies.

It is ended that this technology comes to be an automated final apprenticeship of a creation process and product development. Even so they are countless the purposes that one can give to this technology, that it is developed quickly, implying in a constant modernization of the people that you try to integrate research and development to the competitiveness and productivity.

Keywords: Rapid Prototyping, Three-dimensional Models, CAD, Productive Processes, Project of Product



## DESENVOLVIMENTO DE UM AMBIENTE COMPUTACIONAL CAD/CAPP/CAM ORIENTADO AO PROCESSO DE CORTE OXIACETILÊNICO

### Alexandre Garcia Costa da Silva

Grupo de Automação e Controle (GRACO), Univ. de Brasília, Faculdade de Tecnologia – Depto. de Engenharia Mecânica  
Campus Universitário Darcy Ribeiro – Asa Norte  
Brasília - D.F.  
70910-900  
agarcia@unb.br

### Guilherme Caribé de Carvalho

Grupo de Automação e Controle (GRACO), Univ. de Brasília, Faculdade de Tecnologia – Depto. de Engenharia Mecânica  
caribe@enm.unb.br

### Sadek Crisóstomo Absi Alfaro

Grupo de Automação e Controle (GRACO), Univ. de Brasília, Faculdade de Tecnologia – Depto. de Engenharia Mecânica  
sadek@unb.br

**Resumo.** *O presente trabalho apresenta a proposta de um ambiente computacional que efetua a integração entre CAD, CAPP e CAM orientada ao processo de corte oxiacetilênico. O ambiente funciona sob a interface gráfica mundialmente difundida do AutoCad e tem especial ênfase no tratamento da interação com o usuário. Seu principal objetivo é permitir que pessoas que não têm conhecimentos específicos sobre a programação em máquinas de Comando Numérico Computadorizado (CNC's) possam efetivamente utilizá-las. O ambiente computacional faz uso do método generativo de planejamento de processo, fornecendo ao usuário os parâmetros referentes a um bom corte. O resultado final esperado é um aplicativo bastante amigável, de fácil utilização e aprendizado, capaz de produzir, a partir de um desenho efetuado em AutoCad, seu respectivo código G. Além disso, o aplicativo também será capaz de enviar o programa gerado para a máquina, executá-lo e comandar a máquina via DNC (Comando Numérico Direto) utilizando funções básicas da máquina.*

**Palavras chave:** CAD/CAM, CAPP, Automação, CNC

## 1. Introdução

O progresso tecnológico das últimas décadas tem possibilitado à humanidade superar os limites de produção apresentados pelos mais variados processos industriais existentes. A informática surgiu como uma poderosa aliada e já permite que um determinado objeto seja modelado, projetado, simulado e construído com o auxílio de um computador.

A utilização de ferramentas computacionais promove redução de custos, tempo de produção e, na maioria das vezes, aumenta a qualidade do produto através da otimização de parâmetros. Há também um aumento de consistência na produção, em virtude da redução das variações inerentes ao processo de produção manual.

O computador tornou-se, portanto, parte indispensável do processo produtivo e, cada vez mais, recursos humanos são alocados com o objetivo de superar os atuais limites de produtividade.

Entretanto, nem sempre existe disponibilidade de mão de obra qualificada e a assimilação de novas tecnologias exige treinamento, cujo tempo de duração pode não justificar a realização do mesmo. Nestas circunstâncias, o objetivo passa a ser reduzir a complexidade das atividades realizadas pelos operários, fazendo uso de técnicas como a automação de processos.

Groover (1980) define a automação como a tecnologia relacionada à aplicação de complexos dispositivos mecânicos, eletrônicos e computacionais para operar e controlar a produção. Em automação, o computador passa a exercer uma função ainda maior, não somente auxiliando mas também executando automaticamente parte dos processos envolvidos na produção de um determinado produto. Através dela, usuários sem grande nível de conhecimento podem realizar seus trabalhos apenas fornecendo ao computador dados de entrada inerentes ao processo em questão.

## 2. A Manufatura Integrada por Computadores – CIM – e a Integração Entre CAD, CAPP e CAM

Álvares et al (1991) cita a Manufatura Integrada por Computadores (CIM) como uma filosofia cujo objetivo é integrar todas as áreas de uma empresa, desde a administração até o chão de fábrica, através dos computadores. Busca-se com ela uma otimização do processo produtivo, baseada na maior coalizão entre os setores da empresa.

A CIM é composta de uma série de tecnologias, denominadas tecnologias auxiliadas por computador (CAx). Entre elas encontram-se o projeto, planejamento de processo, manufatura, qualidade, engenharia e produção auxiliados por computador (CAD, CAPP, CAM, CAQ, CAE e CAP respectivamente).

Uma das maiores dificuldades existentes para a implementação da filosofia CIM é efetuar a integração entre suas tecnologias já que cada uma foi desenvolvida separadamente, apresentando padrões próprios e diferentes estágios de evolução.

Besant et al (1986) indica que o CAD, ou Projeto Auxiliado por Computador (*Computer Aided Design*), tem como principal tarefa produzir uma definição da peça a ser manufaturada, na forma de banco de dados geométricos, ou desenho derivado deste banco, que estabeleça a configuração física desta peça. Ele auxilia o projetista na concepção de um produto.

Besant também explica que a Manufatura Auxiliada por Computadores, ou CAM (*Computer Aided Manufacturing*), por sua vez, tem por principal objetivo transformar a definição geométrica da peça em produto concreto. Segundo Groover (1980) ela também é definida como sendo o uso efetivo do computador no planejamento, gerenciamento e controle das funções de manufatura através da interação direta ou indireta do computador com os recursos humanos da empresa.

A integração entre CAD e CAM já é uma realidade, utilizada em aplicativos comerciais de alto desempenho, como o "SmartCam". Entretanto, ela exige do usuário conhecimentos sobre o planejamento de processo da peça em questão. Caso contrário, a produção pode não atingir os níveis de qualidade desejados.

O Planejamento de Processo é definido por Chang et al (1985) como sendo a tecnologia que estabelece os processos e parâmetros que serão utilizados na conversão da matéria prima em peça acabada, de acordo com um projeto mecânico.

Conforme Ferreira et al (1999), dentro dos ambientes fabris, é ele o responsável por grande parte do tempo gasto na produção de uma peça graças à enorme quantidade de decisões que são tomadas em sua etapa de produção. A diversidade das peças e a complexidade das geometrias envolvidas no processo contribuem ainda mais para torná-lo uma atividade árdua e vagarosa, realizada por profissionais altamente qualificados – denominados processistas.

Para auxiliar o usuário no planejamento de processo de uma determinada peça foi criado o CAPP. O CAPP, ou Planejamento de Processo Auxiliado por Computadores (*Computer Aided Process Planning*) é o sistema que efetua a ligação entre CAD e CAM, funcionando como uma ponte entre as duas tecnologias. Vários trabalhos (Normann et al, 1989; Ferreira et al, 1999) indicam que seu objetivo é selecionar parâmetros adequados, melhor conjunto máquina-ferramenta e sequenciamento de operações ótimo em processos de usinagem.

Segundo Álvares et al (1991), a integração entre CAD, CAPP e CAM, é a chave para a implementação da CIM e pode conferir aos sistemas fabris um alto grau de automatização.

## 2.1. O AutoCAD e as *Features*

O AutoCAD®, da Autodesk, é provavelmente o software de CAD mais difundido em todo o mundo. Possui estrutura semi-aberta, ou seja, permite que parte de seus algoritmos seja modificada para comportar sub-programas e alterar sua própria estrutura. Esta característica o torna um forte candidato à implementação da integração CAD/CAPP/CAM.

O AutoCAD®, além de possuir sua própria linguagem de programação (Autolisp), também criou um padrão de troca de arquivos gráficos aceito internacionalmente, o *Drawing eXchange Format* ou DXF. O DXF, no caso deste trabalho, tem como principal vantagem a capacidade de carregar consigo não somente os dados que naturalmente fazem parte do desenho mas também aqueles que o usuário julga necessários.

Outra característica que favorece a utilização do AutoCAD® como meio para a implementação da integração CAD/CAPP/CAM é a presença do campo de dados estendidos nas entidades.

O campo de dados estendidos (XDATA – *eXtended entity DATA*) é uma abertura virtual que foi deixada proposadamente na descrição das entidades geométricas, com os objetivos de permitir ao usuário a inserção de suas próprias informações no desenho e servir como base para informações de outras aplicações. Elliot et al (1997) diz que o módulo de renderização do próprio AutoCAD®, por exemplo, faz uso desta ferramenta.

É possível, portanto, utilizar o campo de dados estendidos para inserir informações de fabricação em uma determinada entidade do desenho. Em outros aplicativos, mesmo não existindo especificamente o campo de dados estendidos, esta técnica também é utilizada e dá origem ao conceito de *feature*.

Silva et al (1997), explica que quando uma entidade geométrica definida recebe, além dos parâmetros dimensionais correspondentes, informações mais consistentes sobre o objeto real que ela representa, ela passa a ser denominada *feature*. Material da peça, rugosidade, tolerâncias, etc..., são exemplos de informações que podem estar presentes na definição de uma entidade, se esta representa um processo de fabricação.

No contexto deste trabalho, o objetivo é utilizar o campo de dados estendidos para acrescentar informações de fabricação às entidades e, com isso, tornar o desenho executado em CAD adequado para a interação com a manufatura.

## 3. Aspectos da Interação Com o Usuário

Segundo Hix et al (1993), para os usuários de aplicativos computacionais da atualidade, comunicar-se com o computador é um aspecto, no mínimo, tão importante quanto os próprios resultados obtidos. A facilidade ou dificuldade que uma pessoa encontra ao utilizar um *software* é fator determinante na aceitação do mesmo pelo público em geral. Define-se então o conceito de "usabilidade".

Tecnicamente a usabilidade está relacionada com a facilidade de aprendizagem, satisfação do usuário ao utilizar o aplicativo, mediante baixa taxa de erros, e a possibilidade de realizar as tarefas desejadas com rapidez. Em outras palavras, a “usabilidade” encontra-se relacionada com a eficiência e eficácia da interface com o usuário, bem como de sua naturalidade perante o mesmo.

Para que um sistema computacional implemente de forma eficiente a interação homem-computador é necessário que um estudo das atitudes e comportamentos dos usuários seja realizado e, através da análise destas atitudes, a interface seja ciclicamente modificada até que atinja o nível de “usabilidade” esperado. Neste ponto, nota-se que não é o usuário que deve adaptar-se à interface e sim o contrário. A interface deve ser projetada para ser intuitiva, de fácil aprendizagem e utilização.

Algumas sugestões para o aumento da “usabilidade” são os seguintes:

- a) Projetar a interface centrada no usuário, tendo noção do comportamento humano mediante o computador;
- b) Conhecer o público alvo do aplicativo e saber quais suas expectativas e dificuldades em relação à interface;
- c) Otimizar as operações e prevenir possíveis erros, reduzindo ao máximo a quantidade de informações digitada;
- d) Manter o controle do aplicativo com o usuário, fazendo com que o programa aguarde um comando e não o exija;
- e) Prover reversibilidade das ações do usuário, permitindo que ele volte atrás após uma ação indesejada;
- f) Dar ao usuário informações freqüentes sobre a situação (*status*) do aplicativo, utilizando mensagens simples e explicativas;

Ainda segundo Hix et all (1993), além destas diretrizes, o uso do bom senso é uma ferramenta que não deve ser desprezada. A capacidade de se colocar no lugar do usuário e não do projetista pode ser uma enorme aliada no desenvolvimento de uma interface agradável ao usuário e com boa “usabilidade”.

#### 4. Abordagem Proposta Para o Ambiente

Como visto anteriormente, um dos grandes problemas que existem quando se busca a integração entre as tecnologias CAx é a diferença com que cada uma delas trata seus dados. Desta maneira torna-se necessário homogeneizar as informações que serão compartilhadas pelas tecnologias, sendo o CAD o ponto de partida desta iniciativa.

Normann et all (1989), sugeriram uma solução que se tornou clássica para o problema da integração entre CAD, CAPP e CAM. Eles propuseram a criação de um sub-ambiente, dentro do CAD, que fosse capaz de adicionar às entidades geométricas presentes no desenho, todas as informações de fabricação necessárias ao CAPP. Desta maneira, além de tirar proveito de uma interface gráfica já existente, seria possível viabilizar a integração de forma transparente ao usuário.

Observando então esta metodologia, a Fig. (1) exibe um diagrama simplificado da proposta feita para o funcionamento do ambiente de integração.

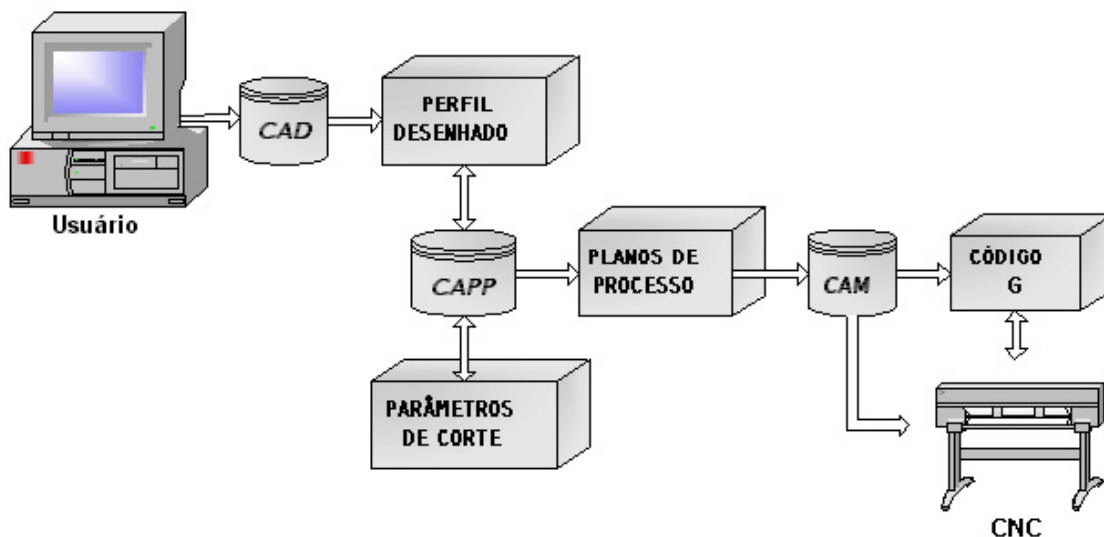


Figura 1. Diagrama simplificado de funcionamento do ambiente

Na interface entre CAD e CAPP, ocorre a inserção dos dados necessários ao planejamento de processo. O aplicativo CAD deve sofrer alterações em sua estrutura para comportar as novas funções, referentes a esta tarefa.

Dados como a precisão e o material da peça são adicionados à área de dados estendidos das entidades geométricas. Em seguida, o CAPP otimiza a trajetória e os parâmetros a serem utilizados para o corte. A folha de plano de processo é escrita, de forma que a CAM possa entendê-la e traduzi-la para o código G.

Embora tenha algumas outras funções, a CAM neste trabalho trata apenas da conversão da folha de plano de processo e do comando da máquina de corte oxiacetilênico via comando numérico direto (DNC).

### 5. Implementação Computacional

O novo ambiente criado dentro do AutoCAD® para viabilizar a integração CAD/CAPP/CAM foi batizado de Oxicam e suas principais características são discutidas a seguir.

Um novo menu foi criado para abrigar as funções pertencentes a Oxicam. O menu é ativado mediante o carregamento e execução de uma função de inicialização e permanece ativo ainda que o usuário inicie um novo desenho ou descarregue e recarregue o AutoCAD®. Para retornar o menu original, o usuário pode escolher a opção sair. A Figura 2 exibe o novo menu, criado para abrigar as funções componentes de Oxicam.

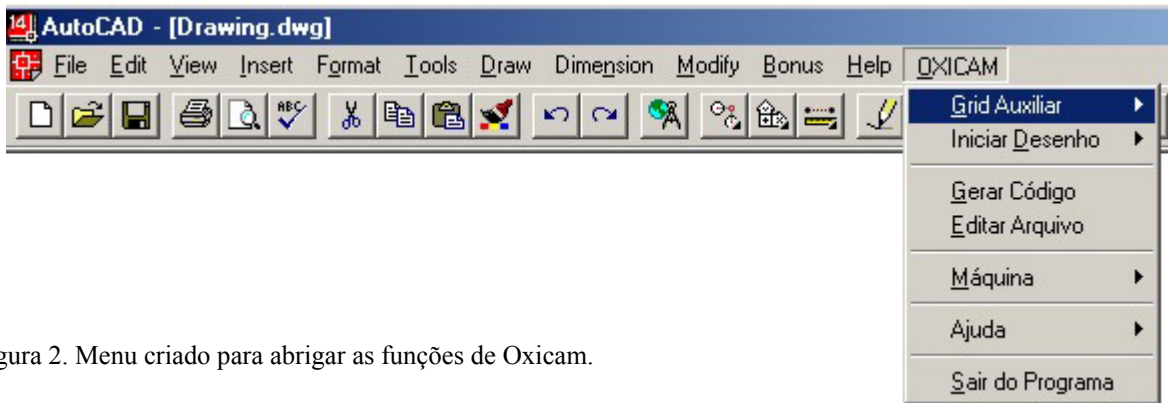


Figura 2. Menu criado para abrigar as funções de Oxicam.

No primeiro sub-item do menu, o usuário pode criar um grid de desenho, apagá-lo e acendê-lo conforme suas necessidades. O grid de oxicam é criado em uma camada (*layer*) diferente da do desenho original, protegida contra edição mas desprotegida para seleção. Com isso, o usuário não corre o risco de editar o grid enquanto atua em seu desenho mas pontos selecionados do grid podem ser utilizados como âncoras nas caixas de diálogo.

Como um dos objetivos de Oxicam é atender à demanda de usuários sem grande conhecimento, sempre se procurou dar especial ênfase à interface com o usuário através da utilização de caixas de diálogo e alertas explicativos. Além disso, funções complexas, como a utilização de *layers* foram utilizadas de forma transparente ao usuário.

O sub-item “iniciar desenho” permite que o usuário insira as informações básicas do desenho como nome da peça, espessura da chapa e tipo de maçarico utilizado. Ele permite ainda que um desenho feito fora do ambiente de Oxicam possa ser aproveitado. A Figura 3 exibe a caixa de diálogo referente aos dados iniciais do desenho.

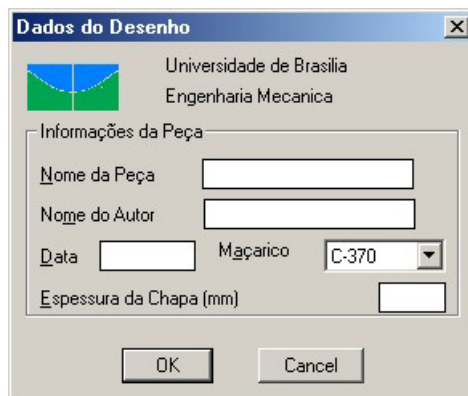


Figura 3. Caixa de diálogo referente aos dados iniciais do desenho.

A terceira opção do sub-item “iniciar desenho” inicia efetivamente o desenho, podendo o usuário escolher o tipo de entidade a ser criada. A Figura 4 exibe as caixas de diálogo referentes à escolha do tipo de desenho e as caixas de desenho de linhas e arcos.

É possível observar nas caixas de desenho os botões “incremental” e “pegar ponto”. O primeiro permite o desenho relativo à coordenada anterior, ao invés de desenhar com coordenadas absolutas. O segundo permite que os pontos do grid sejam utilizados como âncoras para o desenho. Este fato torna a interface com o usuário mais amena pois o mesmo sente-se como se estivesse desenhando sobre papel milimetrado. A utilização do grid também permite uma visualização imediata das coordenadas do desenho.

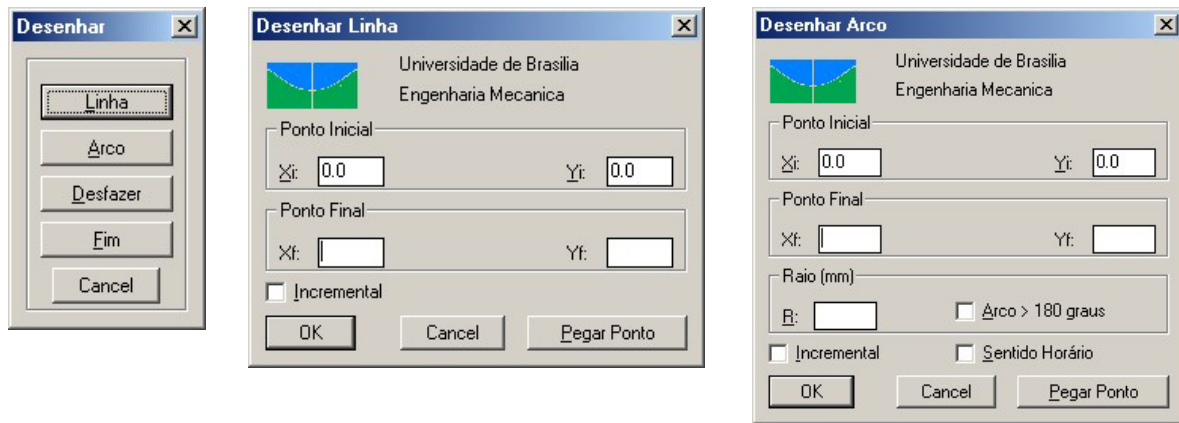


Figura 4. Caixas de diálogo referentes às funções de desenho.

Após o término de seu desenho, o usuário parte para o terceiro sub-item, executando o planejamento de processo e gerando o código G referente ao desenho executado. A folha de plano de processo e o código G gerado (que possuem os nomes escolhidos pelo usuário) podem ser visualizados e editados no bloco de notas do Windows®, através do sub-item “editar arquivo”.

No sub-item “Máquina” o usuário tem acesso ao controle da máquina de comando numérico, fazendo com que o AutoCAD® sirva de interface para o controle DNC. Na realidade, o usuário está ativando a única rotina de Oxicam que não foi desenvolvida em Autolisp, já que esta linguagem não fornece recursos para o acesso às portas de comunicação do computador. A rotina citada foi desenvolvida em C++ e permite ao usuário que realize funções básicas do CNC como busca de referência, zerar coordenadas e enviar o código G gerado.

O os dois últimos sub-itens são auto-explicativos.

### 5.1. Algumas Dificuldades Encontradas, Soluções Adotadas e Limitações do Sistema

Não se pode discordar que a funcionalidade do Autolisp dentro do AutoCAD® é imbatível, quando se trata da utilização de comandos pertinentes ao próprio AutoCAD®, ou da maneira como a linguagem trata as entidades de um desenho (listas de dados). Em compensação, determinadas atividades que seriam facilmente executadas em C++, Pascal ou Fortran encontram sérias dificuldades para sua implementação em Autolisp.

Nos algoritmos de Oxicam ocorre um fato extremamente interessante. Sempre que se comparam pontos, não é possível implementar uma estrutura condicional comum.

O que acontece é que pontos que em princípio representam a intersecção entre dois elementos geométricos podem não coincidir exatamente. Duas entidades que na tela parecem estar emendadas, podem estar na realidade separadas por distâncias muito pequenas. Neste caso, é impossível encontrar, através de algoritmos padrão, a intersecção entre os dois elementos já que esta passa a depender da escala de desenho utilizada (as coordenadas deixam de coincidir após 4 ou 5 casas de precisão).

A solução adotada para este problema consiste em alterar a estrutura condicional padrão:

Se ponto P1 = ponto P2 então há intersecção;

Para:

Se a distância entre o ponto P1 e o ponto P2 for menor que  $1 \times 10^{-5}$  então há intersecção.

As dificuldades de implementação relacionadas com problemas geométricos não terminam por aí. Muitas vezes as representações paramétricas adotadas para descrição dos elementos gráficos de um desenho não são adequadas do ponto de vista do código G. O melhor exemplo para ilustrar este fato é a representação de um arco.

Para o AutoCAD®, um arco é representado por um ponto de centro, um ângulo inicial em radianos, um ângulo final em radianos e um raio. Já em código G, um arco deve ser descrito a partir das coordenadas de seus pontos inicial, final, central e de seu sentido de giro (horário ou anti-horário). Eventualmente, pode-se usar o raio de giração ao invés da coordenada central.

Há portanto necessidade de converter os dados descritivos do formato AutoCAD® para a representação entendida pelo código G. É neste ponto que ocorre um problema interessante. A descrição do AutoCAD® não traz informação explícita sobre o ponto inicial e o ponto final do arco, como também não há referência sobre o sentido do mesmo. Portanto, a única informação que pode ser aproveitada inicialmente sem qualquer tratamento é a coordenada do ponto de centro do arco.

Em princípio, os pontos de início e fim poderiam ser obtidos através de tratamento matemático sobre a coordenada central e os ângulos de abrangência. O próprio Autolisp traz a função “polar” que é capaz de fazê-lo. Entretanto, o sentido do arco continua sendo uma incógnita.

A resposta desta questão encontra-se no manual do AutoCAD®. Para o aplicativo, um arco é sempre representado em sentido anti-horário.

Isto traz uma outra questão. A afirmação anterior implica no fato de que não é possível dizer a priori que o ponto obtido através do ângulo inicial é realmente o ponto inicial do arco. Se isto fosse verdade, a conversão do perfil para o código G provocaria descontinuidades no momento da fabricação.

Para ilustrar este fato, suponhamos que uma semi-circunferência estivesse inserida entre dois elementos lineares, sobre o eixo x, mas fosse em sentido horário no contexto do perfil (como uma lombada na estrada). Neste caso, sua representação segundo o AutoCAD® traria o arco de 0 a  $\pi$ , já que a mesma é sempre anti-horária. Isto faria com que o ponto obtido através do ângulo inicial fosse, na verdade, o ponto final do arco.

Utilizando o raciocínio inverso, soluciona-se o problema através da seguinte afirmação: todo arco cujo ponto considerado inicial não coincide com o ponto esperado, de acordo com o contexto do perfil, será considerado em sentido horário. A transformação desta afirmação em algoritmo viabilizou não somente a criação da rotina de aproveitamento de desenhos antigos como também o aumento da robustez do código de planejamento de processo.

Uma outra metodologia adotada em Oxicam diz respeito ao banco de dados de parâmetros de corte.

O AutoCAD® já contém suas próprias ferramentas de banco de dados. Porém, por simplicidade e conveniência, optou-se por utilizar um arquivo texto, padrão ASCII, para o banco de dados. O arquivo é lido por uma rotina e transformado em lista de dados, onde o planejamento de processo faz a consulta a partir da espessura da chapa e tipo de maçarico. A partir destes dados é possível definir o número do bico de corte, as pressões dos gases e a velocidade de corte. É possível estimar ainda a quantidade de gás que está sendo consumida.

Entre as principais limitações de Oxicam, é possível citar a incapacidade de tratamento de desenhos que contêm perfis múltiplos (vários perfis num mesmo desenho) e a presença de instabilidades no algoritmo de planejamento de processo quando são utilizadas funções de edição do AutoCAD®, principalmente nas ações de girar, esticar e inverter arcos. Para outras funções, no entanto, os algoritmos funcionam perfeitamente.

A Figura 5 exibe um perfil exemplo e a respectiva simulação do código gerado por Oxicam. Este perfil foi criado através da função “*array-polar*” do AutoCAD® e demonstra, além do funcionamento do aplicativo, sua integração com outras funções do AutoCAD®.

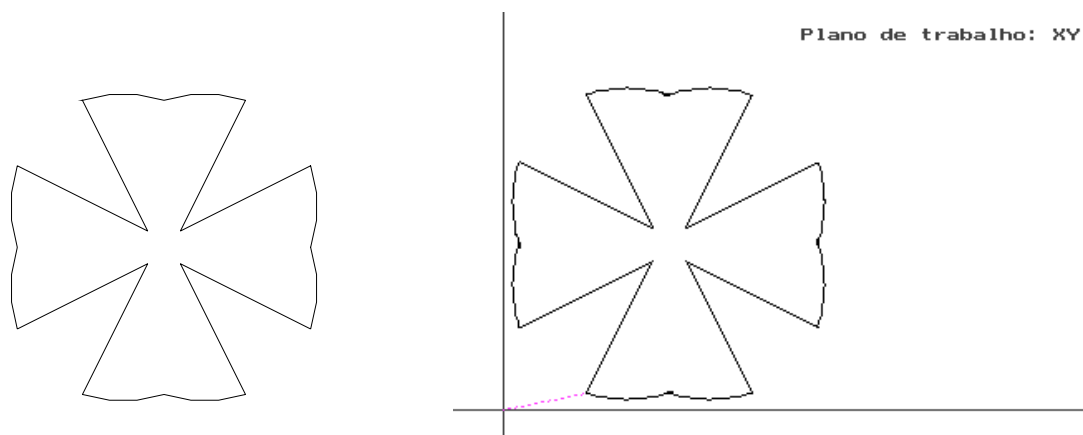


Figura 5. Simulação de uma peça exemplo

Oxicam também trata satisfatoriamente perfis abertos como, por exemplo, um corte simples de um lado a outro de uma chapa, ou figuras geométricas abertas. Não é possível porém, utilizar figuras cujos pontos de intersecção entre entidades possuam mais de 2 conexões. Em outras palavras, um mesmo ponto não pode dar origem a três caminhos diferentes.

O desenvolvimento da interface gráfica ainda não se encontra completo, devendo passar pelos testes de aceitação por parte dos usuários. Versões prévias passaram satisfatoriamente por testes com alunos de graduação, que contribuíram bastante para o estágio de desenvolvimento atual. O maior desafio agora é apresentar a interface para técnicos e usuários com menor nível de escolaridade, adaptando-a às necessidades dos mesmos.

## 6. Conclusões

O ambiente de Oxicam mostrou-se capaz de efetivar satisfatoriamente a integração entre CAD, CAPP e CAM, no que se refere ao processo de corte oxiacetilênico. Este resultado pode ser estendido com poucas modificações a processos que possam ser tratados de forma bidimensional.

Embora ainda não se tenha efetuado completamente os testes de interface gráfica com o público alvo do aplicativo, acredita-se que a forma transparente, simples e explicativa adotada no desenvolvimento do aplicativo vá cumprir a contento o objetivo proposto.

A combinação entre o conceito de *features* e a utilização da área de dados estendidos das entidades mostrou-se extremamente eficiente para a concretização da integração entre as tecnologias da CIM, assim como a estrutura semi-aberta do AutoCAD® também favorece sua utilização como base para o novo ambiente.

Conclui-se ainda que a manipulação das informações dentro do ambiente de manufatura é o aspecto mais importante para a implementação da CIM. Somente com a homogeneização destas informações, segundo as várias tecnologias auxiliadas por computador, se conseguirá a chave para a integração.

## 7. Referências

- Álvares, Alberto J. et al, 1991, "CIM – Computer Integrated Manufacturing, Aspectos Relevantes Para sua Implementação – Parte I", CERTI, Santa Catarina.
- Besant, C. B. and Lui C.W.K., 1986, "Computer Aided Design and Manufacture", 3<sup>rd</sup> ed. Ellis Horwood Limited, England.
- Chang, C. and Wysk, R.A., 1985, "An Introduction to Automated Process Planning Systems", Prentice Hall Inc., New Jersey, USA.
- Elliot, S.D. et al, 1997, "AutoCAD 13 – Guia Completo e Conciso de Comandos e Recursos", Makron Books, São Paulo.
- Ferreira, J.C.E. et al, jan. 1999, "Parâmetros de Usinagem e Geração do Programa NC em CAD/CAPP/CAM", Revista Máquinas e Metais, pp. 54-63;
- Groover, Mikell P., 1980, "Automation Production Systems, and Computer-Aided Manufacturing", Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Hix, Deborah and Hartson, H. R. , 1993, "Developing User Interfaces" , John Wiley & Sons , New York, USA.
- Normann, A. and Rosa, J.M.D., jul. 1989, "O Processo de Furação é otimizado pelo CAPP" , Revista Máquinas e Metais nº 282, ano XXV.
- Silva, N.A. and Batocchio, A., dec. 1997, "O Modelamento Baseado em Features Leva à Integração Entre Projeto e Manufatura", Revista Máquinas e Metais.

## DEVELOPMENT OF AN OXI-CUT PROCESS ORIENTED CAD/CAPP/CAM COMPUTER ENVIRONMENT

### Alexandre Garcia Costa da Silva

Automation and Control Group (GRACO), Mechanical Engineering Department, FT, University of Brasilia, DF  
Campus Universitário Darcy Ribeiro – Asa Norte  
Brasília - D.F.  
70910-900  
agarcia@unb.br

### Guilherme Caribé de Carvalho

Automation and Control Group (GRACO), Mechanical Engineering Department, FT, University of Brasilia, DF  
caribe@enm.unb.br

### Sadek Crisóstomo Absi Alfaro

Automation and Control Group (GRACO), Mechanical Engineering Department, FT, University of Brasilia, DF  
sadek@unb.br

**Abstract.** *This work presents a computer environment, still under development, whose purpose is to integrate the CAD (Computer Aided Design), CAPP (Computer Aided Process Planning) and CAM (Computer Aided Manufacturing) technologies for working with the oxi-cut process. The software is being developed under the widespread graphical interface of AutoCAD and has special focus on Graphical User Interface (GUI) design. It's main objective is to allow people without specific knowledge over Computer Numerical Controlled (CNC) Machines to work effectively with these. The software also makes use of the Generative Process Planning method, issuing suggestions about the best parameters to be used in order to achieve good cut quality. The final result is expected to be a user-friendly computational environment, capable to generate the G code corresponding to the AutoCAD drawing and to help the operator in choosing the best set of process parameters. Moreover, the software will be able to transfer the G code program to the machine through a RS-232 serial interface, to run it and to command the machine in DNC (Direct Numerical Control) mode, using basic functions.*

**Keywords.** CAD/CAM, CAPP, Automation, CNC

# APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE (QFD) PARA GERENCIAR ATIVIDADES DE DESENVOLVIMENTO DE ESPECIALISTAS PARA DAR SUPORTE A VANTAGEM COMPETITIVA (VC)

Rosa Maria Quiñones

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Pça. Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias – CEP 12.228-901. São José dos Campos – São Paulo - Brasil

e-mail: [rosa.quinones@embraer.com.br](mailto:rosa.quinones@embraer.com.br)

Paulo Tadeu de Mello Lourenção

Embraer – Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A. Av. Brigadeiro Faria Lima, 2170 – São José dos Campos – SP.

UNIVAP – Universidade do Vale do Paraíba.

e-mail: [paulo.lourencao@embraer.com.br](mailto:paulo.lourencao@embraer.com.br)

**Resumo.** Competence used as a fundamental tool to get VC: this is the challenge of a company that produces aerospace technology and has as one of its main purposes to achieve leadership in the development of new products for a competitive worldwide market. The identification of the necessary and core competencies in this view is a critical success factor for the continuity of the business. So the objective of this work is, after assessing the needs of developing/maintaining Core Competencies (CE), to present a methodology to manage the development and application of Individuals Competencies (CI). Those CI put together must synthesize the Organizational Competence (CO), to agree to strategic purpose of the business, supporting the VC of the organization. The idea is to use the principles of the QFD methodology to systematize the development of Knowledge, Skills and Attitudes (CHA) to form a set of CI's related to key positions in the organization. These principles, applied to Education, Training and Development (ET&D) process, should optimize the application of resources in agreement with the strategic objectives. In addition, the processes of developing specialists must be systematically evaluated using adequate control indexes. The main contribution of this work is to show that the use of QFD has shown to be an effective tool to design the activities related to planning and control of ET&D, in the case of technical positions in the company.

**Palavras Chave:** *vantagem competitiva; desenvolvimento de competências; educação, treinamento e desenvolvimento; desdobramento da função qualidade; engenharia aeronáutica.*

## 1. Introdução

Competência usada como alavanca propulsora no desenvolvimento de vantagem competitiva: este é o desafio de uma empresa que produz tecnologia aeroespacial, e que tem como um dos seus principais objetivos, estabelecer a liderança no lançamento de produtos para um mercado mundial, onde a concorrência é altamente capacitada.

Determinar a competência necessária e essencial, neste cenário competitivo e de rápidas transformações pode ser um fator determinante para o sucesso no desenvolvimento de novos produtos e perpetuação do negócio. Desdobrar esta competência pela organização é tarefa complexa, que exige envolvimento de vários setores no sentido de garantir a perenidade do sucesso. A realização desta missão é, portanto um trabalho que ultrapassa as fronteiras da área de Educação, Treinamento e Desenvolvimento (ET&D).

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é, conhecida a necessidade relativa ao desenvolvimento/manutenção de Competências Essenciais (CE), propor um modelo para o gerenciamento da formação e aplicação de Competências Individuais (CI), de forma a compor as Competências Organizacionais (CO), aderentes aos propósitos estratégicos do negócio, conquistando assim vantagem competitiva para a organização. Isto será feito através da aplicação da filosofia do desdobramento da função qualidade (QFD).

Como exemplo de aplicação da filosofia, considera-se o caso da Embraer, onde uma das estratégias é a de que seus produtos sejam percebidos como 'profit makers', com baixo custo operacional aliado ao alto desempenho. Esta estratégia exige constante aperfeiçoamento de competências em inúmeras tecnologias envolvidas, especificamente no projeto aerodinâmico. A proposta é usar os princípios da metodologia QFD (Quality Function Deployment) para sistematizar o desenvolvimento de Conhecimentos, Habilidades e Atitudes (CHA) na formação de CI's associadas a postos-chave. Estes princípios, aplicados ao processo de ET&D, devem otimizar a aplicação de recursos, em consonância com os objetivos estratégicos da organização. Além disso, o processo de capacitação das pessoas deve também ser sistematicamente avaliado



por mecanismos de controle adequados. Por fim, a principal contribuição do trabalho é ilustrar que a utilização do QFD, como desdobramento do planejamento estratégico, constitui-se numa ferramenta adequada para sistematização do planejamento e controle das atividades de ET&D, de natureza técnica.

Este trabalho está estruturado em três partes. A primeira, onde serão abordados os aspectos teóricos, conceituando-se competências essenciais, organizacionais e individuais. Na segunda parte, será apresentada a metodologia QFD e, na terceira, parte será apresentado o estudo de caso.

## 2. Aspectos Teóricos

O desafio das grandes empresas tem por orientação a difusão e expansão da base de conhecimentos. Em especial, as empresas que produzem alta tecnologia seguem a trilha do contínuo desenvolvimento/aperfeiçoamento de suas competências, tanto no âmbito da organização quanto dos indivíduos.

O processo de definição de objetivos estratégicos começa pela identificação das capacidades e competências críticas a partir de uma perspectiva interna dos processos de negócio. Levando-se em conta a perspectiva dos clientes, ocorre a seleção de segmentos de mercado e consumidores onde essas competências podem oferecer maior valor agregado. Neste contexto, o objetivo desta primeira parte do trabalho, é evidenciar e uniformizar três níveis de competências: a competência essencial, a competência organizacional e a competência individual. Além disso, é incluída uma breve descrição da metodologia do Desdobramento da Função Qualidade (QFD) por se tratar de uma das bases do desenvolvimento deste trabalho.

### 2.1. Quality Function Development (QFD)

O Desdobramento da Função Qualidade, ou QFD é um sistema que traduz as necessidades dos clientes em requisitos técnicos apropriados (Eureka, 1992). Esta metodologia ajuda a equipe a tomar decisões e minimizar as chances de insucesso. Segundo Guinta (1993) e Eureka (1992), esta metodologia se desenvolve através de quatro fases – Fig. (1):

**Planejamento do Produto:** fase na qual o cliente contribui para a definição dos requisitos do produto ou serviço. Tais requisitos são convertidos em QUÊS, através da matriz QFD, a partir da qual se definem diferentes maneiras de satisfazer os requisitos, os COMOS, os quais, após algumas avaliações, são transferidos para a fase seguinte;

**Desdobramento de Componentes:** os COMOS passam a ser os QUES desta fase na qual se investigam os componentes necessários para executar tal tarefa. Nesta fase, os componentes produzidos devem apresentar a mais alta relação com a satisfação dos requisitos do produto especificado pelo cliente;

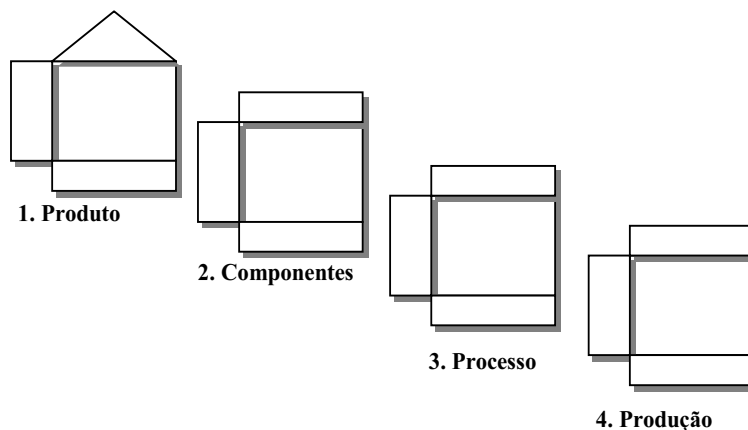


Figura 1: As quatro fases do QFD.

Fonte: Guinta (1993).

**Planejamento do Processo:** a nova matriz desenrola o processo necessário para realizar a tarefa. Os COMOS da fase anterior são transformados nos QUES desta fase, os quais devem indicar os processos que melhor satisfazem os requisitos do produto especificado pelo cliente, os novos COMOS;

**Planejamento da Produção:** Os COMOS da fase anterior passam a ser os QUES desta fase, na qual são definidos métodos para produzi-los, possibilitando assim, a execução do serviço de modo a atender as especificações do cliente.

A proposta deste trabalho é usar a filosofia QFD, adaptando sua metodologia de desenvolver “produtos” para sistematizar o processo de desenvolver/aperfeiçoar capacidade de indivíduos. Segundo Guinta (1993), a metodologia QFD, em sua primeira matriz (*House of Quality*), envolve 12 pontos importantes, como mostra a Fig. (2):

**Definição do Objetivo:** que deve descrever o problema ou objetivo do esforço da equipe;

**Os QUÊS:** requisitos dos produtos ou serviços definidos pelos clientes;  
**Ordem de importância:** dada pela ponderação dos valores atribuídos aos QUÊS;  
**Matriz de Correlações** que mostrará a relação entre os vários meios de produzir os QUÊS;  
**Lista de COMOS**, indicando as maneiras de produzir os QUÊS;  
**Conjunto de Metas** indicando se a equipe deseja aumentar ou diminuir os valores de algum COMO, ou estabelecer determinado valor para o mesmo;  
**Matriz de Relações** que permite identificar o nível de relacionamento entre o requisito (QUÊ) e a maneira de atingi-lo (COMO);  
**Avaliação da Concorrência** feita pelo cliente, que permite a comparação entre produtos ou serviços;  
**Avaliação Técnica da Concorrência**, que permite comparar tecnicamente o produto/serviço com a concorrência;  
**Fatores de Probabilidade**, cujos valores indicam a facilidade com que a empresa realiza cada como;  
**Número Absoluto de Pontos**, que é a soma dos valores de cada como na Matriz de Relações;  
**Número Relativo de Pontos**, que permite a priorização de cada como analisado – ao como com maior nº de pontos é atribuído o número 1 e assim por diante.



Figura 2: Componentes do modelo QFD (House of Quality).  
 Fonte: Guinta (1993).

Neste trabalho, será aplicada a filosofia do QFD para sistematizar o processo de identificação do perfil e desenvolvimento de Conhecimentos, Habilidades e Atitudes (CHA) na formação de CI's associadas a postos-chave.

## 2.2.Competência Essencial (CE)

Para que uma liderança de classe mundial seja desenvolvida num prazo de cinco a dez anos, é necessário que se conheça hoje a competência essencial necessária a ser desenvolvida para o futuro. A liderança nessa competência essencial equivale a uma potencialidade que é desencadeada quando a empresa vislumbra novas formas de explorar essa competência. Em outras palavras, a competência é uma potencialidade que vai abrir as portas para diversas novas aplicações.

Segundo Hamel e Prahalad (1995), "as competências mais valiosas são as que abrem as portas para uma ampla variedade de possíveis mercados e produtos". O desenvolvimento de competências essenciais é um processo longo e dispendioso, pois requer mais aprendizado cumulativo do que grandes saltos de inventividade. Por isso a necessidade de uma metodologia que permita identificar como a competência essencial necessária pode ser desenvolvida/aperfeiçoada. Para

Green (1999), competência essencial é um conjunto peculiar de “know-how” técnico que é o centro do propósito organizacional e, está presente nas múltiplas divisões da organização e nos diferentes produtos e serviços.

Prahalad e Hamel (1995) defendem que “uma competência essencial é um conjunto de habilidades e tecnologias que permite a uma empresa oferecer um determinado benefício aos clientes”. Eles afirmam que, na Sony, este benefício é do “tamanho de bolso”, para exemplificar que, neste caso, a competência essencial se traduz pelo permanente aperfeiçoamento da miniaturização de equipamentos. Neste caso, a integração é a marca de autenticidade das competências essenciais. Ainda segundo estes autores, “uma competência essencial de uma organização representa a soma do aprendizado de todos os conjuntos de habilidades tanto no âmbito pessoal quanto da unidade organizacional. É, portanto, muito pouco provável que uma competência essencial se baseie totalmente em um único indivíduo ou em uma pequena equipe”.

Para definir a linha divisória entre habilidade específica e a competência essencial para a qual essa habilidade contribui, Hamel e Prahalad (1995) afirmam que, “se durante um processo de definição das competências essenciais de uma empresa ou unidade de negócios, uma equipe de gerentes identifica quarenta ou mais competências, provavelmente está descrevendo habilidades e tecnologias, e não competências essenciais. Por outro lado, se listar apenas uma ou duas competências, provavelmente está usando um nível de agregação demasiadamente amplo para gerar *insights* significativos. Normalmente, o nível de agregação mais útil resulta em cinco a quinze competências essenciais. Para administrar o estoque de competências específicas de uma empresa, a área responsável precisa ser capaz de desmembrar essas competências em seus componentes, até o nível de indivíduos específicos com talentos específicos”.

Obviamente, não há nada de inovador em dizer que as empresas competem pelas capacidades/competências. A sutileza consiste em diferenciar aquelas que são essenciais das não essenciais, ou básicas. Segundo Hamel e Prahalad (1995), para ser considerada competência essencial da organização, é preciso atender a três quesitos fundamentais:

**Valor percebido pelo cliente:** são consideradas essenciais aquelas capacidades que permitem à empresa oferecer um benefício fundamental ao cliente. O que é visível ao cliente é o benefício, não as nuances técnicas, proporcionadas pela competência subjacente a esse benefício. Para contemplar este quesito é preciso atender às questões:

- Quais os “elementos de valor” deste produto ou serviço?
- Pelo que o cliente está realmente pagando?
- Porque o cliente está disposto a pagar mais ou menos por um produto ou serviço do que pelo outro?
- Que elementos de valor são mais importantes para os clientes, dando mais contribuição para a realização do preço?

**Diferenciação entre concorrentes:** para ser qualificada como competência essencial, uma capacidade precisa ser competitivamente única. É importante diferenciar aqui as competências básicas das competências essenciais. As competências básicas são aquelas capacidades imprescindíveis para uma empresa atuar e administrar com eficácia um determinado ramo de negócio. Elas representam as condições necessárias porém não suficientes para que a empresa possa alcançar liderança e diferenciação no mercado. Enquanto que, as essenciais são as competências que realmente distingue a empresa da concorrência, não é onipresente e não pode ser facilmente copiada pelos concorrentes.

**Capacidade de expansão:** a capacidade de expansão dá a competência essencial uma perspectiva de futuro. Por esta dimensão, através da competência é essencial é possível imaginar uma gama de novos produtos ou serviços gerados a partir dela. Ou seja, uma competência é realmente essencial quando constitui a base para a entrada em novos mercados e produtos. Em termos práticos, significa um esforço árduo em abstrair a configuração de um produto específico ao qual a competência está associada no momento e imaginar como a competência poderia ser aplicada em uma gama de diferentes produtos.

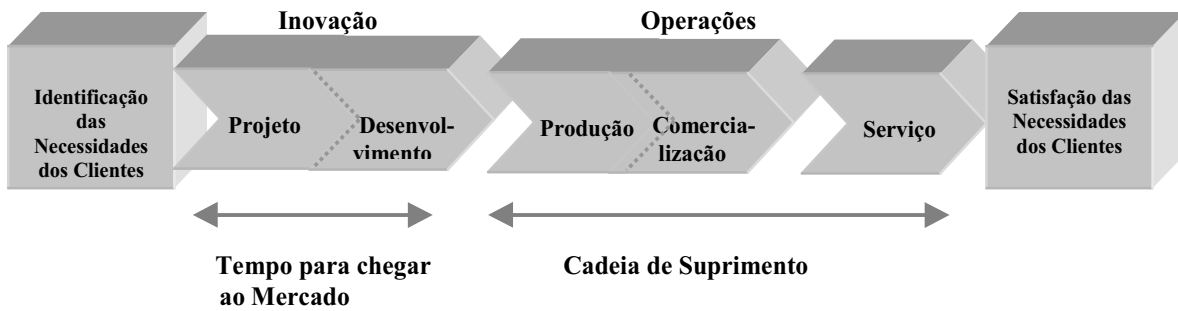
O conceito de competência essencial adotado neste trabalho vem da definição de Hamel e Prahalad (1995), segundo o qual uma competência é considerada essencial quando está associado a um conjunto de habilidades e tecnologias que permitem à empresa oferecer determinado benefício aos clientes e que atenda aos três requisitos fundamentais: valor percebido pelo cliente, diferenciação entre os concorrentes e capacidade de expansão.

### 2.3.Competência Organizacional (CO)

Para obter vantagem competitiva num ambiente globalmente competitivo, é imprescindível que as empresas melhorem continuamente sua capacidade de oferecer valor a clientes e acionistas, numa seqüência concatenada, a exemplo da Fig. (3).

Segundo Kaplan (1997), aprendizado e crescimento organizacional são resultados de três fatores importantes: pessoas, sistemas e procedimentos organizacionais. O autor afirma que para alcançar desempenho inovador, as empresas devem investir na reciclagem de funcionários, no aperfeiçoamento de tecnologia da informação e de sistemas e no alinhamento de procedimentos e rotinas organizacionais.

De acordo com a Comunicação Interna Embraer 1 (2000), “organizações que aprendem, têm alta taxa de inovação e melhorias sendo, na maioria dos casos, introdutoras de novos paradigmas na indústria; e ainda, apresentam geração compartilhada de conhecimentos, aumentando a sinergia interna”. Isto permite um aprendizado sistemático, com base em experiências passadas, sejam elas positivas ou negativas, manifestadas, por exemplo, por meio de reduções de custos futuros, abertura à experiência de terceiros, capacidade de aprender e se adaptar mais rapidamente novos processos de trabalho. Nesse cenário, ainda segundo Comunicação Interna Embraer (2000), “as empresas estão, cada vez mais, se voltando para a descoberta e desenvolvimento dos fatores internos como fonte de vantagens competitivas”.



**Processos de Negócios**

**Processo de Inovação**

- Criação de Produtos
- Desenvolvimento de Produtos

**Processos Operacionais**

- Produção
- Marketing
- Serviço pós-venda

Figura 3: A Perspectiva da cadeia de valores dos processos internos  
 Fonte: Kaplan & Norton (1997).

Segundo Niesembaum (2000) e Hamel e Prahalad (1995), as competências organizacionais são constituídas pelo conjunto de conhecimentos, habilidades, tecnologias e comportamentos que uma empresa possui e consegue manifestar de forma integrada na sua atuação, criando um impacto no seu desempenho e contribuindo para os resultados. Eles enfatizam a diferença entre competências básicas e essenciais.

Neste trabalho, o conceito de Competência Organizacional (CO) adotado é que a CO resulta da articulação de pessoas, equipamentos e procedimentos – Fig. (4), organizados para atender os objetivos estratégicos da empresa, que por sua vez, está em consonância com a CE da organização. E, dentro deste contexto, o objetivo é propor um modelo conceitual – Fig. (5) - para o gerenciamento da formação e aplicação de Competências Individuais (CI), de forma a compor as Competências Organizacionais (CO), aderentes aos propósitos estratégicos do negócio.

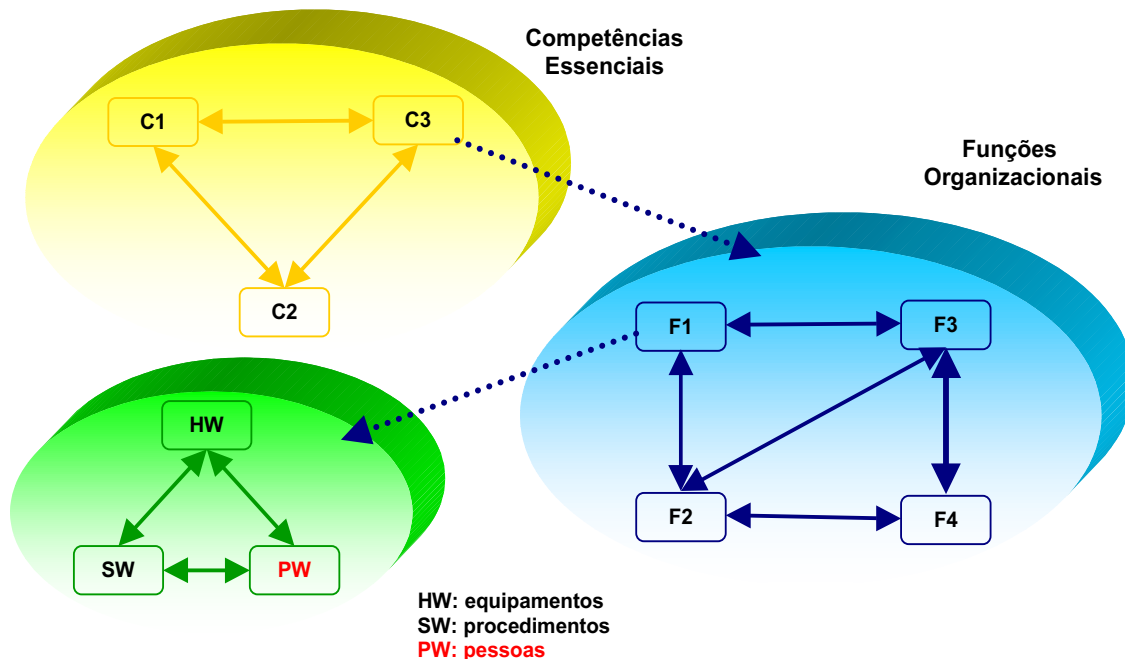


Figura 4: Articulações de competências organizacionais  
 Fonte: Comunicação Interna Embraer 1 (2000).

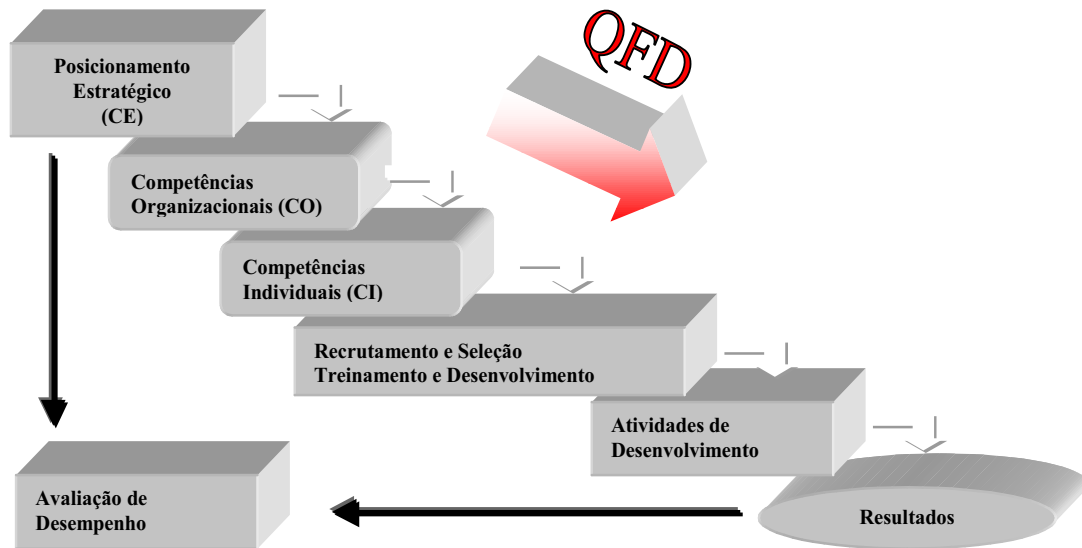


Figura 5: Proposta de modelo conceitual  
 Fonte: Comunicação Interna Embraer 2 (2000).

#### 2.4. Competência Individual (CI)

Como já mencionado por Hamel e Prahalad (1995), as competências essenciais de uma organização se resumem a pouco mais de uma dezena e são relativamente de fácil identificação. Porém, quando se relaciona o aperfeiçoamento das competências essenciais com planos de educação, treinamento e desenvolvimento de cargos, segundo Resende (2000), as competências individuais (CI) não têm limites e, além disso, não são facilmente identificáveis. Este trabalho de relacionamento e identificação requer prévia definição de conceitos e identificação de postos-chave a serem desenvolvidos. Estes postos são diferentes dos postos que podem ser reunidos em um mesmo cargo com características multifuncionais. As CI's associadas aos postos-chave são designadas por Resende (2000) de competências técnico-específicas. Ainda segundo este autor, vale a pena refletir sobre as questões:

- “Dedicar-se às competências essenciais desobrigaria dedicar-se à competência dos cargos?”.
- “As competências essenciais encerram necessariamente as competências técnico-operacionais específicas de todos os setores e atividades da empresa? Será que dez ou doze competências essenciais da macro organização têm mais peso do que três cinco ou dez mil pequenas competências que compõem as pequenas microestruturas?”.

Por estas reflexões, Resende (2000) propõe fazer a gestão das competências dos cargos, enfatizando a importância de um bom sistema de identificação das competências técnico-operacionais em cada cargo ou posto de trabalho, bem como a necessidade da avaliação dos ocupantes do cargo para se certificar se possuem tais competências que darão subsídios ao relacionamento entre aperfeiçoamento das CE com os planos de ET&D organizacional. Para identificar as CI's é necessário definir o que é uma competência neste âmbito.

Segundo Resende (2000), “competências individuais são atributos pessoais que distinguem pessoas de alto desempenho de outras, num mesmo trabalho” e ainda, “pessoas competentes são aquelas que obtêm resultados no trabalho e nos empreendimentos, utilizando conhecimentos e habilidades adequados”. Ainda segundo o autor, o que caracteriza o conceito moderno de competência é a idéia subjacente de resultado, implícita nos verbos saber fazer, saber aplicar, saber agir, saber resolver, pois “o saber operacionalizado resulta em resultados”. Além disso, o autor define que a competência é resultado da combinação de conhecimentos - formação, treinamento, experiência, autodesenvolvimento - com comportamento - habilidades, interesse, vontade.

Para Green (1999), competência individual é uma descrição de hábitos de trabalho mensuráveis, e habilidades pessoais utilizados para alcançar um objetivo de trabalho. Segundo seus conceitos, conhecimento técnico e habilidades no trabalho deveriam suportar as competências essenciais e as capacidades de uma organização. Green associa à definição de competências individuais as habilidades de desempenho e competências que incluem hábitos de trabalho, estilos de comunicação, liderança, trabalho em equipe, inteligência e personalidade.

Segundo Fleury e Fleury (2000), a competência do indivíduo não é um estado e não se reduz a um conhecimento específico. Os autores compartilham da visão de Le Boterf (1994 in Fleury e Fleury 2000), que situa a competência do indivíduo num tripé formado pela pessoa (sua biografia, socialização), por sua formação educacional e por sua experiência profissional. Enfim, os autores definem competência como “um saber agir responsável e reconhecido que implica mobilizar, integrar, transferir conhecimentos, recursos, habilidades, que agreguem valor econômico à organização e valor social ao indivíduo” - Fig. (6).

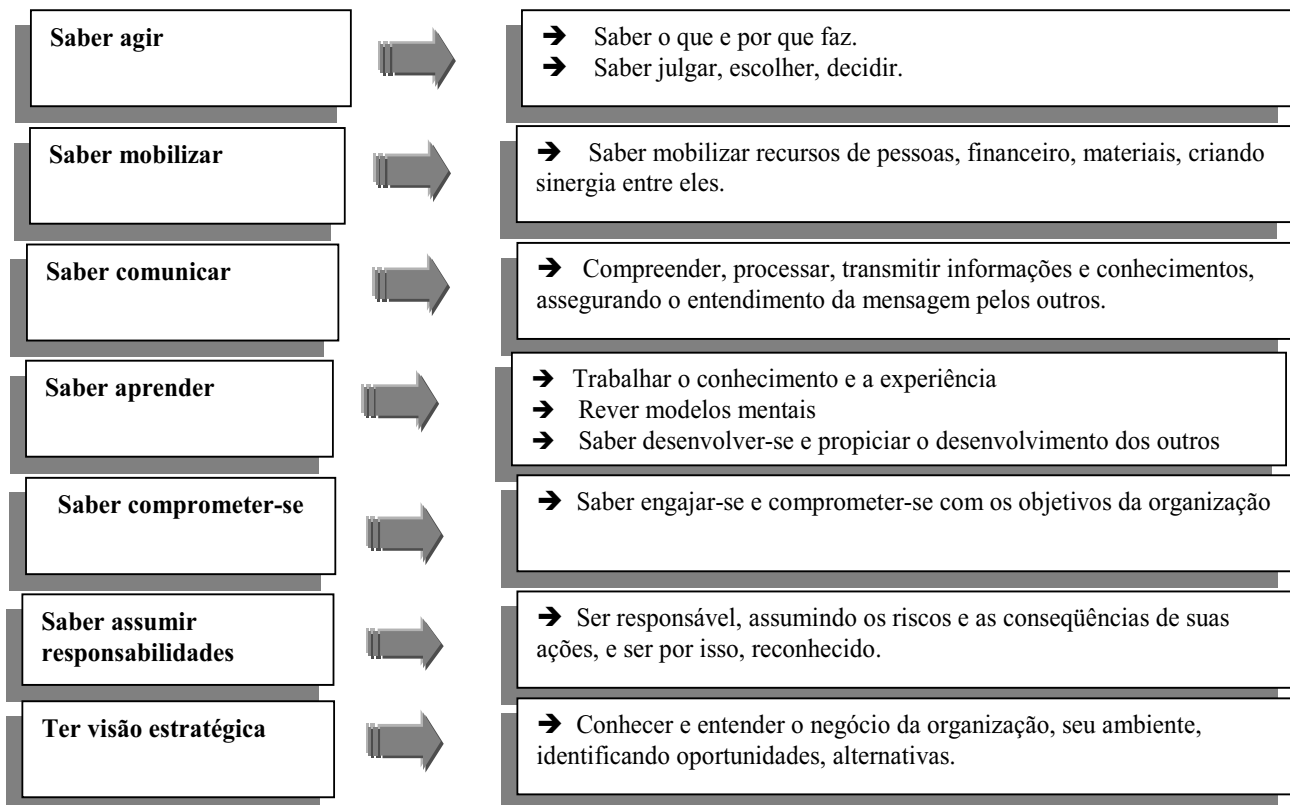


Figura 6: Competências do profissional  
Fonte: Fleury e Fleury (2000).

Neste trabalho será adotada a definição de CI, que se baseia nas definições de Resende (2000) e Fleury e Fleury (2000), segundo as qual, a competência individual é um saber agir com comprometimento, que implica mobilizar, integrar, transferir conhecimentos, habilidades e recursos que agreguem valor econômico à organização e valor social ao indivíduo. Sendo assim, pode ser traduzida por atributos pessoais que distinguem pessoas de alto desempenho, e que são mensuráveis através da obtenção de resultados. É importante ressaltar que o desenvolvimento das competências é, neste enfoque, de predição para melhorias futuras e não de remediar deficiências atuais.

### 3. Estudo de Caso

Este estudo de caso se divide em três partes. A primeira apresenta um breve histórico da Embraer, desde sua fundação. A segunda parte, apresenta o estudo de caso com a aplicação da filosofia QFD. A terceira parte apresenta os resultados do estudo de caso.

#### 3.1. Embraer

A Embraer foi criada em 1969, como empresa estatal de capital misto. Em 1994, a Embraer foi privatizada. Seus atuais controladores são Cia. Bozano e fundos de pensão Previ e Sistel, com 60% do capital votante. A Embraer formalizou, em 1999, uma aliança estratégica com empresas aeroespaciais européias como a Dessault Aviation, Snecma, Thales e EADS, a qual propicia a empresa, acesso a novas tecnologias, possibilidades de desenvolver novos mercados e aperfeiçoar seus processos de fabricação.

A Embraer é hoje, a primeira fabricante mundial para a aviação regional e a quarta maior fabricante de aviões comerciais do mundo. Na linha da aviação regional estão o EMB 120 Brasília para 30 passageiros, o ERJ 135 para 37 passageiros, o ERJ 140 de 44 assentos e o ERJ 145 para 50 passageiros.

Em julho de 1999, a Embraer lançou uma nova família de jatos – o ERJ 170, o ERJ 190-100 e o ERJ 190-200 – com capacidades para, respectivamente, 70, 98 e 108 passageiros. Segundo Comunicação Embraer 2 (2000), estes novos lançamentos devem não somente garantir a continuidade da linha de produtos comerciais da empresa como também fortalecer sua participação no mercado de jatos de transporte regional, que atualmente já é de 45%.

Além destes, a Embraer está presente no sistema de defesa aéreo brasileiro e em mais de 20 forças aéreas do exterior, com seus modelos EMB 145 AEW&C, para alerta aéreo antecipado, o EMB 145 RS/AGS, para sensoramento remoto, o EMB 145 MP/ASW, para patrulhamento marítimo e guerra anti-submarina, estes três com base na plataforma do jato comercial ERJ 145; o AM-X, que é uma aeronave subsônica de ataque a alvos terrestres e apoio aéreo aproximado; o EMB-314 Super Tucano, aeronave monomotor turboélice para treinamento de pilotos e missões de reconhecimento armado e sua versão leve de ataque, o ALX. Ainda, na busca de novas oportunidades de negócios, a Embraer lançou Legacy, que é uma aeronave de uso executivo, desenvolvida a partir da plataforma do ERJ 135, e estará disponível nas versões executiva, corporativa e transporte de autoridades. Além destes produtos, a Embraer atua no Mercado de Serviços ao Cliente, buscando ampliar sua atuação e também assegurar a confiança e lealdade de seus clientes e em Subcontratos e Aviação Geral, para desenvolvimento e fabricação de segmentos, partes e peças para indústrias aeronáuticas de grande expressão mundial.

Dentro desta gama de produtos, a Embraer manteve pelo segundo ano consecutivo, o primeiro lugar no ranking das empresas exportadoras no país. A entrega do primeiro jato regional para Sichuan Airlines na China, a concretização da primeira venda para a African Airlinck e a venda para a Regional Air Lines de Marrocos estabelecem, efetivamente, os produtos Embraer voando nos cinco continentes.

Estas realizações, de acordo com Valor Econômico (2001) renderam a Embraer encomendas da ordem de US\$ 24,1 bilhões, sendo o equivalente a US\$ 11,4 bilhões contratos firmes, o que permitirá manter um ritmo adequado de operações para os próximos anos.

Face aos desafios de âmbito mundial a Embraer iniciou, a partir de 1997, um programa de reavaliação de processos e de transformação interna, com o propósito de obter maior agilidade operacional e elevar o nível geral da administração, através do programa TOR – Transformação da Organização para Resultados. No ano de 2000, teve início o Programa de Desenvolvimento de Líderes, planejado para desenvolver-se dentro do escopo da função Educação, Treinamento e Desenvolvimento e, cujos propósitos principais são: i) capacitar os gestores de hoje para suportar o crescimento do negócio e as implicações decorrentes nas tarefas de administração; ii) reavaliar as competências de gestão, necessárias no momento e para a sustentação do futuro; iii) formar uma nova geração de líderes, sucessores dos atuais. Dentro deste escopo de desenvolvimento organizacional é que se desenvolve a proposta deste trabalho para o desdobramento de objetivos instrucionais no projeto de atividades pedagógicas.

### 3.2. Aplicação da Filosofia QFD

O estudo de caso se desenvolveu através de um processo de entrevistas com especialistas em diferentes áreas. Este processo, desdobrado segundo os princípios da filosofia QFD, pode ser resumido pelas etapas indicadas na Fig. (7). De acordo com o roteiro foram questionados cinco pontos importantes para o desenvolvimento da metodologia:

#### 1. Requisitos:

1.1 *O que o Marketing vê, do ponto de vista do cliente, como fatores determinantes para a aquisição do produto, com relação ao desempenho?*

1.2 *Dos fatores mencionados, que fatores podemos atribuir a cada um deles?*

#### 2. Especificações:

2.1 *Qual o perfil ideal do cargo-chave para desenvolver/aperfeiçoar a competência técnico-específica mencionada que será capaz de contribuir para sustentar e aperfeiçoar sua correspondente CE?*

2.2 *Com relação aos anseios do cliente dos produtos Embraer, o que a engenharia é capaz de fazer e o que a concorrência está fazendo?*

2.3 *Com relação ao perfil desenhado, qual a prioridade para cada característica?*

2.4 *Como pode ser traduzida cada característica deste perfil, em termos de Conhecimentos, Habilidades e Atitudes (CHA)?*

2.5 *Como pode ser priorizado cada um destes componentes (CHA)?*

#### 3. Processos

3.1 *Qual a melhor forma de desenvolver/aperfeiçoar estes Conhecimentos, Habilidades e Atitudes?*

3.2 *Analisando estas metodologias e processos com as necessidades levantadas junto à engenharia, quais seriam as mais indicadas ou que surtiriam os melhores resultados?*

#### 4. Controle

4.1 *Quais as melhores formas de avaliação e controle destes processos de aprendizado, de forma a garantir que o resultado – desenvolvimento das Competências Individuais – seja atingido?*

### 3.3. Resultados

Segundo a metodologia apresentada na Fig. (7), são resumidos a seguir os principais pontos relacionados a cada fase:

#### Requisitos:

Colocada a pergunta aos representantes da área de Marketing sobre “Por que o produto Embraer é preferido em relação à concorrência?”, foram levantados os seguintes pontos:

- Baixo custo operacional;
- Operação em pistas críticas;

Com base nas respostas acima, perguntou-se aos representantes da área de Engenharia sobre a competência técnica específica necessária para suportar os diferenciais competitivos de baixo consumo e operação em pistas críticas. As respostas foram:

- Projeto do perfil aerodinâmico da asa;
- Projeto dos dispositivos hiper sustentadores.

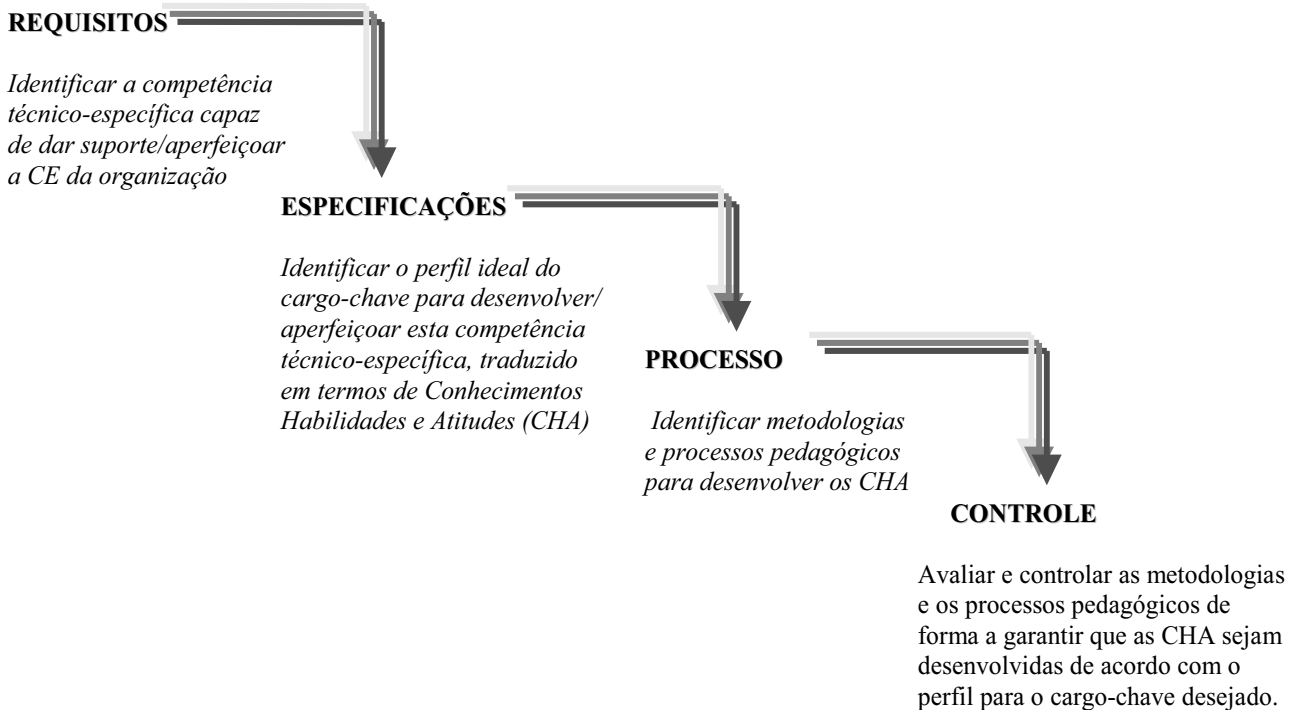


Fig. 7: Aplicação dos princípios da filosofia QFD.

**Especificações:**

O objetivo deste tópico foi identificar o perfil do cargo-chave para desenvolver/aperfeiçoar as competências técnico-específicas apresentadas no item anterior, desdobradas em Conhecimentos, Habilidades e Atitudes. Entrevistando-se novamente o pessoal da área de Engenharia com a pergunta “Qual o perfil ideal do cargo-chave destas competências técnico-específica que será capaz de contribuir para a sustentação e aperfeiçoamento da CE?”, foram identificadas as seguintes características:

Conhecimentos (saber):

- Bom conhecimento matemático
- Conhecer a fundo programação

Habilidades (saber fazer):

- Auto grau de abstração (forte em conceitos para abstrair a realidade)
- Alta capacidade de visualização (gráfica para a real) – realidade virtual

Atitudes (querer se comportar):

- Introspectivo (para desenvolver o processo analítico)
- Aberto ao auto questionamento e aceitar questionamentos
- Auto confiança (p/ vender um produto numérico como físico)

**Processos:**

Na definição das estratégias de ensino/aprendizagem, propõe-se neste trabalho a utilização das idéias apresentadas pela Fundação para o Prêmio Nacional de Qualidade - PNQ (2000), no que se refere ao item Educação, Treinamento e Desenvolvimento. Segundo esta, educação e treinamento podem ser ministrados externa ou internamente à organização, seja por atividades no local de trabalho, em salas de aula, sistemas informatizados ou CBT, ou ainda, em outras instituições externas à organização.

**Controle:**



Como formas de avaliação e controle do processo, entende-se como adequada à proposta do PNQ (2000), segundo a qual, a avaliação deve abordar fatores de reação após os treinamentos e ainda, o impacto no desempenho dos setores e nos resultados na organização como um todo, levando-se em consideração os objetivos de desenvolvimento de pessoas, o desempenho da organização e os investimentos efetuados em educação e treinamento.

Para implantação das avaliações de reação (satisfação dos participantes) e de impacto no setor, é proposta a metodologia apresentada pela ASTD (2000), na qual, para a avaliação de reação são focados: logística/infra-estrutura, conteúdo do curso, projeto de atividades de ensino/aprendizado, desempenho do instrutor, impacto percebido. Com relação à avaliação de impacto, a metodologia propõe obter informações tanto com o participante do curso como com seu supervisor. Os tópicos considerados são: uso das habilidades no local de trabalho, confiança na habilidade para executar tarefas, barreiras e facilitadores no uso das competências e medidas de impacto (medidas de desempenho).

### Comentários e Conclusões

Este trabalho objetivou apresentar uma metodologia para planejar e acompanhar o desenvolvimento de atividades de Educação, Treinamento e Desenvolvimento, visando qualificar pessoas em cargo-chave da empresa, utilizando a filosofia do QFD. A Fig. (3) resume o processo proposto.

As entrevistas com pessoas das áreas de Marketing (CE), Engenharia e Recursos Humanos (CO e CI) e com especialistas em educação corporativa, permitiram identificar competências técnicas específicas e relacionadas ao projeto aerodinâmico de aviões e a propor estratégias pedagógicas. Para avaliação dos resultados, critérios sugeridos na ASTD forma escolhidos por darem suporte aos requisitos sugeridos pelo Prêmio Nacional da Qualidade.

Como comentário final, cumpre ressaltar que processos de capacitação de pessoas em cargo-chave demandam esforços de longo prazo. No caso da Embraer, este esforço ainda está sendo realizado e uma avaliação conclusiva da eficácia é prematura. Por outro lado, destaca-se a criação do programa de capacitação de novos engenheiros, criado no início de 2001, que com duração de 18 meses pretende desenvolver nos alunos a competência equivalente a cinco anos de experiência.

### Referências

- American Society for Training & Development, 2000: "Learning Outcomes Report: Second Annual Report on ASTD's Standards for Valuing Enterprises' Investments". Alexandria – USA. [www.astd.org](http://www.astd.org)
- Comunicação Interna Embraer 1, 2000. Modelo de Educação, Treinamento e Desenvolvimento Embraer: Relatório final. 28 pgs. São José dos Campos.
- Comunicação Interna Embraer 2, 2000. Site [www.embraer.com.br](http://www.embraer.com.br).
- Eureka, W.E., Ryan, N. E, 1992, "QFD: Perspectivas gerenciais do desdobramento da função qualidade; tradução: Maria Júlia Pereira Quintella, Ed. Qualitymark, Rio de Janeiro".
- Fleury, A, Fleury, M.T., 1995. "Aprendizagem e Inovação Organizacional: as experiências de Japão, Coréia e Brasil", Ed. Atlas, São Paulo.
- Fleury, A., Fleury, M. T., 2000. "Estratégias Empresariais e Formação de Competências: um quebra-cabeça caleidoscópico da indústria brasileira". Ed. Atlas.
- Green, P.C., 1999. "Desenvolvendo Competências Consistentes: Como vincular sistemas de Recursos Humanos a Estratégias Organizacionais". Ed. Qualitymark, Rio de Janeiro.
- Guinta L.R., Praizler N.C., 1993. "Manual de QFD". LTC Livros Técnicos e Científicos Ed., Rio de Janeiro.
- Hamel, G., Prahalad, C.K., 1995. "Competindo pelo Futuro: estratégias inovadoras para obter o controle do seu setor e criar os mercados de amanhã". Ed. Campus, Rio de Janeiro.
- Kaplan, R.S., Norton, D.P., 1997. "A estratégia em ação: balanced scorecard" Ed. Campus, Rio de Janeiro.
- Nisembaum, Hugo, 2000. "A competência essencial" Ed. Infinito, São Paulo.
- PNQ2000. Fundação Para o Prêmio Nacional de Qualidade.
- Prahalad, C.K., 1997. "A Competência Essencial". HSM Management. Março-Abril.
- Prahalad, C.K., Hamel, G., 1990. "The Core Competence of the Corporation", Harvard Business Review, 68, 79-93.
- Resende, Enio, 2000. "O Livro das competências: desenvolvimento das competências: a melhor auto-ajuda para pessoas, organizações e sociedade" Ed. Qualitymark, Rio de Janeiro.
- Valor Econômico (2001). Relatório da Administração – Embraer. Terça-feira.

### Copyright Notice

The authors are responsible for the printed material included in this paper.

# APPLICATION OF THE QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD) METHODOLOGY TO MANAGE ACTIVITIES OF SPECIALIST DEVELOPMENT IN ORDER TO SUSTAIN COMPETITIVE ADVANTAGE (CA)

Rosa Maria Quiñones

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Pça. Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias – CEP 12.228-901. São José dos Campos – São Paulo - Brasil  
e-mail: [rosa.quinones@embraer.com.br](mailto:rosa.quinones@embraer.com.br)

Paulo Tadeu de Mello Lourenção

Embraer – Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A. Av. Brigadeiro Faria Lima, 2170 – São José dos Campos – SP.  
UNIVAP – Universidade do Vale do Paraíba.  
e-mail: [paulo.lourencao@embraer.com.br](mailto:paulo.lourencao@embraer.com.br)

**Abstract.** Competence used as a fundamental tool to get VC: this is the challenge of a company that produces aerospace technology and has as one of its main purposes to achieve leadership in the development of new products for a competitive worldwide market. The identification of the necessary and core competencies in this view is a critical success factor for the continuity of the business. So the objective of this work is, after assessing the needs of developing/maintaining Core Competencies (CE), to present a methodology to manage the development and application of Individuals Competencies (CI). Those CI put together must synthesize the Organizational Competence (CO), to agree to strategic purpose of the business, supporting the VC of the organization. The idea is to use the principles of the QFD methodology to systematize the development of Knowledge, Skills and Attitudes (CHA) to form a set of CI's related to key positions in the organization. These principles, applied to Education, Training and Development (ET&D) process, should optimize the application of resources in agreement with the strategic objectives. In addition, the processes of developing specialists must be systematically evaluated using adequate control indexes. The main contribution of this work is to show that the use of QFD has shown to be an effective tool to design the activities related to planning and control of ET&D, in the case of technical positions in the company.

**Key Words:** *competitive advantage; specialist development; education, training and development; quality function deployment; aeronautical engineering.*

## RELAÇÃO ENTRE OS REQUISITOS DA ISO 9001: 2000 E FUNÇÕES DE TRABALHO ATRAVÉS DO QFD

**José Celso Sobreiro Dias, MSc**

Fundação de Ensino Octávio Bastos (FEOB), São João da Boa Vista - SP  
e-mail: jcsdias@dglnet.com.br

**Paulo Augusto Cauchick Miguel, PhD**

Núcleo da Gestão da Qualidade & Metrologia (NGQM), Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção (FEMP)  
Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP) - e-mail: pamiguel@unimep.br

*Resumo. Varistores são eletro-cerâmicas com comportamento não-linear na característica tensão-corrente. São utilizados como o principal componente aplicado em equipamento para descargas atmosféricas (para-raios). O controle de matéria-prima é de grande importância e de alto custo, considerando-se as perdas e não-conformidades, bem como os investimentos necessários para assegurar a qualidade. Neste sentido, torna-se essencial a utilização de metodologia eficaz para assegurar qualidade de suprimentos. Este trabalho apresenta um estudo considerando o processo de aquisição, inspeção e controle de matérias-primas usando o QFD (Desdobramento da Função de Qualidade). O objetivo principal é analisar as funções operacionais mais relevantes que causam maior impacto nos requisitos gerenciais baseado nas normas ISO 9001 (versão 2000).*

*Palavras-chave: Desdobramento da Função Qualidade(QFD), ISO 9000: 2000, Qualidade Assegurada.*

### 1. Introdução

Diante do enfoque dado às necessidades competitivas das organizações, a qualidade dos produtos deixou de ser um aspecto diferencial nas negociações e tornou-se uma condição necessária para a sustentação do próprio negócio. A sobrevivência das empresas dependente da busca cada vez mais intensiva de qualidade e produtividade. Essa busca de competitividade faz com que as empresas revejam os seus métodos de desenvolvimento de produtos, gerenciamento da produção e gestão da qualidade. Nesse sentido, a indústria nacional vem investindo em novos sistemas de gestão, bem como na aplicação de técnicas para melhoria da qualidade através do planejamento e garantia da qualidade. Dentre essas técnicas está o Desdobramento da Função Qualidade (QFD - *Quality Function Deployment*). Entretanto, cabe ressaltar que, para as empresas conseguirem atingir a adequação às exigências do mercado, não basta apenas a utilização de ferramentas isoladas para melhoria da qualidade e produtividade. É necessária uma reestruturação das empresas, através da adoção dos sistemas de gestão, que compatibilize o uso das técnicas e ferramentas da qualidade disponíveis que garantam as condições mínimas de planejamento, controle e de melhoria contínua em cada etapa dos processos, sendo essas condições necessárias para alcançar os objetivos propostos.

Dentro desse contexto, a indústria eletro-eletrônica teve uma evolução rápida, alcançando altos níveis de sofisticação tecnológica. Com essa evolução, houve aumento nos custos de equipamentos, promovendo assim a necessidade da adequação dos sistemas de proteção para esses equipamentos, compatibilizada com essa evolução tecnológica. Diante da imposição da necessidade de melhoria e adequação nos sistemas de proteção de equipamentos eletrônicos, fez-se necessários estudos nos componentes eletrônicos que vêm compor tais sistemas de proteção. Sendo assim, surgiram estudos sobre as cerâmicas eletrônicas com propriedades varistoras, visando a sua adequação às novas propostas de aplicação. Os estudos em cerâmicas eletrônicas permaneceram estagnados por um longo período e ressurgiram com o advento da necessidade de uma proteção eficaz.

Um dos equipamentos mais eficazes para a proteção dos equipamentos eletrônicos são os pára-raios, que têm nas cerâmicas eletrônicas o seu principal componente. Entretanto, o desempenho requerido não é somente obtido pela mudança nos componentes químicos da formulação dessas cerâmicas, tendo-se ainda as variáveis encontradas nos processos de fabricação e a rigidez necessária nas propriedades físico-químicas das matérias-primas utilizadas. Técnicas e métodos para controle da qualidade vêm sendo desenvolvidos, mas a sua aplicação demanda altos custos tanto pela necessidade de equipamentos sofisticados quanto pela exigência de recursos humanos com alto grau de conhecimento tecnológico. Adicionalmente, fez-se necessário estudo para estabelecer um sistema de gestão da qualidade que venha atender as exigências requeridas nas matérias-primas necessárias para a fabricação das cerâmicas eletrônicas, não somente pelos custos envolvidos, mas também pelo tempo despendido. Nesse sentido, para auxiliar nesse processo e fornecer subsídios para impulsionar essa implementação, o QFD é sugerido nesse trabalho, como um elo de ligação entre as funções de trabalho necessárias para a aquisição, inspeção e controle das matérias-primas aplicáveis em cerâmicas eletrônicas com os requisitos normativos da ISO/DIS 9001: 2000 (1999).

### 2. Fundamentação Teórica

A intenção de combinar o QFD com os requisitos normativos da série ISO/DIS 9001: 2000 (1999) para auxiliar o desenvolvimento de uma metodologia de aquisição, inspeção e controle de matérias-primas, partiu da idéia central do trabalho de AKAO & HATTORI (1998). Acredita-se que essa idéia seja legitimada pela observação de dois pontos relevantes:

- Adoção dos requisitos extraídos de um sistema de garantia da qualidade, e.g. normas da série ISO 9000;
- Identificação de funções operacionais críticas essenciais para as características individuais da qualidade que estejam presentes no resultado da empresa.

Baseado nesses fatores, esse trabalho relata a realização de um trabalho para a área de Gestão da Qualidade, através de uma proposta de utilização da metodologia QFD, combinando-a com os requisitos normativos da série ISO/DIS 9001: 2000 (1999), propondo assim uma metodologia de análise das funções de aquisição, inspeção e controle de matérias primas, aplicadas em cerâmicas eletrônicas, cujos princípios são abaixo descritos.

## 2.1. Cerâmicas Eletrônicas

Segundo LEVINSON & PHILIPP (1986) e MATSUOKA (1971), os varistores (resistores variáveis) à base de óxido de zinco (ZnO) são componentes eletro-cerâmicos, sendo compostos de sistemas polifásicos, como explica INADA (1978a, 1978b) e que apresentam grande comportamento não linear na característica tensão-corrente, como exposto por MATSUOKA et al. (1970); e ainda demonstram elevada capacidade de absorção de energia como expõem GUPTA & CARLSON (1985) e GUPTA (1990). De acordo com LEVINSON (1989), os sistemas varistores, exibem aplicações em ampla gama de sistemas eletro-eletrônicos, em função da tensão de trabalho ou da capacidade de absorção de energia. Segundo as instruções HUBBELL (1988), variando a composição química da formulação e o processamento dos varistores, o comportamento da curva tensão x corrente sofre mudanças.

LEITE, LONGO & VARELA (1988) afirmam que se controlando os tamanhos do grão podem ser projetados varistores para diferentes aplicações, resultando em fator decisivo para concluir que a matéria-prima empregada na composição dos varistores é de suma importância. Outro ponto a ser abordado, como relata os trabalhos de LEVINSON & PHILIPP (1986) e CLARKE (1999), e verificados pela HUBBELL (1988) em suas instruções normativas, está na microestrutura do varistor. Diante de tais variáveis caracteriza-se a matéria-prima como elemento de extrema importância na formação destas composições varistoras. Portanto, as suas propriedades físico-químicas devem estar estritamente controladas, para que, desde a formulação do composto até o processo final de sinterização, possa estar garantido um estrito controle da composição química das matérias-primas e da composição microestrutural do varistor.

Diante desses argumentos, verifica-se que qualidade das matérias-primas bem como o processo produtivo é de suma importância na produção de cerâmicas varistoras. Sendo assim, o estabelecimento de uma metodologia de inspeção e controle dessas matérias-primas, em que os requisitos da qualidade sejam estabelecidos de forma contratual deve ser eficaz sob o ponto de vista econômico e técnico-gerencial. Partindo da aquisição, inspeção e controle de matérias-primas, em que os requisitos dos clientes são determinados pelas funções operacionais relevantes, pretende-se correlacioná-los com os requisitos normativos da ISO 9001: 2000, objetivando como resultado um modelo de garantia da qualidade assegurada. Essa aplicação é realizada através do Desdobramento da Função Qualidade, descrito a seguir.

## 2.2. Princípios do QFD

As definições e princípios do QFD, aqui discutidos, incluindo a descrição da matriz da qualidade e dos elementos que a compõem, objetivam ilustrar a utilização do QFD como uma ferramenta de planejamento da qualidade. A garantia da qualidade tem sido implementada em diversas empresas para auxiliar na busca da qualidade de produtos e serviços. Entretanto, é necessário introduzi-la no processo de desenvolvimento tanto de produtos e serviços, como da organização de forma geral. Somente assim a empresa poderá considerar o planejamento da qualidade, a fim de conquistar a Garantia de Qualidade para seus produtos e serviços. Segundo CAMPOS (1992), a garantia da qualidade é obtida através do planejamento da qualidade e do controle da qualidade conduzido por todos membros da empresa. O desenvolvimento da qualidade oferecido por uma organização deve refletir os interesses e necessidades dos clientes. Nesse sentido, uma das formas de se conseguir é através da metodologia QFD, pois essa possui a característica de captar essas necessidades, expectativas e desejos dos clientes e traduzi-las em características da qualidade, para todos os processos da organização, de forma a garantir a qualidade requerida pelos clientes, em cada etapa do processo.

De acordo com FIATES (1995), o QFD é visto por alguns autores como uma excelente ferramenta de planejamento da qualidade. Desde a sua adoção, em meados dos anos 60, vem sendo considerado como um sistema eficaz para introduzir a garantia da qualidade no desenvolvimento de produtos e serviços. O cliente atual é estritamente exigente para com os produtos e serviços que consomem e, nesse sentido, a metodologia QFD não somente está sendo utilizada para obtenção dos requisitos dos clientes, mas em diversas aplicações em todas as atividades empresariais.

Conforme descreve CHENG et al. (1995) o desdobramento da qualidade pode ser conceituado como sendo "o processo que visa: buscar, traduzir e transmitir as exigências dos clientes em características da qualidade do produto por intermédio de desdobramentos sistemáticos, iniciando-se com a voz do cliente, passando pelo estabelecimento de funções, mecanismos, componentes, processos, matéria-prima e estendendo-se até o estabelecimento dos valores parâmetros de controle de processos". No caso desse trabalho, a aplicação do QFD é diferentemente realizada, em comparação com as alternativas tradicionais. O QFD é utilizado para priorização de informações gerenciais, destacando as funções de trabalhos mais importantes no processo de aquisição, inspeção e controle de matérias-primas, bem como os requisitos gerenciais da ISO 9001: 2000.

A partir dessas considerações nota-se que o QFD utilizado como ferramenta de planejamento da qualidade e como meio de apoio para o desenvolvimento da metodologia proposta é uma escolha adequada para combinar as funções de trabalho com os requisitos normativos da série ISO/DIS 9001: 2000. Antes de apresentar a proposta desse trabalho, um breve relato sobre a série ISO 9000 é realizado, destacando-se as alterações propostas com a versão 2000, que vem a substituir a versão de 1994.

### 2.3. A série ISO 9000

Na atualidade, atender somente às especificações não basta, não é garantia de que o cliente esteja satisfeito, pois produzir apenas não basta, sendo necessário produzir com a qualidade requerida pelo cliente GRIFO (1996). Nesse contexto, as normas da série ISO 9000 são normas genéricas, independentes de qualquer setor econômico, não sendo alternativa para especificações técnicas ou de produto, sendo que seu caráter é complementar, relativo ao sistema da qualidade de uma organização. Conforme expõem KETOLA & ROBERTS (2000), desde sua primeira edição em 1987, as normas da série ISO 9000 têm contemplado requisitos básicos para o gerenciamento. Primeiramente, com o objetivo de estabelecer uma política da qualidade, objetivos da qualidade e de comunicar esses requisitos a toda empresa. Em segundo, proporcionando uma estrutura organizacional que responde pela qualidade nos vários processos da organização, notadamente no processo produtivo.

A responsabilidade do gerenciamento toma uma nova dimensão com a nova proposta da versão ISO/DIS 9001: 2000 (1999). A versão ISO/DIS 9001: 2000 (1999) está determinada a transferir a responsabilidade para o sistema de gestão da qualidade ao invés da qualidade assegurada, cuja responsabilidade é da alta administração. Isso visa assegurar que a satisfação dos clientes seja realizada, os requisitos dos clientes completamente identificados e compreendidos, que o planejamento das atividades incluam objetivos para cada nível e função relevante em toda a empresa e que as comunicações sejam estabelecidas em todos os níveis organizacionais.

De acordo com GRIFO (1996), as ações prescritas pelas normas de certificação do Sistema da Qualidade da série ISO 9000 (ISO 9001, ISO 9002 e ISO 9003) atingem apenas as formas de assegurar a qualidade (inspeção, controle e garantia da qualidade), como modelo de ações reativas, corretivas e preventivas, sendo que a versão ISO/DIS 9001: 2000 (1999), como complementa DE CICCO (2000), teve uma mudança relevante onde passa a considerar às ações preditivas. O novo modelo da norma passa a ter consonância com os objetivos propostos pela metodologia de ações preditivas, buscando uma visão sistêmica nos processos que impactam a qualidade e a produtividade e tem foco nas ações que visam a impedir o aparecimento de problemas.

Dessa forma, a implementação das normas da série ISO 9001 (2000) somente trarão benefícios a organização. O tratamento aprimorado dispensado aos fornecedores e parceiros e pelo desenvolvimento extenso de toda a estrutura organizacional, vem consolidar a posição da utilização de uma proposta de metodologia de aquisição, inspeção e controle de matérias-primas, descrita nesse trabalho.

### 3. Integração do QFD e ISO 9001: 2000

Conforme apontado anteriormente, sugere-se a aplicação do QFD como uma ferramenta de gerenciamento para a análise de decisão em atividades de planejamento da qualidade da empresa, através da implementação de uma metodologia em que os elementos da ISO são combinados com as funções de trabalho relacionadas com a aquisição, inspeção e controle de matérias-primas.

Devido à importância atribuída às matérias-primas e do processo produtivo para a formação das cerâmicas com excelentes propriedades varistoras, conforme destacado por MOULSON & HERBERT (1995), nesse trabalho faz-se referência ao processo de aquisição, inspeção e controle dessas matérias-primas, através de uma metodologia que relaciona esses requisitos técnicos com requisitos gerenciais (elementos da ISO/DIS 9001: 2000, 1999), utilizando-se do QFD como elo de ligação entre eles. Nesse sentido, a aplicação de uma metodologia pode ser considerada como um importante passo para o estabelecimento da garantia da qualidade. A qualidade exigida no QFD podem ser representadas pelas funções de trabalho ou operacionais (*job functions*) que interferem no processo, e necessárias para obtenção de sucesso nos aspectos técnicos, enquanto que as características da qualidade são representadas pelos requisitos normativos da série ISO/DIS 9001: 2000 (1999).

Com base no trabalho de AKAO & HATTORI (1998), cujo modelo conceitual é reproduzido na Figura 1, pode-se afirmar que um verdadeiro sistema de qualidade pode ser desenvolvido utilizando-se da combinação do QFD com os requisitos normativos da série ISO 9000, conforme sugerido pelos autores.

Nesse sentido, a proposição feita por AKAO & HATTORI (1998), expressa uma ligação dos requisitos normativos da série ISO 9000 com a metodologia QFD visando obter um sistema de garantia da qualidade ou, como afirma MIGUEL (1998), um sistema que assegure a qualidade dos produtos e serviços da empresa, ou seja, o resultado da organização. A certificação obtida pelas normas ISO 9000 garante que a empresa possua um sistema da qualidade, provendo confiança para os clientes na aquisição de produtos e serviços, como exposto por AKAO & HATTORI (1998). Esses trabalhos apresentam um sistema baseado nos seguintes pontos:

1. Requisitos extraídos de um sistema de garantia da qualidade ideal;
2. Funções de trabalho críticas (*job functions*) essenciais para as características da qualidade presentes no resultado da empresa.

Os requisitos normativos da série ISO 9000 consideram o item 1, mas não fazem menção ao item 2. Da mesma forma, tem-se o sistema da qualidade proposto por FEIGENBAUM (1961), atuando no ponto 1 através de uma rede de procedimentos operacionais (*network operational procedures*), mas deve-se ter também a definição clara destas funções de trabalho. Verifica-se então o relacionamento com o QFD, a partir da premissa básica de que há necessidade do desdobramento das funções de trabalho para alcançar a garantia da qualidade. Dessa forma, a qualidade estará assegurada, sob a ótica do item 2, quando os requisitos dos clientes forem incorporados ao produto e estiverem em consonância com os objetivos das normas da série ISO 9000.

Partindo da premissa inicial da importância do estreito controle das matérias-primas necessárias para a fabricação de cerâmicas varistores, e de que a combinação dos requisitos normativos da série ISO 9000 com o QFD permitem o

estabelecimento de um sistema de garantia da qualidade ao produto final, como propõe AKAO & HATTORI (1998), esse trabalho tem a proposição de fazer essa combinação. Sendo assim, aplica-se a metodologia QFD para analisar os requisitos normativos da série ISO 9000, em sua versão ISO/DIS 9001: 2000 (1999), bem como as funções de trabalho identificadas como relevantes para o processo.

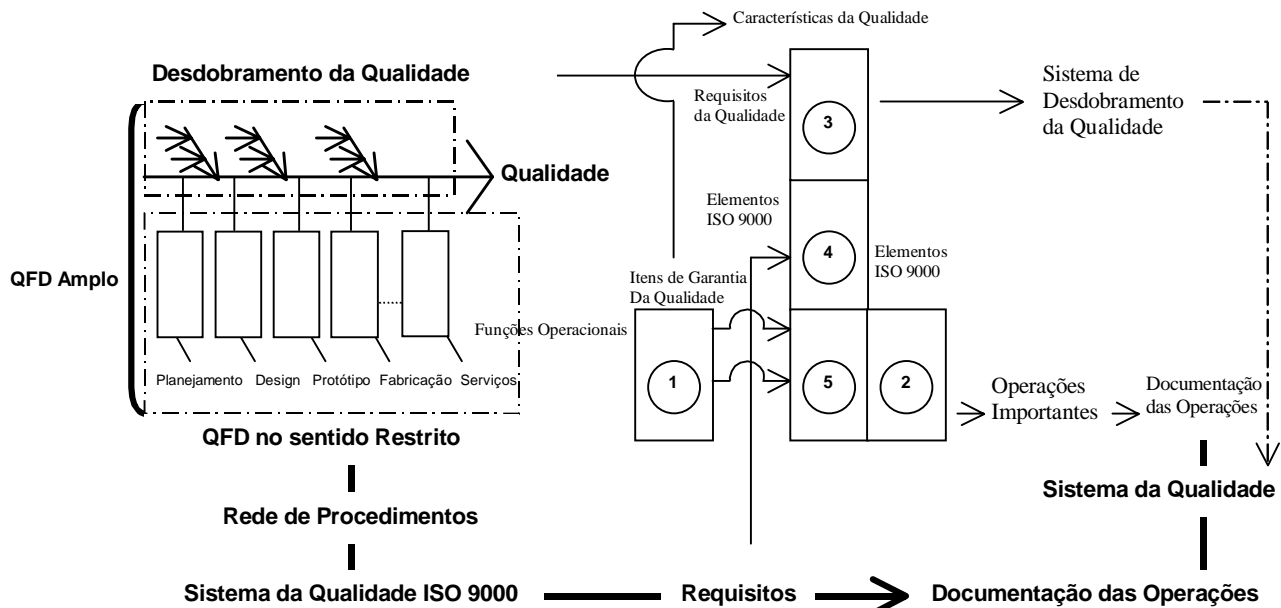


Figura 1 - Sistema da Qualidade ISO 9000 combinado com QFD. Fonte: AKAO & HATTORI (1998).

#### 4. Resultados

O desenvolvimento do trabalho foi realizado em uma pequena empresa do setor eletro-eletrônico, que adquiriu tecnologia para a produção de varistores à base de óxido de zinco de elevado desempenho, em um centro de pesquisa de produtos elétricos na França. Segundo CAVENAGHI (1999), a finalidade do desenvolvimento desses varistores, tem seu foco no aumento da qualidade, produtividade e redução de custos, por meio da investigação e incorporação de novas tecnologias de materiais e de processos dos componentes e produtos cerâmicos, destinados à fabricação dos equipamentos de proteção mencionados anteriormente.

Como mostrado anteriormente, as matérias-primas têm uma importância muito grande na formação das cerâmicas eletrônicas, devendo, portanto, dar-se relevância a qualquer atividade que envolva essas matérias-primas e que, sobretudo venham contribuir para a melhoria da qualidade do produto final. Sendo assim, a empresa vem dedicando-se ao desenvolvimento adequado dessas matérias-primas e agregando ao processo às contribuições que visam a melhoria como a implantação desse teste piloto de aplicação do QFD com o objetivo de desenvolver um sistema da qualidade para esses produtos. A equipe de QFD foi constituída pelo diretor industrial, chefe do controle de qualidade, supervisor de produção, almoxarife, gerente de suprimentos, consultor especialista em ensaios elétricos e consultor do sistema da qualidade, trabalhando nos itens citados a seguir, através de reuniões periódicas.

##### 4.1. Tabela de Desdobramento da Qualidade Exigida

A etapa de desdobramento da qualidade exigida iniciou-se pela construção da tabela de desdobramento da qualidade exigida, sendo que nesse trabalho foi representada tabela das funções de trabalho, relacionada com o processo de aquisição, inspeção e controle das matérias-primas, apresentadas na Tabela 1, sendo essa tabela utilizada nas matrizes 1, 2, e 5 do modelo proposto por AKAO & HATTORI (1998); ver Figura 1.

A tabela do desdobramento da qualidade exigida apresenta as funções de trabalho, sendo elaborada em dois níveis:

- Nível 1: funções de trabalho básicas;
- Nível 2: detalhamento de cada função de trabalho estabelecida.

O primeiro nível representa as funções de trabalho, tais como especificações, estoques, compras, custos, documentação, inspeções, segurança, e registros. O segundo nível é a representação detalhada de cada função. Por exemplo, atividades que envolvem requisições de compra, estimativas de transportes, documentação, embalagens, entre outras especificadas.

##### 4.2. Tabela de Desdobramento das Características da Qualidade

A tabela de desdobramento das características da qualidade foi obtida através da compilação dos requisitos normativos da série ISO 9000, organizados e sistematizados a partir de sua versão ISO/DIS 9001: 2000 (1999), ou seja, os elementos das tabela são constituídos pelos requisitos normativos, com seus respectivos níveis de detalhamento.

Tabela 1 – Tabela da qualidade exigida.

Nível 1	Nível 2
Especificação	ETM – Especificação Técnica de Materiais
Estoques	EP - Estoque Produtivo
Estoques	ES - Estoque Segurança
Estoques	EPD - Estoque P&D
Compras	RM – Requisições de Materiais
Compras	CM – Cotações de Materiais
Compras	PCN - Pedidos de Compra Nacionais
Compras	PCI – Pedidos de Compra Internacionais
Compras	TN - Transporte Nacional
Compras	TI - Transporte Internacional
Compras	EMB – Embalagens
Compras	NF - Notas Fiscais
Compras	DI - Declaração de Importação
Compras	NFE - Notas Fiscais de Entrada
Compras	RRM – Relatório de Recebimento de Materiais
Custos	CA - Custos Aquisição
Custos	CI - Custos Inspeção
Custos	CNC – Custos de Não-conformidades
Custos	CG - Custos de Garantias
Documentação	CQ - Certificados de Qualidade
Documentação	FT - Fichas Técnicas
Documentação	FS - Ficha de Segurança
Inspeções	ITM - Inspeção Técnica de Materiais
Inspeções	TE - Testes Elétricos
Manuseio	ARM – Armazenagem
Manuseio	DST – Distribuição
Segurança	NS - Normas de Segurança
Segurança	NM - Normas de Manuseio
Registros	RA – Registros de Aplicação
Registros	RNC – Registros de Não-conformidades

#### 4.3. Matriz: funções de trabalho x elementos da ISO

A partir da elaboração das duas “unidades básicas de trabalho”, conforme propõe CHENG et al. (1995), representadas pelas tabelas de desdobramento, construiu-se a matriz: funções de trabalho x elementos da ISO/DIS 9001: 2000, que, na verdade, é a combinação, na forma matricial, das tabelas. O objetivo principal de sua construção é identificar quais são os elementos da ISO 9001 que têm uma maior importância relativa e, conseqüentemente, maior impacto sobre as funções de trabalho.

##### 4.3.1. Qualidade planejada

A partir da construção da matriz: funções de trabalho *versus* elementos da ISO/DIS 9001: 2000, pode-se trabalhar na busca dos resultados do processo de obtenção da qualidade planejada seguindo a metodologia proposta por AKAO et al. (1990) e DRUMOND (1995).

A Figura 2 representa a avaliação da Qualidade Planejada atribuída ao produto. A equipe de trabalho através de *brainstorming* e do processo de *benchmarking*, elaborou essa tabela.

De acordo com instruções apresentadas, coube aos membros da equipe de trabalho, mencionados anteriormente, atribuírem pontuação às funções de trabalho, de acordo com o grau de importância (GI) atribuído dentro do processo de aquisição e controle de matérias-primas. Conforme sugerido por AKAO (1996), utilizou-se à escala numérica absoluta de 1 a 5, sendo 1 "não importante" a 5 "muito importante". Os resultados estão apresentados na coluna “GI” (Grau de Importância) da Figura 2 e foram obtidos através de uma análise qualitativa dos requisitos da qualidade.

Nível 1	Nível 2	GI	Avaliação Concorrência			Planejamento			Peso	
		GI	Emp	Emp X	Emp Y	QP	TM	AV	PA	PR
Especificação	ETM	5	4	3	5	5	1,25	⊙	9,38	6,65
Estoques	EP	1	3	4	4	4	1,33	○	1,60	1,13
	ES	1	1	2	3	3	3,00	○	1,60	2,55
	EPM	1	3	1	4	4	1,33		1,60	1,13
Compras	RM	3	1	1	1	1	1		3,00	2,13
	CM	2	1	1	1	1	1		2,00	1,42
	PCN	4	2	1	3	3	1,50		6,00	4,25
	PCI	4	3	4	1	4	1,33	○	6,38	4,52
	TN	1	1	1	1	1	1		1,00	0,71
	TI	1	1	1	1	1	1	○	1,20	0,85
	BEM	1	1	1	1	1	1		1,00	0,71
	NF	2	1	1	1	1	1		2,00	1,42
	DI	2	3	2	1	3	1	○	2,40	1,70
	NFE	2	1	1	1	1	1		2,00	1,42
	RRM	5	4	2	5	5	1,25	⊙	9,38	6,65
Custos	CA	4	2	3	4	4	2,00		8,00	5,67
	CI	4	2	3	4	4	2,00		8,00	5,67
	CNC	3	1	2	4	4	4,00	○	14,40	10,21
	CG	1	4	3	4	4	1	○	1,20	0,85
Documentação	FT	3	3	3	3	3	1	⊙	4,50	3,19
	CG	4	3	3	3	3	1	⊙	6,00	4,25
	FS	2	3	3	3	3	1		2,00	1,42
Inspeções	ITM	5	3	2	5	5	1,67	⊙	12,53	8,88
	TE	3	4	2	5	5	1,25	⊙	5,63	3,99
Manuseio	ARM	2	3	3	4	4	1,33		2,66	1,89
	DST	2	3	3	3	3	1		2,00	1,42
Segurança	NS	2	2	2	2	2	1		2,00	1,42
	NM	4	2	2	4	4	2,00	○	9,60	6,81
Registros	RA	3	3	5	5	5	1,67		5,01	3,55
	RNC	3	3	5	5	5	1,67		5,01	3,55

Figura 2 – Tabela da Qualidade Planejada.

Para a execução da avaliação competitiva, adotou-se a mesma metodologia utilizada para a obtenção do grau de importância, sendo que a equipe procurou avaliar o desempenho da empresa em comparação a dois concorrentes:

- Empresa "X": concorrente nacional, que não detém o domínio total da tecnologia de produção de cerâmicas varistoras, mas que há pouco tempo era líder de mercado na classe de varistores até então adotada pela Eletrobrás (classe 5kA). A empresa "X" vem empreendendo esforços no sentido de adequação as novas exigências do mercado, sendo que atualmente para comercialização de seus produtos importa as cerâmicas eletrônicas;

- Empresa "Y": concorrente internacional, que detém a mesma tecnologia da empresa estudada, onde esse trabalho foi desenvolvido. É um dos principais fornecedores de cerâmicas eletrônicas na Comunidade Européia.

O resultado está nas colunas "Avaliação Concorrência (Emp., Emp. "X", Emp. "Y") da Figura 2.

Os dados referentes à empresa "X" foram obtidos através de informações fornecidas por um dos membros da equipe de trabalho, que é um ex-funcionário dessa empresa, sendo que em ambas as empresas ocupou a função de chefe do controle de qualidade. Em relação aos dados da empresa "Y", esses foram obtidos através das considerações de outro membro da equipe de trabalho, diretor industrial, que estagiou nessa empresa, pois detém a mesma tecnologia e possuem acordo de cooperação mútua, estabelecidos pelo KEE/BUI AI (1997). Cabe ressaltar que há muita dificuldade na realização dessa atividade, tendo em vista as dificuldades normalmente impostas para a obtenção de informações confiáveis, podendo considerar que as contribuições dadas por esses elementos passam a ser um diferencial positivo no escopo do desenvolvimento desse trabalho. A avaliação referente à qualidade planejada deve ser feita logo após a conclusão da avaliação do grau de importância e da avaliação competitiva da empresa, cujos resultados estão mostrados na coluna "Planejamento: QP" da Figura 2.

Segundo AKAO (1996), a taxa de melhoria (TM) está relacionada com o planejamento estratégico, mostra a intenção da empresa e indica o coeficiente de melhoria no desempenho operacional. É obtido pela divisão da qualidade planejada (QP) cujo resultado é demonstrado na coluna "Planejamento: QP" da Figura 2 pelo resultado obtido pelo produto da empresa, que é representado na coluna "Avaliação Concorrência: Emp" da Figura 2. O resultado é o quociente mostrado na coluna "Planejamento: TM" da Figura 2. Por exemplo, pode-se citar quociente 4,00 para custos de não-conformidades (CNC).

Os argumentos de venda estão relacionados com os planos de marketing da empresa. Os resultados da avaliação do argumento de vendas (AV) são mostrados na coluna "Planejamento: AV" da Figura 2, sendo que o círculo duplo equivale à multiplicação por 1,5 pontos, o simples equivale à multiplicação por 1,2 pontos e a célula em branco equivale à multiplicação por 1 ponto.



O peso absoluto (PA) é obtido através da multiplicação do grau de importância (GI) pelo índice de melhoria (TM) e pelo argumento de vendas (AV). O peso absoluto representa a prioridade de atendimento de cada requisito e, como destaca PEIXOTO & CARPINETTI (1998), sob a ótica de três pontos: requisitos mais importantes; requisitos que estão em consonância com a estratégia da empresa e requisitos com necessidade de melhoria. O peso relativo (PR) é a simples conversão dos pesos absolutos em valores percentuais, permitindo assim uma avaliação relativa entre os requisitos.

Através do relacionamento das funções de trabalho *versus* requisitos normativos da série ISO/DIS 9001: 2000 (1999), a matriz da qualidade pode ser obtida.

#### 4.4 Discussão dos resultados

Os próximos tópicos destinam-se a apresentar os resultados obtidos com o desenvolvimento da matriz 2 do modelo de AKAO & HATTORI (1998), que representam as funções de trabalho *versus* elementos da ISSO 9000: 2000 (1999).

##### 4.4.1. Funções de trabalhos mais relevantes

Com base nos resultados obtidos na construção da Tabela da Qualidade Planejada, identificados na coluna "PR" da Figura 2, pode-se determinar quais são as funções de trabalho mais relevantes. Verifica-se que a importância relativa decrescente dada às funções de trabalho, indica o grau de relevância atribuído em relação ao processo de aquisição, inspeção e controle de matérias-primas. Nesse processo, todas as funções de trabalho foram avaliadas e por essa análise pode-se prever a sua influência na qualidade do produto final. As funções de trabalhos mais relevantes, destacadas na Tabela da Qualidade Exigida, são mostradas na Figura 3.

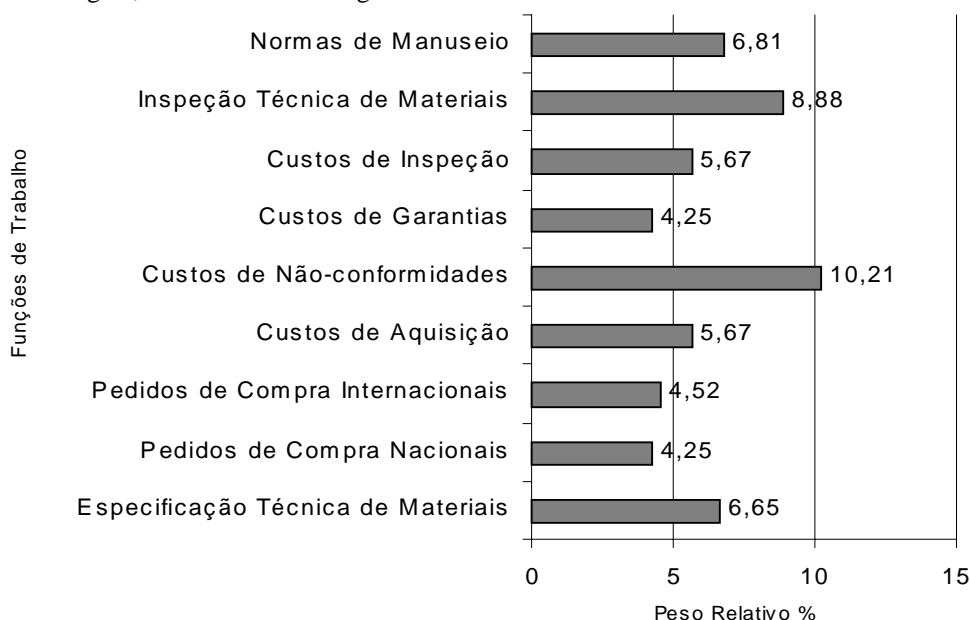


Figura 3 – Funções de trabalho relevantes.

Nessa análise, verificou-se que os CNC - Custos de Não-Conformidades apresenta-se como o item mais relevante, com peso relativo em torno de 10%, refletindo a preocupação com as perdas de processos, uma vez que os custos de produção de cada peça são da ordem de US\$ 6,00, além de ter um *lead-time* de fabricação elevado e não haver possibilidade de retrabalho. A segunda função de trabalho mais relevante encontrada foi a ITM - Inspeção Técnica de Materiais. Como descrito anteriormente, as inspeções técnicas de materiais representam ser parâmetros muito importantes no processo, sendo que constituem operações dispendiosas envolvendo altos custos em termos de equipamento e recursos humanos. Ocupando a terceira posição encontram-se as normas de manuseio (NM), que representam todas as instruções necessárias para o manuseio do material para que se evite contaminações durante o processo de fabricação, tendo como consequência à redução dos índices de não-conformidades. A quarta função de trabalho mais relevante, levantadas na análise, são as especificações técnicas de materiais (ETM), que oferecem todas as informações necessárias para o processo e também os relatórios de recebimento de materiais (RRM), onde são registradas todas as informações sobre as inspeções realizadas nas matérias-primas. Outras funções relevantes verificadas foram os custos de aquisição e os custos de inspeção com índices de pouco mais de 5%.

##### 4.4.2. Elementos da ISO mais relevantes

Pela construção da matriz: funções de trabalho *versus* elementos da ISO/DIS 9001: 2000 pode-se cumprir uma das propostas desse trabalho, que foi a análise sobre os elementos da ISO/DIS 9001: 2000 (1999), visando identificar quais entre esses elementos são os mais representativos. Em outras palavras, foi estabelecer quais elementos da ISO/DIS

9001: 2000 que causam maior impacto nas funções de trabalho. Dessa análise, pode-se identificar os dez itens mais representativos, mostrados na Figura 4, sendo aqueles com o peso das características da qualidade mais elevados.

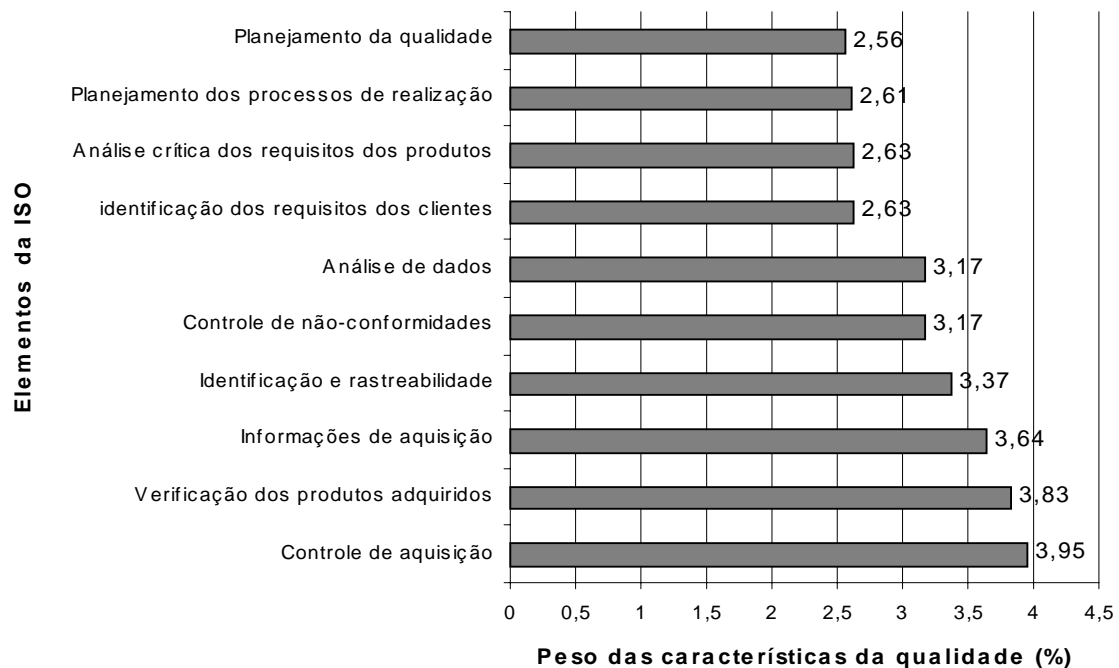


Figura 4 – Elementos da ISO relevantes.

A partir dessa análise, demonstra-se a metodologia para aquisição, inspeção e controle de matérias-primas aplicadas em cerâmicas eletrônicas, com a determinação das funções de trabalho relevantes e dos requisitos normativos da série ISO/DIS 9001: 2000 (1999), que mais impactam essas funções, obtidos pela aplicação do QFD. Portanto, de acordo com o modelo proposto por AKAO & HATTORI (1998), a matriz 2 foi elaborada e pode-se determinar quais são as operações mais importantes, que deverão estar bem documentadas para integrar o sistema da qualidade proposto. A implementação de sistemas da qualidade, documentados conforme os padrões ISO 9000 são condições mínimas para que possam manter condições de confiabilidade e a qualidade requerida pelos clientes.

As empresas estão sendo obrigadas a se enquadrar dentro desse contexto, para que possam entender a linguagem e as exigências de seus clientes. Diante de tais exigências as normas da série ISO 9000 vem ao encontro às necessidades do mercado, promovendo o desenvolvimento da padronização, com o foco de facilitar o comércio de produtos e serviços e o desenvolvimento da cooperação na esfera das atividades econômicas, científicas e tecnológicas, sendo assim, ela contribui para promover desenvolvimento, fabricação e suprimentos de produtos e serviços mais eficientes, seguros e transparentes. Considera-se ainda que, nesse cenário, a implementação e a posterior análise das influências que os requisitos normativos tem sobre as funções de trabalho são elementos chave para a consolidação de um sistema mais eficaz de gestão da qualidade, tendo como base a garantia da qualidade através dos requisitos normativos.

## 5. Conclusões

Em função do desdobramento e aplicação do trabalho, algumas conclusões puderam ser obtidas, sendo que as principais passam a ser discutidas a seguir.

Em relação à metodologia proposta, pode ser considerado que essa metodologia é passível de ser aplicada a qualquer tipo de empresa, quer sejam da área industrial ou relativa à área de serviços, pois nota-se essa metodologia é generalista o suficiente para tal aplicação. Com as devidas adaptações, a metodologia pode ser aplicada a quaisquer atividades da empresa escolhida, para avaliação de outras funções de trabalho em relação ao sistema de gestão da qualidade adotado. Nesse trabalho o sistema da qualidade escolhido foi o da série ISO/DIS 9001: 2000, mas poderia ser outro sistema como, por exemplo, QS 9000 (setor automotivo americano), TL 9000 (setor de telecomunicações), ou outra norma específica de outro setor industrial. Sendo assim, pode ser considerada uma metodologia que permite avaliações de desempenho das funções de trabalho.

Devido às avaliações de desempenho permitidas pela metodologia, pode-se gerar ações que contribuem para a melhoria contínua das organizações, exercidos, por exemplo, pelas funções de trabalho, através de estabelecimento de resultados quantificáveis em cada avaliação. Esses índices podem ser individualizados em relação a cada modelo adotado. No desenvolvimento desse trabalho, as avaliações puderam ser feitas sobre a relevância dos elementos da ISO/DIS 9001: 2000 e ainda em relação às funções de trabalho.

Devido às exigências para o desenvolvimento das tabelas e, conseqüentemente, da construção da matriz, é possível o estabelecimento de indicadores de desempenho para o sistema adotado. Isso exige que o responsável pela implantação da metodologia tenha profundos conhecimentos dos requisitos estabelecidos nas normas da série ISO 9000 e do QFD.

Observa-se, assim, que a metodologia proposta apresenta dificuldade no uso, devido a essa exigência de qualificação profissional relativamente alta.

Em relação à aplicação da metodologia, sob a ótica da aplicação prática, pode-se concluir que a metodologia possibilita o estabelecimento de um cronograma de implantação com fases bem definidas, permitindo assim realizar as avaliações de desempenho e, conseqüentemente, possibilita a realização de diagnósticos. Sendo assim, a partir da realização de cada diagnóstico, permite identificar ações a serem desenvolvidas no período seguinte e posteriormente efetuar as ações corretivas cabíveis.

Os resultados quantificáveis obtidos permitem à alta administração da empresa efetuar avaliação do andamento do processo de implantação e de suas potencialidades. Entretanto, é imprescindível a participação ou envolvimento dos funcionários no processo de implantação, visando facilitar a manutenção do sistema implementado. Assim, como preconiza os requisitos normativos da série ISO/DIS 9001: 2000 (1999), o comprometimento da Alta Administração na equipe de trabalho mostrou-se ser fator decisivo para a obtenção de resultados positivos.

Para que a aplicação da metodologia obtenha êxito em sua implantação, deve-se atender a alguns requisitos indispensáveis: primeiramente deve-se verificar o nível de adaptabilidade metodológica à empresa onde será feita a implementação e, posteriormente, buscar o comprometimento que a alta administração da empresa deve ter para com o processo de implantação, a fim de que possa viabilizar a tomada de decisões.

Durante o processo de implementação do projeto piloto, verificou-se que muitos dos conceitos adquiridos tornaram-se verdadeiramente aplicáveis, como, por exemplo, a necessidade da definição de programas de implementação, verificados através das reuniões técnicas. Dentro desse aspecto, o cumprimento de cronogramas de curto prazo mostram-se mais eficazes para empresas de pequeno porte, como o da empresa estudada. Em relação ao processo decisório, no caso da empresa estudada, a partir do envolvimento da alta administração, esse tende a ser mais rápido, pois a decisão quase sempre tomada pelo dono da empresa. Nesse sentido, o envolvimento da alta administração foi realmente fundamental para obtenção do sucesso na implementação do processo.

O conhecimento dos sistemas de gestão da qualidade e das ferramentas da qualidade e de planejamento da qualidade é uma necessidade fundamental ao responsável pela implementação, tendo em vista que não pode haver improvisações. O conhecimento de normas e técnicas dos sistemas de gestão da qualidade, bem como a atualização contínua desse conhecimento, exigem que o responsável pela implementação exerça a atividade de desenvolvimento do projeto de maneira exclusiva, face à dedicação que deve ser imposta ao andamento do projeto.

Pode-se quantificar a evolução do processo de implementação através do estabelecimento dos índices obtidos nos sucessivos diagnósticos realizados e avaliados posteriormente nas reuniões de trabalho. Em linhas gerais, assim, as recomendações dizem respeito à melhor consolidação da metodologia proposta, cujos resultados preliminares das implementações efetuadas mostraram ser úteis, viáveis e práticos.

## 6. Referências Bibliográficas

- ABREU, F. S. Desdobramento da Função Qualidade – Estruturando a satisfação do cliente. **RAE – Revista de Administração de Empresas**, v. 32, n.2, p. 47-55, 1997.
- AKAO, Y. **Introdução ao desdobramento da qualidade**. Belo Horizonte: UFMG, Escola de Engenharia, Fundação Cristiano Ottoni, 1996. 187 p.
- AKAO, Y. et al. **Quality function deployment – Integrating customer requirements into product design**. Portland: Productivity Press, 1990. 369 p.
- AKAO, Y.; HATTORI, Y. Quality system based on ISO 9000 combined with QFD. In: Proceedings of the World Innovation & Strategy Conference 1998 Incorporating 4<sup>th</sup> International Symposium on Quality Function Deployment, 4, Sidney, 1998. **Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium on Quality Function Deployment**. Sidney: 1998.
- CAVENAGHI, C. A. Produção de varistores de alta e baixa tensão. In: LEITE, E. R. (org). MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia: RHAE, 1, São Carlos, 1999. **PVABT – Produção de varistores de alta e baixa tensão**. São Carlos: LIEC, 1999, 50 p.
- CAMPOS, V. F. **TQC: controle da qualidade total (no estilo japonês)**. Belo Horizonte: FCO, 1992.
- CHENG, L. C. et al. **QFD – Planejamento da Qualidade**. Belo Horizonte: UFMG, Escola de Engenharia, Fundação Cristiano Ottoni, 1995. 261 p.
- CLARKE, D. R. Varistor ceramics. **Journal American Ceramics Society**, v. 82, n. 3, p. 485-502, 1999.
- DE CICCIO, F. **Comparações ISO 9001 – Versão 2000 x 1994 (1ª parte)**. Rumo às ISO 9000: 2000 [on line], 2000, atualizada em 31/01/2000. Disponível em: <[http://www.qsp.com.br/artigo\\_mês.shtml](http://www.qsp.com.br/artigo_mês.shtml)> [Consulta: 03/04/2000].
- DRUMOND, F. B. Ouvindo o cliente para o planejamento do produto. In: CHENG, L. C. et al. **QFD – Planejamento da qualidade**. Belo Horizonte: UFMG, Escola de Engenharia, Fundação Cristiano Ottoni, 1995, cap. 3, p. 55-88.
- FEIGENBAUM, A. V. **Total quality control: Engineering and management**. New York: McGraw-Hill, 1961.
- FIATES, G. G. S. **A Utilização do QFD como suporte à implementação do TQC em empresas do setor de serviços**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1995. (Dissertação, Mestrado em Engenharia de Produção).
- GRIFO ENTERPRIZES. **O sistema ISO 9000 na prática**. São Paulo: Pioneira, 1996, 118 p.
- GUPTA, T. K.; CARLSON, W. G. A grain-boundary defects model for instability/stability of a zinc varistor. **Journal of Material Science**, v. 20, p. 3487-3500, 1985.
- GUPTA, T. K. Applications of zinc oxide varistors. **Journal American Ceramics Society**, v. 73, n. 7, p. 1817-1840, 1990.
- HUBBELL (USA). **OHIO-BRASS EU1055-HR: Zno Varistors – A Review**. Ohio, USA, 1988, 16 p.

- INADA, M. Crystal phase of nonohmic zinc oxide ceramics. **Japanese Journal of Applied Physics**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 1978a.
- INADA, M. Microstructure of Nonohmic zinc oxide ceramics. **Japanese Journal of Applied Physics**, v. 17, n. 4, p. 673-678, 1978b.
- ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Draft International Standard ISO/DIS 9001, de 25 Nov. 1999. **ISO/DIS 9001:2000**, Geneve, 25 Nov 1999, p.22.
- KEE/BUI AI. Anexo 01. **Contrato de Transferência de Tecnologia**. Itapira, Toulouse, 08 abr. 1997. 4p.
- KETOLA, J.; ROBERTS, K. **ISO 9001: 2000 – Part 1**. Quality Digest [on line]. Disponível em: <<http://www.qualitydigest.com/currentmag/html/iso2k.html>> [Consulta: 31/03/2000].
- LEITE, E. R. Produção de varistores de alta e baixa tensão. In: LEITE, E. R. (org). MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia: RHAE, 1, São Carlos, 1999. **PVABT – Produção de varistores de alta e baixa tensão**. São Carlos: LIEC, 1999, 50 p.
- LEITE, E. R.; LONGO, E.; VARELA, J. A. Sinterização e microestrutura de varistores de ZnO. **Cerâmica**, v. 34, n. 216, p. 4-8, 1988.
- LEVINSON, L. M. Advances in varistors technology. In: **Ceramic Transactions**, Westerville, 1989. Ceramic Transactions. Westerville, OH, USA: American Ceramic Society, 1989, v. 3.
- LEVINSON, L. M.; PHILIPP, H. R. Zinc oxide varistors – A review. **Ceramic Bulletin**, v. 65, n. 4, p. 639-646, 1986.
- MATSUOKA, M. Nonohmic properties of zinc oxide ceramics. **Japanese Journal of Applied Physics**, v. 10, n. 6, p. 736-746, June, 1971.
- MATSUOKA, M.; MASUYAMA, T.; IIDA, I. Nonlinear electrical properties of zinc oxide ceramics. **Japanese Journal Applied Physics**, s. 39, p. 94-101, 1970.
- MIGUEL, P. A. C. Integração do QFD com as normas da série ISO 9000. In: Seminário em Qualidade, 2, Santa Bárbara d'Oeste, 1998. **II Seminário em Qualidade: QFD – Conceito e Aplicação**. Santa Bárbara d'Oeste: NGQM, Centro de Tecnologia, UNIMEP (Universidade Metodista de Piracicaba), 1998, p. 04-29.
- MIZUNO, S.; AKAO, Y. **The customer-driven approach to Quality Planning and Development**. Tokyo: APO, 1994, 365 p.
- MOULSON, A. J.; HERBERT, J. M. **Electroceramics – Materials – Properties – Applications**. London: Chapman and Hall, 1995, 195 p.
- PEIXOTO, M. O. da C., CARPINETTI, L. C. R. A Metodologia QFD. In: Seminário em Qualidade, 2, Santa Bárbara d'Oeste, 1998. **Anais do II Seminário em Qualidade: QFD – Conceito e Aplicação**. Santa Bárbara d'Oeste: NGQM, Centro de Tecnologia, UNIMEP (Universidade Metodista de Piracicaba), 1998, p. 04-29.
- SIVALOGANATHAN, D. G.; EVBUOWAN, N. F. O. Quality function deployment – the technique: state of the art and future directions. **Concurrent Engineering: Research and Applications**, v. 5, n. 6, p. 39-50, June, 1997.

#### **RELATIONSHIP AMONG THE REQUERIMENTS OF ISO 9001: 2000 AND JOB FUNCTIONS THROUGH QFD**

**José Celso Sobreiro Dias, MSc**

Fundação de Ensino Octávio Bastos (FEOB)

Rua Cristiano Osório, 43, Centro, 13.870-040 São João da Boa Vista - SP

e-mail: jcsdias@dglnet.com.br

**Paulo Augusto Cauchick Miguel, PhD**

Quality Management & Metrology Research Group (NGQM), Faculty of Industrial and Mechanical Engineering

Methodist University of Piracicaba (UNIMEP), Rod. SP 306, km 1, 13450-000 Santa Bárbara d'Oeste, SP, Brazil.

E-mail: pamiguel@unimep.br

**Abstract.** *Varistors are electro-ceramics with non-linear behaviour in the characteristic tension-current. It is used as the main material applied in equipment for atmospheric discharges (lightning rods). The raw material control is of great importance and high cost since the losses due to non-conformity can reach significant figures. In this sense, an effective methodology is studied to assure quality of supply. This paper presents a study concerning the purchasing process, inspection and raw material control by using QFD (Quality Function Deployment). The main objective is to analyse the most relevant operational functions which cause larger impact on the managerial requirements based on the ISO 9001 standard (year 2000 edition).*

**Keywords.** *ISO 9000, Quality Function Deployment (QFD), quality assurance, operational function deployment*

## Knowledge Decomposition and Expert Systems for Supporting Concurrent Engineering Projects

### Rodrigo Hermes de Araújo

Multibrás S.A. Eletrodomésticos, Rua Dona Francisca, 7200, Distrito Industrial, Joinville, SC, Brasil.

E-mail: rodrigo\_h\_araujo@multibras.com.br

### Osmar Possamai

Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Trindade, Florianópolis, SC, Brasil.

E-mail: possamai@eps.ufsc.br

### Luiz Dalla Valentina

Faculdade de Engenharia - Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Bom Retiro, Joinville, SC, Brasil.

E-mail: dem2ldv@joinville.udesc.br.

*Abstract: The conceptual product design is highly dependent on people's experience, creativity, tacit knowledge and their availability. The proposed methodology guides the product design knowledge decomposition and acquisition, including information about consumers, product and manufacturing process required at the conceptual design stage. The methodology also proposes a framework for building up an expert system to support concurrent engineering teams early in the design by simulating the design process. The expert system, using object oriented programming structure, has the objective of detailing the product components from specific product requirements. A case study was developed in an appliance company to validate the proposed methodology. Several cases were ran comparing the simulated results with real projects. Also a questionnaire was applied to assess the users satisfaction with the expert system and with the methodology. Benefits were found in the domains of product design, knowledge decomposition and acquisition and team motivation and learning. The main ones are the speed in generating and evaluating product concept alternatives, a framework for knowledge construction and the transformation of tacit (company technology) into explicit knowledge (that can be manageable).*

*Keywords: Expert system, product design, knowledge, product concept, concurrent engineering.*

## 1. INTRODUCTION

Launching new products in the market place has become a fundamental factor for improving a company's competitiveness. But to achieve success, these products must be launched in the right time, that means, as fast as possible because competition has the same goals. So there is a huge pressure on product design teams to develop better products in the shortest time. Management and engineering systems have been developed for improving the design process but their application depends on people's experience, creativity, specific knowledge and availability (Yassine et alii, 1999 and Chen & Occeña, 2000). Conceptual product design is a crucial area in the design process and, besides this, it is highly dependent on people and on their tacit knowledge.

As more and more companies are developing products in families and platforms (Keane, 1998; Pulkkinen, 1999; Tichem, 1999), there is an opportunity for using artificial intelligence techniques to speed up the knowledge transfer process between concurrent engineering team members in the design process. Nowadays knowledge is becoming a competitive advantage (Frank, 1999) and there is a need to make tacit knowledge an explicit one (Handenhoven, 1999).

In available literature, the only knowledge acquisition techniques presented are generic ones such as interviews, protocol analysis and book reading (Durkin, 1994 and Sriram, 1997). These generic methods do not work well to structure knowledge acquisition because they focus on contacting experts and their efficiency greatly depends on the experience and ability of the knowledge engineer rather than on experts' experiences. Some authors proposed techniques for helping this process but they do not direct address the problem of knowledge acquisition (Liu & Brown, 1994 and Myint & Tabucanon, 1998).

In this paper we present a formal methodology which handles knowledge decomposition, knowledge acquisition and expert system construction for supporting concurrent engineering teams (Araujo, 2000). The methodology focus on extracting and acquiring all knowledge about market, product and process required in the conceptual design stage and on structuring an expert system, that can simulate the product design process in this stage. It is also discussed that an advantage of this methodology is to make tacit knowledge an explicit one and to help improving the overall knowledge of team members, thus enhancing their satisfaction.

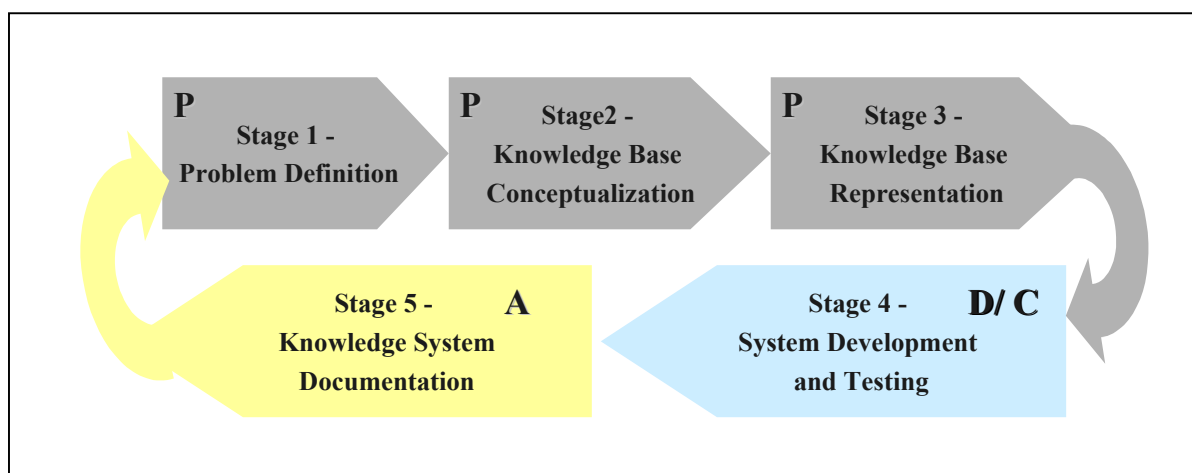
## 2. DESIGN CLASSIFICATION

Several authors have classified design tasks (Brown & Chandrasekaran,1989, Pahl & Beitz,1988, Goel,1997) according to different points of views. These classifications cover only 3 categories and they have in common that category 3 designs must use known knowledge. That does not mean that category 3 designs are easy, only that no innovations are required. Indeed, evolution design, parametric design, and modular design are the most common types of designs applied by companies all around the world because the required knowledge is available and easier to manage. The methodology to be discussed is specifically applied to design processes that fall into category 3 design.

## 3. THE METHODOLOGY

The aim of this methodology is to give a tool to concurrent engineering teams for helping the task of developing and analyzing product concepts in the design concept stage as well as providing the team an important tool for structuring knowledge acquisition and knowledge representation in product design. The methodology is divided in 5 stages as seen in Fig. (1): (1) Problem definition; (2) Knowledge base conceptualization; (3) Knowledge base representation; (4) System development and testing; and (5) Knowledge and system documentation. As it will be shown, the first 3 stages are related to knowledge acquisition (involves product as well as artificial intelligence knowledge) and represents the planning stage in a PDCA (Plan-Do-Check-Act) cycle. The 4<sup>th</sup> is related to system construction (involves artificial intelligence as well as programming knowledge) and represents the execution and checking stage. The last one is a standardization stage for ensuring that all knowledge will be kept within the team and available to be used in future improvements.

Figure 1 – Methodology Stages and the PDCA Process



### 3.1. Problem Definition

At the first stage the product and its decomposition level is defined and resources and time schedule are assigned. It is compulsory to have experts on product design, marketing, manufacturing process and artificial intelligence. These experts will need to work together as a team in brainstorming sessions and technical meetings.

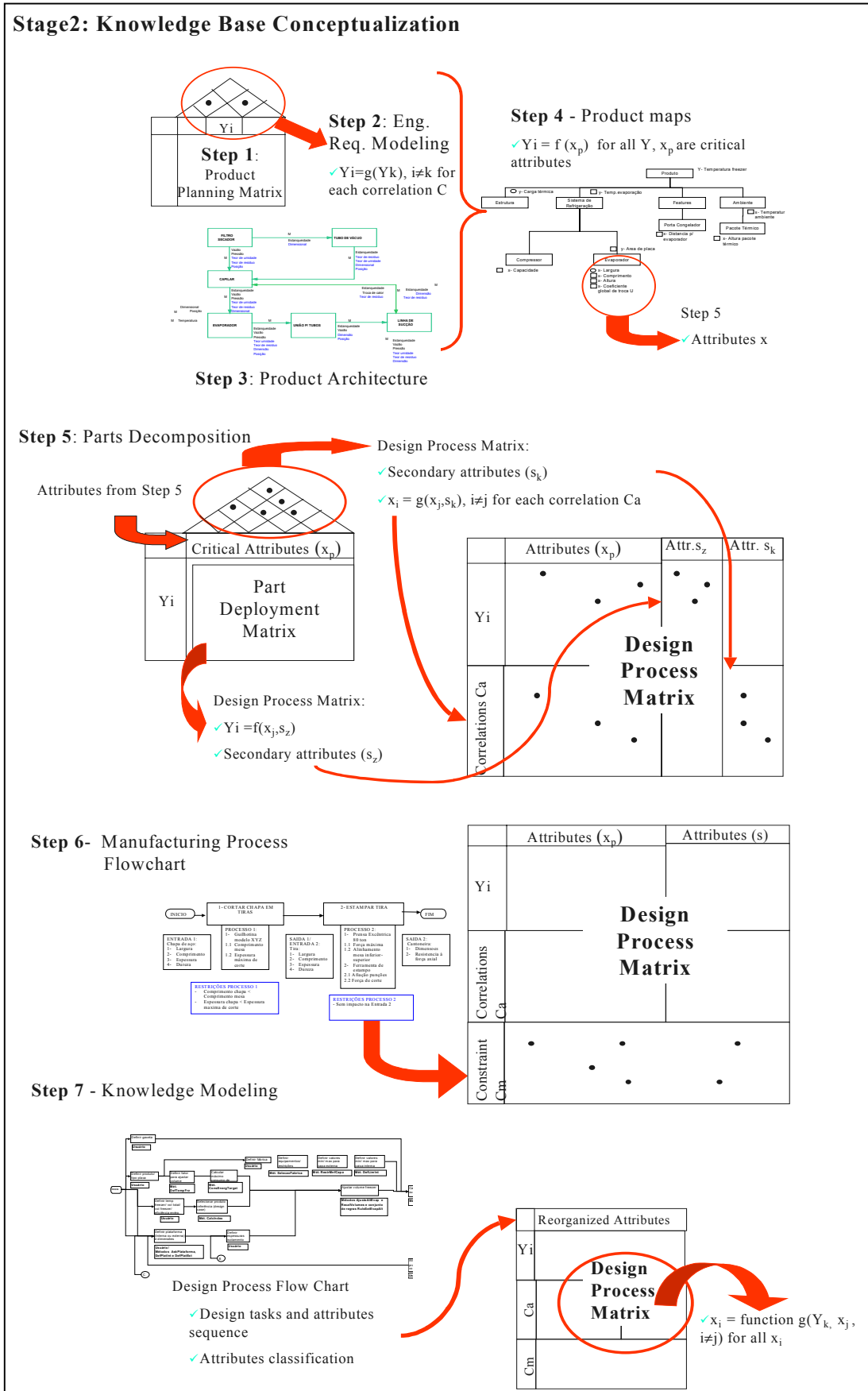
### 3.2. Knowledge Base Conceptualization

The second stage has the important and critical goal of acquiring product, design process and manufacturing process knowledge. It provides the team a structured path for achieving the goal. For easing of explanation, it is divided in steps and shown in Fig. (2).

In the Product Planning Matrix (Step 1- Engineering requirements) engineering requirements are identified ( $Y_1, \dots, Y_k, \dots, Y_n$ , where  $1 \leq k \leq n$ ) for product definition and correlated against each other; this data must be represented in a matrix (ASI, 1989 and Akao, 1990). For each engineering requirement (EngR) the set of values in which it is valid must be identified. All engineering requirements ( $Y_k$ ) will be input data for product design.

The next step is the engineering requirements modeling (Step 2), where algorithmic and heuristics rules must be developed for each correlation of EngR. The aim is to get  $Y_i = f(Y_p, Y_k)$ , where  $p, k \neq i$ . In parallel (Step 3- Product Architecture), the product architecture must be deployed from the product concept and made explicit in a top-down decomposition showing how each part is related to other. All parts interfaces must be shown.

Figure 2 – Knowledge Base Conceptualization Steps



The Step 4 – Product Map requires that previous steps be completed and its goal is to get all critical part attributes ( $x_i$ ,  $i$  integer). Critical part attributes are part specification although engineering requirements are product specification. Critical part attributes must be found by deploying a specific engineering requirement from product level to part level, using the product architecture and expert knowledge. One must identify if any specific usability or environmental characteristic can also affect the specific EngR. For each part attribute, the set of values or a standard value valid for the product must be identified. In next step (Step 5 – Parts Decomposition) the goal is to correlate all attributes found to each engineering requirement by using a matrix (Part Deployment Matrix). From this matrix, it is identified where there is a relation between two attributes. Using the Incidence Matrix concept (Kusiak & Larson, 1995), each attribute correlation is now considered a design constraint. The attribute correlation must be added to the engineering requirements axis in the Part Deployment Matrix and then the Design Process Matrix is created. For each engineering requirement and each attribute correlation, algorithmic and heuristics rules must be developed showing the relation  $Y_i = \text{function } f(x_j)$  or  $x_i = \text{function } g(x_j, i \neq j)$ . To make these rules explicit, new attributes may be required – these attributes will be called secondary attributes. All secondary attributes must be placed in the critical attributes axis in the Design Process Matrix.

The new matrix clearly identifies which attributes are required for solving the engineering requirements and also identifies how these attributes are related to each other due to the product concept. But it is not a complete matrix because it does not have any process information.

The manufacturing process flowchart (Step 6) is required for identifying where the process puts constraints on product design, that means, how part attributes have their set of values limited. The manufacturing process flowchart must have the complete sequence of activities for manufacturing the final product. For each activity one must identify the required attribute inputs and the required resource (equipment, tooling or technology). If any required resource is restricting a part attribute set of values, it must be made explicit by rules. This new set of values (rule) must be understood as a constraint in the design process and therefore it must be added in the engineering requirements and attribute correlation axis of the Design Process Matrix.

The Design Process Matrix now contains knowledge about product design and process, but it does not show how the design process itself starts. So, the remaining step (Step 7 – Knowledge modeling) is to make explicit the design process. The design process should be deployed in sequence of design tasks and represented in a flowchart. To each task the required part attributes must be associated as inputs and outputs, and if it is the case, the required engineering requirements as inputs. These part attributes must be classified according to the origin of its generation: (i) user must give it; (ii) data to be stored in database and retrieved when required; (iii) result of inference engine from initial data. The part attributes must be reorganized in the Design Process Matrix in the same order as required in the design process. As seen in Step 5, expressions have already been found to explicit part attributes relations. Each part attribute that is a result of inference engine must be solved by using engineering requirements, and other part attributes previously solved or known by developing expressions like  $x_i = \text{function } g(Y_k, x_j, i \neq j)$  and all  $x_j$  must be known.

The completion of Stage 2 consolidates the knowledge acquisition in a systematic way and makes it explicit for the whole company. The next stage is to represent the knowledge acquired.

### 3.3. Knowledge Base Representation

Several representation techniques are available in the literature, but there is not a methodology for easing its application in product design. Stage 3 (Knowledge base representation) proposes a method for encoding the knowledge acquired in the previous stage using object oriented programming by guiding the development of object-attribute structures, rules, frames and the design process logic.

For enabling an easy encoding, the whole product will be an object class and each product part identified in the previous stage will be an object subclass inside the class product. The product attributes and part attributes will become the object attributes of each subclass. If an object subclass can be described as a set of parts (example, a family of compressors of different pumping capacities), then each part must be represented as an instance of this subclass.

All information about manufacturing process must be represented in a specific class. Each kind of equipment must be represented in a specific subclass, such as roll formers subclass, cutters subclass, etc. A specific equipment will be an instance of the respective subclass. Each part attributes restriction is represented by the slots of these subclasses which must contain the allowed set of limits.

Each expression  $x_i = \text{function } g(Y_k, x_j, i \neq j)$  must be represented by methods inside classes or subclasses or by production rules if it is not an algorithmic expression and they must be associated to the design task in which this information is generated or required.

### 3.4. System Development and Testing

This stage requires a team member with programming skills. All objects, their slots, production rules and methods within frames must be coded. System interfaces must be developed for enabling the user to provide information



whenever required (as identified in stage 2) and also to present the results. Specific functions for sending messages to objects must be developed for ensuring that the design process logic will be followed. The system must be checked for consistency with experts.

### **3.5. Knowledge and System Documentation**

The purpose of this stage is to ensure that all work done is registered. The knowledge documentation enables the experts tacit knowledge to become explicit for the whole company and it contains all matrixes, the product architecture, all product maps and the design process flowchart. The system documentation is required for helping inexperienced users to use the system.

## **4. A CASE STUDY AND RESULTS**

An appliance company with worldwide presence was selected for applying and validating the methodology. This company was selected because it uses concurrent engineering for developing products and because of the high number of Class 3 projects it develops. The methodology was applied by a concurrent engineering team and the system developed, called SEAPP, was validated with real data and by users.

### **4.1. The application**

The methodology was followed and all steps were executed in Stage 2. The main outcomes were that 9 product maps were done and 54 critical part attributes were identified. The Part Deployment Matrix was completed and critical parts that affect several requirements were selected. For completing the Design Process Matrix, 89 secondary attributes were identified. So, this means that for supporting the existence of 54 critical attributes it is required 89 secondary attributes. The manufacturing process analysis showed that 21 constraints were found related to 4 equipments (roll formers, door formers, wrapper assembly line and product assembly line). The design process flow was agreed and all tasks were identified.

The key factors that enabled a successful knowledge acquisition were the expert's dedication and their knowledge about the product, the usage of known tools and the systematic approach. The team identified that the fact that knowledge was not homogeneous within the team, and the excessive number of attributes dealt with, were hurdles in applying the methodology; but at the same time they recognized that at the end the team was abler and much more knowledgeable about the product. Other benefits are that tacit knowledge was made explicit, critical attributes were identified and manufacturing constraints in product design became clear to the design team.

For representing knowledge, the object hierarchical structure was finished with 68 object classes and subclasses and 121 instances. A class to store historical data about former products was created for taking advantage of case-based reasoning techniques. The design tasks in which knowledge must be generated as a result of inference engine from initial data were represented by 26 production rules and 41 methods (inside frames).

The object communication strategy was based in the design process flow. It was a clear path used in evaluating the system. For user visualization and control, 5 graphical windows were created: 3 for setting initial data (project objectives) and 2 for presenting results. Besides this, a written report is also available to the user. The time spent to encode the knowledge, create the interfaces and test each module isolated was 35% of the total time used for finishing the expert system. The others 65% were spent to test, correct typing mistakes and adjust logic. These results show that encoding the whole knowledge, as a coherent system is the second critical bottleneck after knowledge acquisition.

### **4.2. The validation of SEAPP**

The SEAPP system was tested and validated by 2 criteria:

- Efficiency in detailing a product concept;
- Importance in supporting concurrent engineering teams;

The efficiency in detailing a product concept was measured by using data of past projects and comparing the parts specifications given by the system with real parts specifications. The system was ran for 4 projects and all data was collected and compared. The difference between the real data and the simulated one was calculated for each part attribute in percentage (attribute deviation-DA). For the same project, the average of all DA in module gave the project average absolute deviation – DMP, considering that all part attributes have the same importance. With similar thought, we also calculated the attribute average absolute deviation (DMA) within the 4 projects. The partial results are seen in Tab. (1). The users considered the calculated DMP low, especially because SEAPP is aimed to be used in the product concept stage in the product design process. The calculated DMA were considered negligible for almost all attributes,

except one – heat exchange area. Further analysis showed that the heat exchange area was not matching well because real products were deviating from the recommended standards.

The importance in supporting concurrent engineering teams was measured by applying a questionnaire to users after their trials with SEAPP system. They pointed out that the system can reduce product design concept time, optimize resources usage, turn tacit in explicit knowledge and be used as a training tool. They evaluated the efficiency as good (as measured above) and did not think that the system was difficult for using, but they did think that the users must be slightly knowledgeable about the product.

Table 1: System efficiency

Project	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Attribute average absolute dev. (DMA)
Variables	DA %	DA%	DA %	DA %	
External height	-0,8%	-1,4%	0,7%	-0,4%	0,8%
Internal height	-1,3%	-2,0%	0,7%	0,9%	1,2%
Evaporator height	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Evaporator width	0,4%	0,4%	-5,9%	0,4%	1,8%
Evaporator length	-1,6%	-1,6%	1,1%	0,8%	1,3%
Suction line length	-3,4%	5,3%	3,8%	5,7%	4,6%
Mettalic sides weight	5,1%	5,1%			5,1%
Heat exchange area	10,5%	-4,7%	11,6%	-12,5%	9,8%
Heat loop length				3,4%	3,4%
Compressor model	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Polyurethane weight	-2,0%	-4,3%	4,9%	-8,3%	4,9%
Product average absolute dev. (DMP)	2,5%	2,5%	3,2%	3,2%	

## 5. CONCLUSIONS

The results seen in the case study showed that the methodology has several important points and it also has broadened the area of knowledge acquisition techniques. The benefits can be found in 3 domains: (i) product design process; (ii) knowledge acquisition and decomposition and (iii) team motivation and learning.

In the knowledge acquisition and decomposition domain an important contribution was the development of a procedure to acquire knowledge about product design in a systematic approach and its decomposition into an easy structure for knowledge representation. In the product design process domain the main benefits are: the speed in generating and evaluating product concept alternatives, increased capability in decision making by enlarging the number of simulated alternatives, the setting up of an information system about technical requirements unfeasibility, effectiveness in part specification, and understanding of manufacturing constraints in design. In the team motivation and learning domain the advantages lie in the transformation of tacit into explicit knowledge and in increased team members satisfaction due to incremental knowledge gains about product design, as well as in their ability to understand and handle the concept design factors.

## 6. ACKNOWLEDGEMENTS

The support of Whirlpool Corporation, mainly the Product Development Center in Joinville- Brazil, is gratefully appreciated.

## 7. REFERENCES AND BIBLIOGRAPHY

- AKAO, Y., 1990, *Quality Function Deployment - Integrating Customer Requirements into Product Design*. Cambridge MA: Productivity Press.
- ARAÚJO, R.H., 2000, *Decomposição de Conhecimento para Projeto de Produto- Abordagem para Estruturar Sistema Especialista como Sistema Auxiliar de Informações em Projetos de Engenharia Simultânea*. Master Degree Thesis at Production Engineering Dept – Federal University of Santa Catarina (Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC). Brazil.
- ASI - American Supplier Institute., 1989, *Quality Function Deployment - Implementation Manual for Three Day QFD Workshop*. Version 3.4. Michigan - USA.
- BROWN, D.C. & CHANDRASEKARAN, B., 1989, **Design Problem Solving: Knowledge Structures and Control Strategies**. Pitman. London.
- CHEN, C. & OCCEÑA, L.G., 2000, *Knowledge Decomposition for a Product Design Blackboard Expert System*. **Artificial Intelligence in Engineering**, 14, pp. 71–82.

- DURKIN, J., 1994, **Expert System - Design and Development**. Prentice Hall: New Jersey - USA.
- FRANK, D., 1999, *The Importance of Knowledge Management for BMW*. **International Conference on Engineering Design (ICED)**, Vol. 1 pp. 33-40. Munich, August.
- HANDENHOVEN, E.V. & TRASSAERT, P., 1999, *Design Knowledge and Design Skills*. **International Conference on Engineering Design (ICED)**, Vol. 1 pp. 153-158. Munich, August.
- GOEL, A K., 1997, *Design, Analogy and Creativity*. **IEEE Expert**, pp.62-70, May-June.
- KEANE, A J., 1998, **Case for Support for an Investigation into Flexible Engineering Design Methods Using Knowledge Based CAD Systems and Evolutionary Search Methods**. <http://www.soton.ac.uk/~ajk/indemand.txt>.
- KUSIAK, A. & LARSON, N., 1995, *Decomposition and Representation Methods in Mechanical Design*. **Journal of Mechanical Design - Transactions of the ASME**, Vol 117B, pp. 17-24, June.
- LIU, J. & BROWN, D.C., 1994, *Generating Design Decomposition Knowledge for Parametric Design Problems*. In J.S. Gero and F. Sudweeks (eds.), **Artificial Intelligence in Design 1994**, pp 661-678. Netherlands.
- MYINT, S. & TABUCANON, M.T., 1998, *The Framework for an Expert System to Generate Alternative Products in Concurrent Engineering Design*. **Computers in Industry**. Volume 37, Issue 2, pp. 125-134, September.
- PAHL, G. & BEITZ, W., 1988, **Engineering Design: A Systematic Approach**. Springer Verlag.
- PULKKINEN, A., LEHTONEN, T. & RIITAHUHTA, A., 1999, *Design for Configuration – Methodology for Product Family Development*. **International Conference on Engineering Design (ICED)**, Vol. 3 pp. 1495-1500. Munich, August.
- SRIRAM ,R. D. **Intelligent Systems for Engineering: a Knowledge-Based Approach**. Springer-Verlag London Limited. Great Britain. 1997
- TICHEM, M., ANDREASEN, M.M. & RIITAHUHTA, A., 1999, *Design of Product Families*. **International Conference on Engineering Design (ICED)**, Vol. 2 pp. 1039-1042. Munich, August.
- YASSINE, A A., CHELST, K.R. & FALKENBURG, D.R., 1999, *A Decision Analytic Framework for Evaluating Concurrent Engineering*. **IEEE Transactions on Engineering Management**, pp. 144-157, vol.46, n.2, May.

## 8. COPYRIGHT

The authors are responsible for the printed content included in this paper.

# FLEXIBLE MANUFACTURING OF STONEWARE FOR TRADITIONAL AND MICROWAVE OVENS IN THE PORTUGUESE CERAMIC INDUSTRY.

## António Teixeira de Almeida

Mechanical Eng. and Industrial Managt. Dept., ESTV, Campus Politécnico, 3504-510 Viseu, Portugal  
atalmeida@demgi.estv.ipv.pt

## José Luís Esteves

Mechanical Eng. and Industrial Managt. Dept., Engineering Faculty, Porto University, 4200-465 Porto, Portugal  
jlesteves@fe.up.pt

## João Monney Paiva

Mechanical Eng. and Industrial Managt. Dept., ESTV, Campus Politécnico, 3504-510 Viseu, Portugal  
jmonney@demgi.estv.ipv.pt

**Abstract.** *The manufacture of ceramic products has strong traditions built on the European culture, where Portugal maintains a great competitive capacity, with a prominence for the industrial stoneware for traditional and microwave ovens. The companies base their competitive strategy giving priority to the flexibility of the productive operations and for that it is important to identify its components and respective development potentialities. Starting from the strategy of the company and keeping in mind predictable changes in the surroundings, an evaluation model is established to determine the needs of productive flexibility. This model is tested in the competitors that occupy an important place among its pairs.*

**Keywords:** *Flexibility Components, Production, Competitiveness.*

## 1. Introduction

The ceramic industry has deep roots in the Portuguese culture. It assumes a sensible economical and social importance as it registers a strongly positive foreign trade balance as well as guarantees employment to a great number of people. Nonetheless, this sector of the manufacturing industry keep on evidencing serious structural problems, strengthening its competitiveness on low wages and ease access to raw material, that are abundant in our territory. The average values of productivity stay low and totally unadjusted to those registered in the economical European space.

A change of this situation requires a shift towards a different stadium. This traditional way of competing, centered in low price/quality is out of age. On the other hand, in a time that intensifies the competition at planetary level and that generates a climate of great turbulence and uncertainty, a new form of competing, based on time, begins to emerge as a more adjusted response. It is characterized by the flexibility and readiness to action and translated into a customized productive organization. The productive system must acquire new capacities, fundamentally turned to the production of an enlarged range of products and enabling a fast answer concerning the time of delivery, *i.e.*, to produce what the customers want when they want it.

The present article has the purpose of investigating the flexibility, in the specific case of an industry of traditional and microwave stoneware, aiming at improving its profitability, focusing that strategic variable on the productivity and competitiveness.

The work is structured in three parts: the first is a literature survey, from the standpoint of flexibility development; the second makes an introduction to the industry sector, including an evaluation of the attractiveness of that segment of products (utilitarian stoneware); finally, the third part, develops a 'Managerial Application for a Specific Situation- a manufacturing company of Utilitarian Stoneware for Traditional and Microwave Ovens'. Starting from the management strategy, the strategic priorities of the production are identified, the required flexibility is quantified, the model of flexibility adopted and some measures towards the flexibilization of the productive process are deduced.

## 2. Flexibility

A growing interest for the theme 'flexibility' has arose, both by scholars and managers, as an answer to the problem of the uncertainty and change, mainly due to the acceleration that the market has been imposing. Beyond the mere survival issue, it has been envisaged as an instrument to win competitive advantages in production.

The flexibility, defined as being the capacity to answer "in time and variety" (Roldão, 1995), is an open concept, allowing a wide interpretation of several disciplines of management sciences, resulting from the interaction of different areas of the company.

The management strategy is determined by the values of management, translated into beliefs and preferences of those that guarantee the leadership of the company (Mintzberg, 1990), and, consequently, is going to determine the choice of flexibility as a competitive priority of operations.

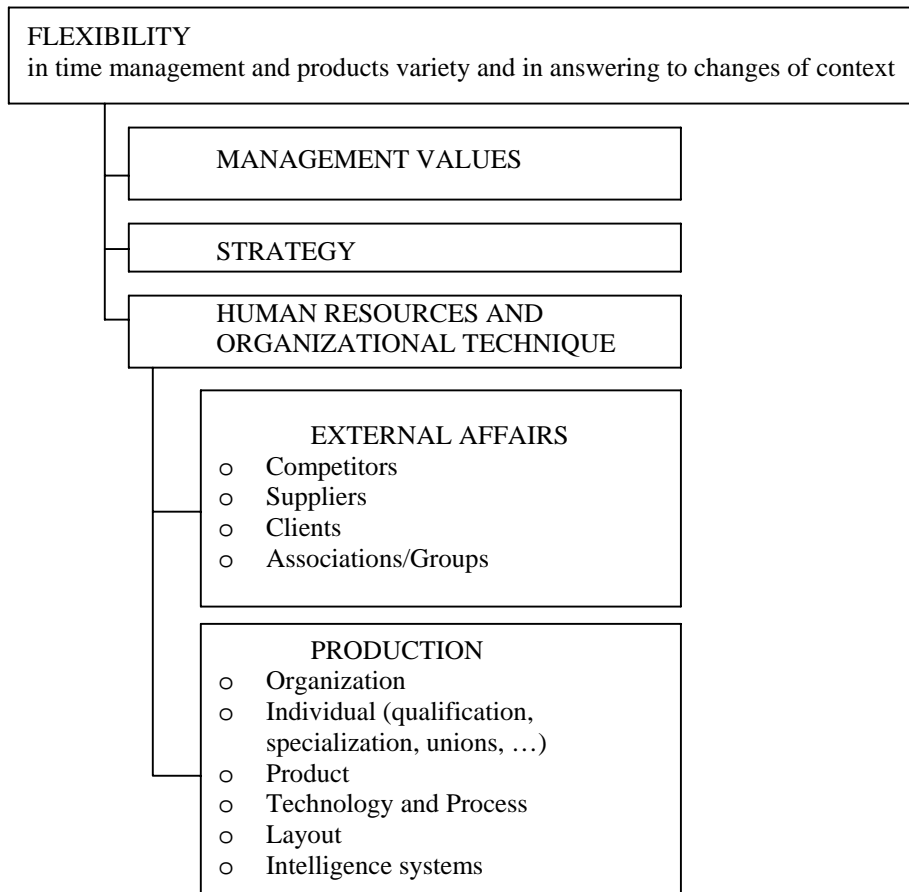


Figure 1- Flexibility scheme.

Miller (1994) identified eight competitive capacities in production, in a survey that involved 164 large North-American industrial companies. Flexibility includes flexible design, defined as being the ability to introduce fast changes in design and/or new products and volume flexibility, understood as the capacity to produce fast responses to variations of search in volume, either positives or negatives. For Skinner (1974), the companies that focus in the market are usually more flexible. In the organizational behavior and the administration of human resources scope stands out the statement that "it is difficult to find a more central theme in the excellence companies than the respect for the individual" (Peters, 1987). The studies developed in this line of thought conclude that the human factor is a fundamental element for the success of advanced technological processes.

On the other hand, it is recognized that "there is no flexibility, fast reaction and innovation without qualified, informed, formed, motivated human resources, committed with the enterprise objectives" (Kovacs, 1992). This investigator affirm, still, that there have been many western companies that introduced flexible technologies in manufacture processes, but they keep following a logic of mass production. Salary costs reduction is sought after, as well as productivity increase and control reinforcement centered both on the productive process and people. The result is, frequently, worse than the achieved by the substituted traditional technology. The change of these situations requests the introduction of concepts of organizational flexibility and human resources flexibility.

Maurice (1992) compared the situation of using flexible technologies in France and in Japan, and concluded that in the Japanese companies the factors of competitiveness are based on polyvalence, organizational flexibility, dialogue and in collaborators integration in the enterprise. As for Jones (1992), he concludes that the introduction of new technologies should be seen as a integral part of rationalization strategies. Those rationalization strategies imply an improvement of the levels of quality of the products, shorter times of production and high flexibility. The production for a segmented market can imply the increment of the professional polyvalence, the specialization of the functions (flexible specialization) and the technological flexibility.

The most important dimension of the flexibility are the individuals. One cannot face the flexibility as a mere technical phenomenon, but as a technical-organizational complex one. Flexible equipments should be associated with persons with the same level of ease adaptation as well as with creative management organizations. It is interesting to briefly reproduce the vision of Hoss (1992): "In all of the traditional forms capitalism considered human work as an eventual obstacle to production, a disturbing factor that would have to be either eliminated of the production process, or, if possible, reduced to residual tasks. Contrarily to this approach, the workers' capacities and know-how are nowadays recognized as productive forces that must be used, to the most possible extent, intensively". The flexibility of the production must result from a strategic option, where individuals and corporate management ability play a central role.

Involved are choice decisions concerning the type of connection to the customers, technological decisions, process, layout, mix of products, scheduling of production decisions, alternative guiding and, fundamentally, the resulting good harmony of the conjugated final solution.

In the relationship with customers, the options producing for order or producing for stock. The production for stock is acceptable if performed with the aim of:

- Creating flexibility in the delivery periods, particularly when the period of manufacture is superior to the period of delivery requested by the market;
- Manufacturing of economical lot sizes determined by setup costs of the productive systems, and of system flexibility;
- Creating flexibility of mix of products through the constitution of stock parts or modular groups that allow the fast assembly in order to assist to market particularities;
- Improving the reliability of the delivery periods, establishing stocks that will guarantee the satisfaction of orders, even in situations of equipments failure or workers strikes, thus scheduling flexibility.

Therefore, the decision of process choice involves a strong commitment between flexibility, technology, production volume and cost.

Many authors explore flexibility in the FMS (Flexible Manufacturing Systems) scope, defining it as "a productive unit with manufacture capacity to output a discreet range of products with a minimum of manual work intervention. It consists of automated production stations (machines tools or other manufacture, packing or treatment equipment) linked by systems of transport of materials that move parts from one station to another and that operate as an integrated system of totally programmable software control" (Mansfield, 1993). In spite of the great emphasis that is given to FMS, few industrial sectors introduced it- automobile, electrical equipment, machinery and aerospace- in Japan, USA and in Europe, with slower diffusion than expected, although Japan presents a larger rate than the other two region. The reason of the slow diffusion is centered, fundamentally, in the low rates of investment return placed below the minimum rates demanded by the owners of the capital, particularly in the West. Accomplished studies evidence the existent paradox in FMS when implying a great industrial concentration, thus opposing the installed notion that flexibility is tied up the smallest productive units.

Upton (1995) examined the flexibility under the point of view of fast change of products, having concluded that, more important than the technological computational dimension, that doesn't assume a decisive role in this type of flexibility, is the participation of the individuals in the process and the management capacity of the board of directors of companies. For Oke (2000), "manufacturing flexibility (...) has been heralded as a major competitive weapon for manufacturing organizations operating in turbulent markets" and for Gerwin (1993) the flexibility is more than just an ability to face uncertainty, assuming a pro-active function creating uncertainty that the competitors cannot fight. He states, still, that the advanced technologies are just one of the roads for the flexibility. Bish (2000) claims that "flexibility increases the expected sales and reduces outbound transportation costs" whereas for Olhager (2000) "the results suggest that the value of flexibility (i) increases with number of products, (ii) decreases with increasing standard deviation of product demand, (iii) decreases the more positive the correlated demand is, and (iv) reduces for marginal capacity with increasing levels of capacity".

Finally, the problem of flexibility, as an important managerial competitive priority, must be formulated in a way that allows giving an answer to the central question posed by Jordan (1995): How much flexibility of the process is necessary, to work with the uncertainty of the search, in a practical case?

The existing trend to either ignoring flexibility, or adopt total flexibility, usually turn out as being quite an expensive solution.

### 3. Introduction to the Stoneware Sector

The ceramic industry assumes in Portugal an economical and social importance, with strong credits in the foreign trade and guaranteeing employment to a high number of people. The sector of the ceramic is quite diversified in technological terms, coexisting great companies, equipped with developed productive means, with craft companies, using ancient techniques of manufacture. The structure of the sector is dominated by SME, with a prevalence of high number of microbusinesses, disseminated by the whole European territory, although with regional concentration by sub-sectors activities.

Table 1- Average values of Portuguese manufacturers of porcelain, faience, fine sandstone and pottery (INE, 1999).

Year	Companies Nr	Staff employed	Productivity at work (€)	Gross added value (k€)	Turnover (k€)
1995	1027	26587	12575	334294	713032
1994	974	26532	12460	316846	663681
1993	954	24626	10959	269845	572085

The great competitors are Japan, the largest world manufacturer of ceramic products, and its Asian neighbors (China, Taiwan and South Korea). Still, the European products enjoy of two very significant advantages:

- Great dimension of internal market;

- Great prestige and mark image, acquired by the development of advanced technologies and by the creativity in conception of new products and design.

Portugal, in spite of some resemblance with the ceramic industry established in the European space, continues to evidence serious structural problems, building up its competitiveness on low labor costs and effortless acquisition of raw material. The average values of productivity are low and strongly unadjusted to the values currently verified in the homologue European partners. Focusing on manufacturing companies of stone ware dishes for culinary use, only eight companies were identified, with the following geographical distribution:

Table 2- District distribution of Portuguese stoneware manufacturers (Cencal, 1999).

District	Nr
Aveiro	6
Viana do Castelo	1
Viseu	1

The reduced number of companies in operation in this segment of products has been maintained due to the existence of technological barriers that have been creating difficulties to the enlargement of this "strategic group". The existing companies are all medium dimension units, of recent construction that, practically, sell all of its production in the external markets. Only the company located in the district of Aveiro, from a domestic criterion, can be considered a big enterprise, listed in the stock exchange market of Lisbon and Oporto.

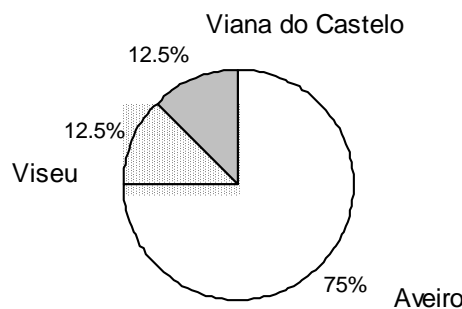


Figure 2- Production relative weight between Portuguese stoneware manufacturers (Cencal, 1999).

The market of the products is, practically, dependent of the exterior, because two of the companies only sell a small portion of its production in the national market. More than 95% of the production is exported. Just as in the sub-sector in that they are integrated, a major part of the sales is driven to the European Union, with United Kingdom and France as best clients, to the USA and to even less traditional customers of the Portuguese ceramic, that appear with small portions of the sales, as, for instance, Australia and Israel.

In the analysis of activity of the "strategic group" of manufacturers of stoneware, the "Five Forces" model (Porter, 1980) was followed, with the subsequent results:

- The entry barriers to new competitors are of average intensity, but will tend to rise in the future, due to higher difficulties of new industrial units implementation, for reasons of environmental protection, larger investments in marketing with reflex in the creation of proprietary marks and increased access difficulties to quality raw material;
- The intensity of rivalry among companies, very high nowadays, will tend to decrease with the forecast of growth of markets and with the removal of excesses of productive capacity;
- The customers' power will remain high, demanding better service, particularly in terms of range of products and delivery periods flexibility. If, on one hand this has negative effects on the makers' margin, on the other hand it has a very positive effect, giving very little chances to the presence of Asian makers in the European market;
- Vendors power of negotiation has an average intensity and it is foreseen that the situation can improve due to the development of a better vision of the advantages of a cooperative positioning. The impositive technological modernization of suppliers doesn't represent an integration threat upstream, being foreseen that, if such situations occur, they will actually have opposite results;
- The influence of substitution products is not considerable, ceramic products are aimed at continued winning advantages due to the largest demands of the markets with greater purchase power, in terms of environment protection, of hygiene and of ornamental value.

In conformity, the actual situation of low/medium attractiveness of this "industry" should evolve in the medium term for a situation of medium attractiveness.

Finally, the strategic importance of endowing the productive organization with the necessary flexibility to a comfortable relationship with the customers is pointed out, in variety terms, amount and period of delivery, so that the

European market can increase its liability and can be faced as a natural domestic market, thus hindering the entry of more distant countries manufacturers.

Table 3- Industry attractiveness

Forces Influence	Present			Future		
	Low	Medium	High	Low	Medium	High
Barriers to new incoming competitors		X				X
Enterprise rivalry			X		X	
Customers negotiation power			X			X
Suppliers negotiation power		X			X	
Substitutes		X		X		
Global assessment of Attractiveness	Low/Medium			Medium		

#### 4. Management Application to a Specific Situation

##### 4.1. The Company

The practical illustration of the concepts of the flexibility will be exemplified in an industrial company of utilitarian stoneware dishes, CERUTIL, SA. The company developed and implemented the project of an industrial unit located in the Industrial Zone of Sátão, district of Viseu, that represented an initial investment of €3000000. The industrial unit entered in experimental exploration by the end of the year of 1992 and attained in 1999 a €4395000 volume of sales, employing a total of 183 workers. The range of products consists of semi-vitreous dishes, monobaking system produced, that checks if its characteristics are adapted to the use in conventional or of microwave ovens, namely:

- . Shallow oval roasting pans
- . Cake and flan dishes
- . Oval and oblong dishes
- . Plates
- . Bowls
- . Salad bowls
- . Miscellaneous

The total production is driven to the external markets, which are, on a decreasing order of importance:

- . United Kingdom
- . France
- . Nordic countries
- . Israel
- . USA
- . Italy
- . Germany
- . Australia
- . Others

The customers are gross suppliers of supermarket chains and retailers associations. The company competitors are Portuguese, French, Italian, Japanese and Asian manufacturers, these last ones producing under Japanese influence. The competition is more intense with the Portuguese manufacturers, due, mostly, to the similarity of times and the importance that stop in the segments of the markets objective.

##### 4.2. The Production Strategy

Due to the company's strategy, that decided to bet in the growth of market share, taking advantage of the foreseeable increase of profitability of the industry, the competitive priorities of the production are:

- Flexibility- understood as the capacity of answering with reliability in time and in variety to the opportunities of the market, as winning factor of indent, through:

- a) very fast order delivery delays;
- b) very fast acceptance of changes in orders;
- c) ease acceptance of orders with enlarged range of products and reduced quantities by article (mix);
- d) fast design and development of differentiated and market valued products, following its tendency.



- Quality and Cost - understood as qualifying factors, that allow the company maintaining the target customers. Specifying these competitive priorities attributes better:

a) the quality should be understood as the technological characteristics of the product valued by the market (absence of porosity, glazing of the ceramic structure and resistance to the thermal shock) and the ornamental finishing aspects ;

b) the cost, decisive of the final price to the consumer, should stay inside of acceptable values, since they are utilitarian goods and, as such, the market doesn't present a great elasticity.

### 4.3. The Flexibility Model

The flexibility of the productive system should have a great agility concerning the answer capacity of:

- Delivering orders ;
- Changing orders requirements;
- Accepting enlarged range of products with reduced amounts by article;
- Designing and developing new products.

Having stated this, the issue to address is: how much flexibility of the productive process is necessary?

The required flexibility of the productive process should keep in mind two components:

- The customers' needs;
- The changes in the environment.

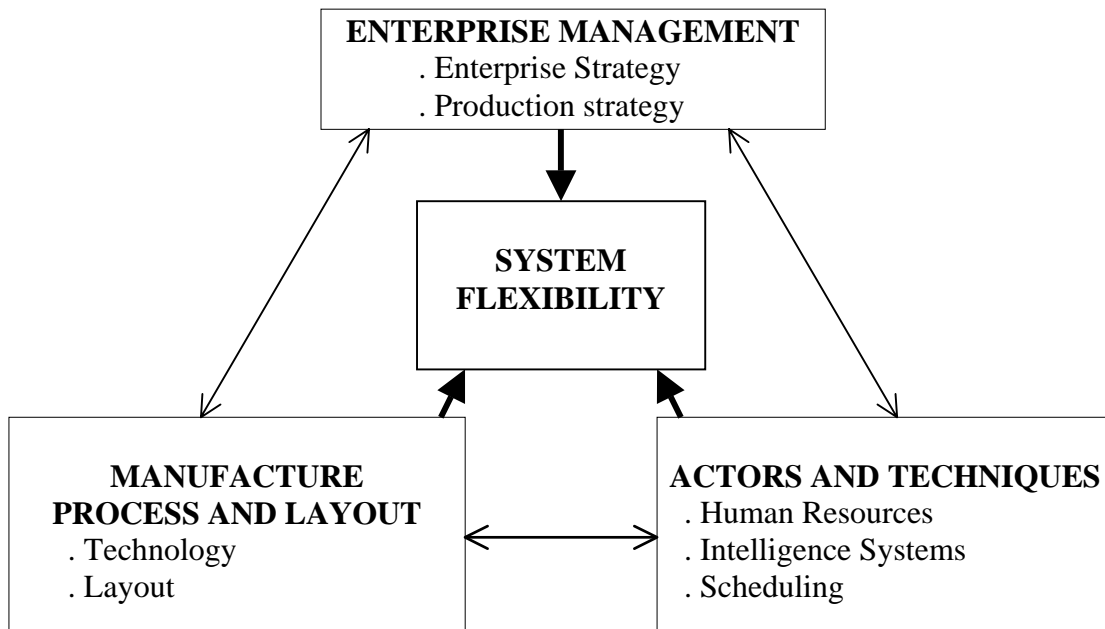


Figure 2- Factors influencing the System's Flexibility.

In this particular case, the following answers were deduced from the market study based on the actual and potential clients:

a) Customers Needs:

- Time of Delivery - 6 weeks
- Change in Orders - 3 weeks
- Time of Delivery of New Models - 8 weeks
- Range of Products - 2 to 10 different goods, with combination of 6 colors, for delivery.
- Minimum amounts for article: of press - 1000 units; of roller - 3000 units.

b) Diagnosis of the Present Process in Terms of Flexibility

The company accepts orders in the following terms:

- With time delivery of 4 to 18 weeks, according to the range and amounts of claimed goods;
- Orders alterations until the beginning of the production;
- Range of products: Minimum amounts of 2000 units for reference of pressed items and 5000 units for reference of roller items.

In spite of the impression that the numbers can induce, the company gets a reasonably good level of flexibility, trying to fulfill the needs expressed by customers through the conjugation of joint production of different orders, negotiating new delays for portfolio orders, without compromising the customers' interests. The plant problem is centered in the level of service delivered to the customers, translated in terms of the non accomplishment of some

delivery times and of uncompleted delivery of the ordered amounts. This situation resulted from some problems of control of process quality and of some process rigidity.

Once the dependent variables are established, characterizing the needs of flexibility of the system and the corresponding values they must assume, as being one of the customers' needs to execute the company strategy of the company, it is arrived the moment of identifying the Independent Variables.

The process of identifying the independent variables will follow the established analysis model pictured in Fig. 3. Accordingly, and after identifying and studying those independent items, the following picture of correlations of the flexibility of the process of the company was established:

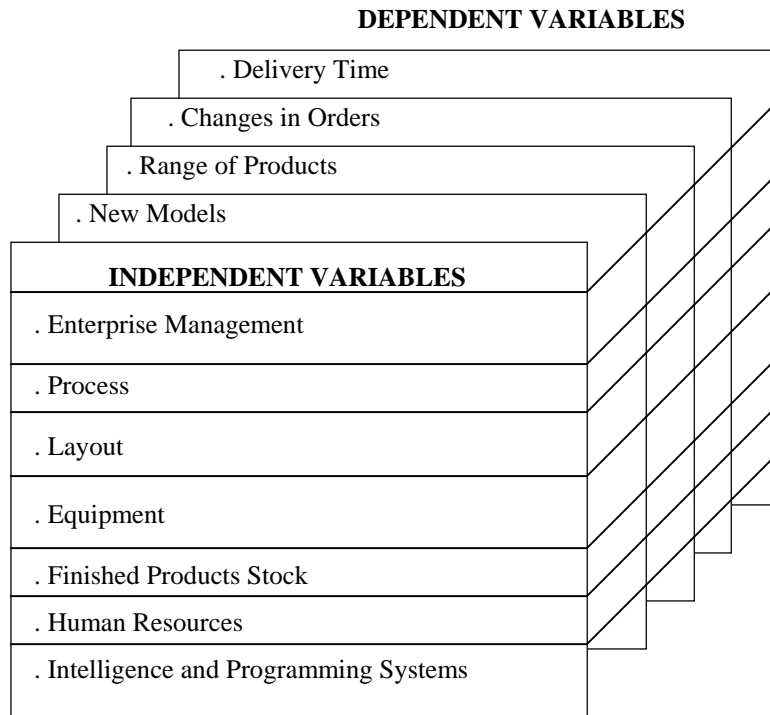


Figure 3- Flexibility correlations of the Enterprise Process.

#### 4.4. Measures for Improving the System Flexibility

The enterprise board of administration emphasized a flexible answer to the market, clearly stood out by the acceptance of several orders of smaller amounts than economical lot size, trying to combine them so that inefficiency costs were minimized. However, it shall strengthen its commitment on improving the system's flexibility, keeping the present manufacturing process, but implementing some layout changes, such as:

- a) Work station positions;
- b) Material flows in plant;
- c) Materials transportation mechanization and automation, particularly in clay production section;
- d) Balancing of the productive capacities of the several sections;
- e) Time reduction of the conformation moulds shift;
- f) Energy recovery of the exhaust gases of combustion from the drying oven;
- g) Layout redefinition of the choice and packing section;
- h) Design and development of the standard packing material.

There shall be no stocks of finished products manufactured by orders and with customer's design. Safety stocks of the company's own design shall be constituted, so that a guarantee will exist that its value won't surpass two weeks of sales of the respective products. Work in process shall be minimized to an extent corresponding to one week of production. The more complicated situation of materials management is related to packing. This problem resolution encompasses with a better study and standardization, towards the development of partnerships with suppliers that supply them just-in-time. The acknowledgment of the value of regional workforce shall be taken advantage of as a competitive variable centered in its intrinsic value and work commitment and not in low cost.

Therefore, qualifying actions should be scheduled prone to:

- a) Creating group dynamics, based on cooperation values;
- b) Taking responsibility for the quality of the produced work;
- c) Taking responsibility for the first levels maintenance;
- d) Creating intelligence use capacities;
- e) Participating in the life of the company;
- f) Valuating a flexible participation.

A stimulus system should be established towards productivity, so that it turns out being clear and fair for the organization and its collaborators.

The materialization of the flexibility aim is very dependent of the implementation of a good information system, that allows planning, scheduling and monitoring of the production, the evaluation of the economical activities in cost terms and increased value, as well as the management of the quality and maintenance, allowing to control levels of waste, costs of customers' complaints, operational availabilities and maintenance costs.

#### 4.4.1. Layout Changes Proposal

All the products have the same sequence of operations and they incorporate the same raw and subsidiary materials, thus lessening the flexibility aim.

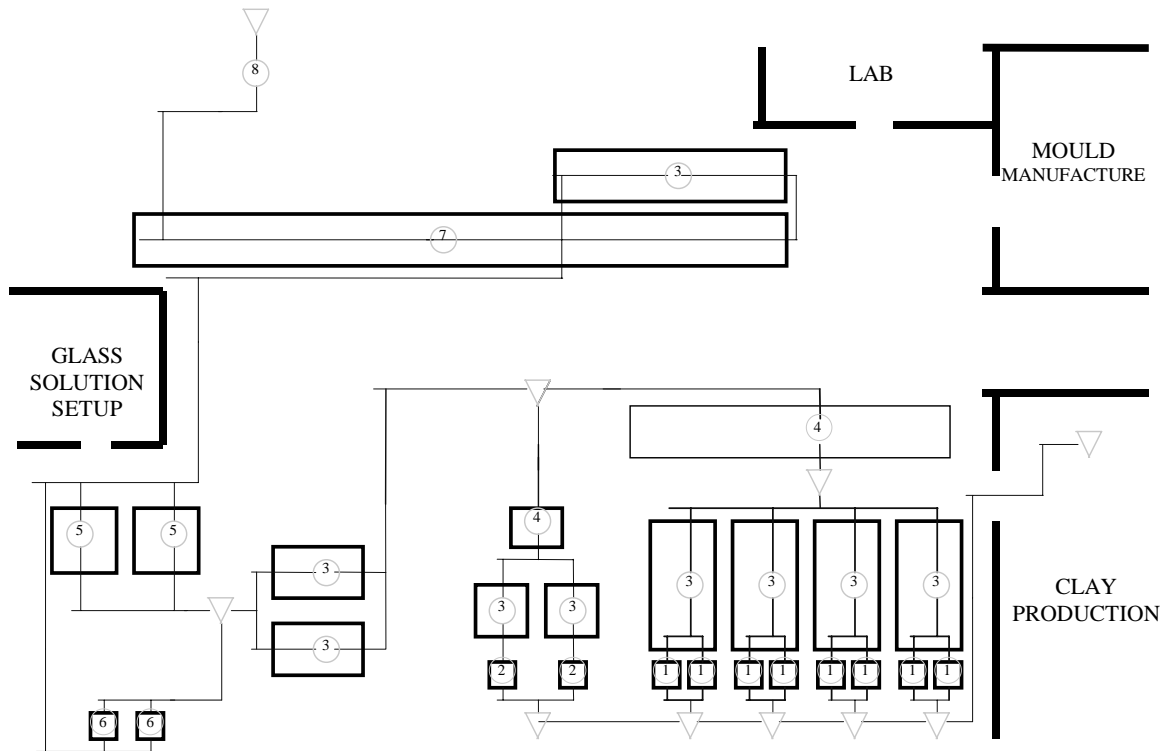


Figure 4- Initial Layout (1- Pressing, 2- Roller, 3- Drying, 4- Finishing, 5- Automatic Glazing, 6- Manual Glazing, 7- Baking, 8- Choice)

The company manufacture process is of the job shop type, organizing the operations in a functional layout. It uses equipments of conventional technology, with a low automation index and a great number of manual operations. Therefore, scale economies are limited to the conformation and glazing sections where the following items are produced:

- Pressed pieces:

Each manufactured mould has a limited duration, constraining at least one press stop for replacement each 1000 to 1100 pieces, average.

An option can be made between replacing the mould before the end of its useful life and storing it, hence calculating economical lot sizes. Also, costs setup of glazing operation should be bared in mind, resulting of change of pieces with non compatible formats with glazing follow up or color change. As can be seen, if they were performed separately, the economical lots would be,

$$Q_{pressing} = 1000 \text{ units} \quad \text{and}$$

$$Q_{glazing} = 1900 \text{ units}$$

whereas they are performed in combination, the economical lot becomes

$$Q_{pressing+glazing} = 2000 \text{ units}$$

- Roller pieces:

$$Q_{roller} = 8000 \text{ units} \quad \text{and}$$

$$Q_{roller+glazing} = 9500 \text{ units}$$

The eight presses, as well as two rollers, have capacity and are appropriate to the production of the whole type of press and roller pieces, respectively. Therefore, a high scheduling flexibility exists in the conformation section:

Presses: 8 alternative directions

Roller: 2 alternative directions

The great barrier to flexibility appears in the transport equipment between the glazing section and the oven, due to rigid conception. The situation is aggravated by the fact that the transporter also is used on storage of products to be baked, during the weekend, which leads to minimum delivery times between those two operations of 5.5 h. The situation presents some seriousness with the following problems being identified:

- Difficulties on following the manufacture lots;
- Difficulties of load synchronization;
- Difficulties of discharge synchronization;
- Phase displacement in the conclusion of the manufacture lots;
- Limited liability of the individuals, as it is not possible to identify the workstations that didn't respect the quality procedures.

The situation analysis allows the conclusion that there is a strong possibility of improving the connection among the two operations, acquiring a shorter transporter to be put to work in parallel. Additionally, when the cabins will be glazing small series, some of the containers will be used, nowadays operating between the drying and the glazing, creating the alternative directions, schematized in Fig. 5.

The solution proposal allows reducing the time of delivery among operations by 1.75 h. The economical lot of manufacture of press pieces will lower from the present 2000 to 1000 units, since these small series have the dimension adapted to the glazing in the cabins, without costs of change preparation of manufacture in this section, accomplishing, thus, the flexibility *desideratum*.

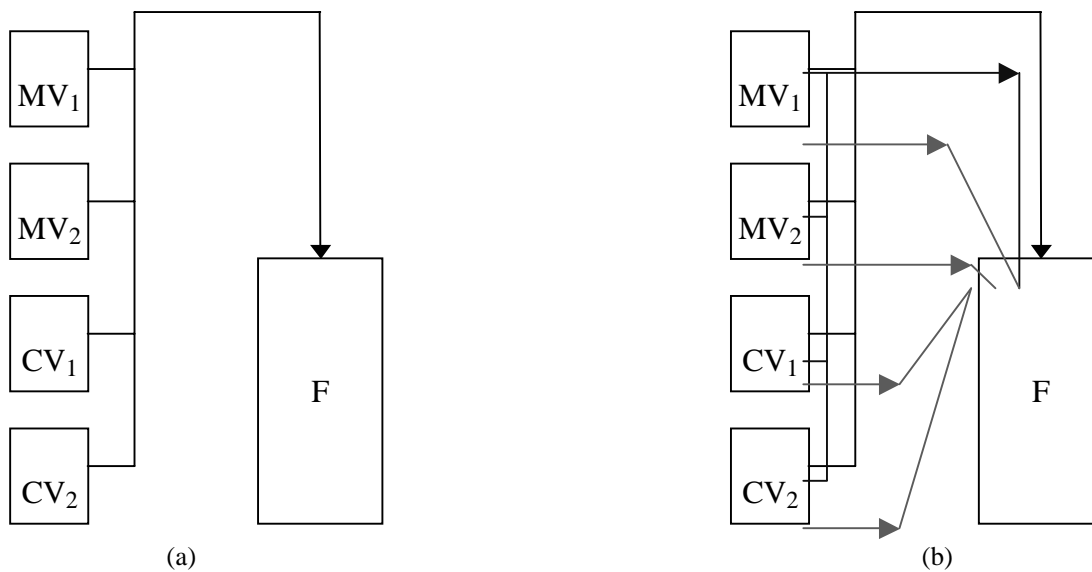


Figure 5- Glazing to oven transport, (a) present, (b) proposed (MV- Automatic glazing, CV, manual glazing, F- oven)

It will allow, still, to benefit of range economies in baking, as it is possible to program the arrival to the oven and its simultaneous load of big and small pieces, occupying the small pieces the free spaces among the big pieces, without volume increases compared to what would occupy these last ones, if they were separately cooked, *i.e.*:

$$V_{sp} + V_{bp} \equiv V_{bp} \tag{1}$$

where  $V_{sp}$  is the small volume pieces and  $V_{bp}$  the big pieces volume.

### 5. Conclusions

This work identified some of the flexibility components linked to production and operations, such as flexibility of:

- Demand
- Delivery
- Range of products
- Equipment

- Scheduling
- Alternative directions
- Organizational
- Human resources
- Information system

The implementation of the flexibility should be faced as a method to win competitive advantage in the production, giving an answer to the needs of the market and facing the uncertainty of the environment. As it represents investment and exploration costs, it should always be equated in each specific situation. The values of the variables that will characterize the flexibility must be quantified, as, for instance, the necessary time to the release of a new product, the number of products to manufacture in each period, the minimum amounts of production for reference, the time deliveries and the delays accepted for order changes.

The study of the productive flexibility, in a ceramic company of medium dimension, was based on a model where the determinant of the flexibility were represented by the following interacting peaks of a triangle:

- Company Management
- Actors and Techniques
- Process, Layout and Equipment

The productive infrastructures (Process, Layout and Equipments) of CERUTIL, SA, revealed a significant capacity of adaptation to a flexible manufacturing, as well as, of suffering changes that will result in high flexibility of alternative direction, range of products and delivery times. The minor suggested changes will provide, in the same way, significant range economies in the baking operation.

It is interesting to stress that, in the suggested changes, there was no need for new technologies or sophisticated equipments. It should also be pointed out that the most important aspects for the materialization of the flexibility aims are the persons and the way how the message from the administration of the company is communicated. Professional qualification and protagonists' motivation is fundamental for achieving proper involvement and assumed responsibility for the designed plans.

## 6. References

- Bish, E., 2000, "Impact of Manufacturing Flexibility on Supply Chain Performance", First World Conference on Production and Operations Management, POM, Seville.
- Cencal, 1999, "Plano de Actividades", Caldas da Rainha.
- Gerwin, Donald, 1993, "Manufacturing Flexibility: Strategic Perspective, Management Science", 39, 4, pp. 395-409.
- Hoss, D., 1992, "Is there a Technological Determinism?", in Flexible Systems of Production and Reorganization of the Work, ed. Ceso I&D, Lisbon, pp. 69-88.
- Jones, B., 1992, "Essential Aspects of Cultures, Strategies and Techniques- A Comparative Vision on Work Technology and Flexible Production", Flexible Systems of Production and Reorganization of the Work, ed. Ceso I&D, Lisbon, pp. 143-168.
- Jordan, W.C. and Record, S.C., 1995, "Principles on the Benefits of Manufacturing Process Flexibility", Management Science, 41, 4, pp. 577-594.
- Kovács, I., 1992, "New Technologies, Human Resources, Organization and Competitiveness", Flexible Systems of Production and Reorganization of the Work, ed. Ceso I&D, Lisbon, pp. 17-68.
- INE, 1999, "Anuário Estatístico de Portugal", Lisbon.
- Mansfield, E., 1993, "The Diffusion of Flexible Manufacturing Systems In Japan, Europe and the United States", Management Science, 39, 2, pp. 149-159.
- Maurice, M., 1992, "Flexible Technologies and Work Division Forms Variability in France and Japan", Flexible Systems of Production and Reorganization of the Work, ed. Ceso I&D, Lisbon, pp. 99-112.
- Miller, J.G. and Roth, A.V., 1994, "The Taxonomy of Manufacturing Strategies", Management Science, 40, 3, pp.285-304
- Mintzberg, H.,1990, "The Design School: Reconsidering The Basic Premises of Strategic Management", Strategic Management Journal, 11, pp.171-195.
- Oke, A., 2000, "Linking Human Resource Flexibility with Manufacturing Flexibility: Enablers of Labour Capacity in Manufacturing Plants", First World Conference on Production and Operations Management, POM, Seville.
- Olhager, J. and Bengtsson, J., 2000, "The Impact of Product-mix on the Value of Flexibility", First World Conference on Production and Operations Management, POM, Seville.
- Peters, T.J., 1987, "In Search of Excellence", Publicações D. Quixote, Lisbon.
- Porter, M.E., 1986, "Competitive Strategy", 7<sup>th</sup> ed., Publishing Campus, Rio de Janeiro, 1986.
- Roldão, V.S., 1995, "Planning and Programming of the Production", Monitor-Projects and Editions, Lda, Lisbon.
- Skinner, W., 1974, "Manufacturing in the Corporate Strategy", John Wiley and Sons.
- Upton, D.M., 1995, "Flexibility Process Mobility: The Management of Plant Capabilities for Quick Response Manufacturing", Journal of Operations Management, June, pp. 205-223.

## CARACTERIZAÇÃO DE PROGRAMAS DE EDUCAÇÃO CORPORATIVA PARA O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Msc. Ana Paula Freitas Mundim  
Amundim@sc.usp.br

Prof. Tit. Henrique Rozenfeld  
Roz@sc.usp.br  
Escola de Engenharia de São Carlos – USP  
Av. Trabalhador Sãocharlense, 400  
São Carlos – SP  
13566 590

### Resumo

*A vantagem competitiva de uma empresa de manufatura em uma economia globalizada está diretamente relacionada com sua capacidade de introduzir novos produtos no mercado, garantindo linhas de produtos atualizadas tecnologicamente e com características de desempenho, custo e distribuição condizentes com o atual nível de exigência dos consumidores. Contudo, a tarefa multidisciplinar do desenvolvimento de produtos requer conhecimento de várias áreas da engenharia, noções de gerenciamento, visão sistemática e integrada do negócio e capacidade social. Neste contexto, uma grande dificuldade do gerenciamento integrado do processo de desenvolvimento de produto (PDP) é a existência de poucos profissionais capacitados a atuar eficientemente nesse processo de negócio. Ou seja, profissionais que tenham uma visão geral e integrada do processo. Para resolver este problema, muitas empresas estão desenvolvendo ações e programas de educação corporativa para não só capacitar seus colaboradores em novas técnicas e conceitos, mas também para desenvolver as competências requeridas para uma performance integrada e eficiente no PDP. Este artigo objetiva, então, apresentar uma caracterização de programas de educação corporativa para o PDP, baseada em uma vasta revisão da literatura e em três estudos de caso de empresas que já implementaram esses programas.*

**Palavras-chave:** processo de desenvolvimento de produtos, educação corporativa, capacitação profissional, estudos de caso.

### 1. Introdução

Num ambiente de grande competitividade, internacionalização das operações e rápidas mudanças tecnológicas, exige-se das empresas agilidade, produtividade e alta qualidade, que dependem necessariamente da eficiência e eficácia do processo de desenvolvimento de produtos (PDP). Um desempenho superior deste processo torna-se, então, condição essencial para garantir linhas de produtos atualizadas tecnologicamente e com características de desempenho, custo e distribuição condizentes com o atual nível de exigência dos consumidores (Brown & Eisenhardt, 1995).

É importante notar que o desenvolvimento de produtos deve ter uma abordagem de integração dos vários tipos de sistemas para suportar ao projeto e operação de inúmeras e complexas atividades de engenharia (Eversheim & Schernikau, 1999). Ou seja, deve ter uma abordagem multidisciplinar. Este desenvolvimento requer também o trabalho em equipe, a aplicação de práticas simultaneamente e diversos métodos de desenvolvimento, provocando uma intensa e eficiente interação entre diferentes áreas da engenharia, a fim de projetar melhores produtos. Caso contrário, a fragmentação dos conhecimentos destas áreas pode trazer sérias conseqüências para as atividades de projeto, onde a criatividade do projetista pode ser limitada pelo seu alto grau de especialização (Wheelwright & Clark, 1992).

A tarefa multidisciplinar do desenvolvimento de produtos requer, portanto, profundos conhecimentos das diversas áreas da engenharia, noções gerenciais, visão sistêmica e integrada do negócio e relacionamento interpessoal. Neste contexto, uma das principais dificuldades atuais no gerenciamento integrado do processo de desenvolvimento de produtos é a existência de poucos profissionais capacitados para atuar eficientemente nesse processo de negócio multifuncional.

Buscando minimizar o problema, os profissionais deveriam adquirir o aprendizado de novas tecnologias acoplado com a visão integrada do negócio, envolvendo todas as habilidades requeridas neste processo, tais como: pensamento sistêmico, trabalho em equipe e conhecimentos técnicos específicos. Capacitando-os, assim, a trabalhar entre as fronteiras das áreas da engenharia, objetivando identificar e utilizar a correta combinação de tecnologias e conhecimentos que irão prover a melhor solução para o problema de desenvolvimento em questão.

Para resolver este problema, muitas empresas estão desenvolvendo ações e programas de educação corporativa para não só capacitar seus colaboradores em novas técnicas e conceitos, mas também para desenvolver as competências requeridas para uma performance integrada e eficiente no PDP.

Este artigo objetiva, então, apresentar uma caracterização de programas de educação corporativa para o PDP, baseada em uma vasta revisão da literatura e em três estudos de caso de empresas que já implementaram esses programas. Para tanto, descrevem-se os princípios básicos do PDP e a abordagem da educação corporativa. Posteriormente, apresenta-se um resumo das características de um programa de educação corporativa para o PDP e, por fim, relatam-se três estudos de caso de empresas com programas implementados.

## 2. Educação Corporativa

As universidades e instituições formais de ensino desempenham um papel primeiro e único no processo de aprendizagem da pessoa, construindo os alicerces de conhecimentos teóricos, sociais e metodológicos, os quais constituirão a base para o desenvolvimento das competências necessárias para a organização. Considerando que tal processo de aprendizagem deve ser um processo permanente, ele deve continuar também no interior da organização, podendo ser capitaneado pela chamada educação corporativa.

Educação corporativa compreende sistemas educacionais que privilegiem o desenvolvimento de atitudes, posturas e habilidades, e não apenas conhecimento técnico e instrumental aos colaboradores das empresas, visando prover oportunidades de aprendizagem ativa e contínua, que dêem suporte para a empresa atingir seus objetivos críticos do negócio (Eboli, 1999). Tais sistemas educacionais podem compreender as formas de: educação formal, no caso de cursos de formação acadêmica requeridos; educação não-formal, sendo cursos ou programas de currículos desenvolvidos especificamente para atender aos colaboradores de uma determinada área da empresa, por exemplo; e educação informal, considerando atividades tais como: visitas de benchmarkings, dinâmicas para discussão de casos, palestras e congressos especializados.

Os mais bem sucedidos programas de educação corporativa contam com os líderes empresariais como co-responsáveis pela aprendizagem organizacional e algumas vezes investidos no papel de treinadores e tutores de outros líderes. Mais ainda, os programas de sucesso assim o são por possuírem objetivos intimamente atrelados com a estratégia da empresa, de tal forma que passam a fazer parte integrante da própria estratégia (Ulrich, 2000). Apresentam, também, resultados que podem ser mensurados e correlacionados com as competências essenciais diferenciadoras do sucesso ou do fracasso do negócio (Meister, 2000).

Não se trata, portanto, de aperfeiçoar o modelo já existente de treinamento com novos ingredientes superficiais, como por exemplo adicionar palestras sobre temas da moda (Eboli, 2000). Trata-se de repensar a própria natureza da educação corporativa para que seus programas reflitam um processo de aprendizagem que se projete para além da sala de aula, integrando técnicas e pensamento, intuição e intelecto, ciência e bom senso.

O conceito de educação corporativa está alterando também a relação universidade tradicional e empresa. Apesar de alguns considerarem a educação corporativa uma ameaça ao papel das universidades tradicionais, as experiências mais bem sucedidas de educação corporativa são aquelas que realizam parcerias com algumas universidades tradicionais, que têm competência para agregar valor a estes programas corporativos, contribuindo, assim, para que as empresas realizem com mais competência e resultado o processo de gestão do conhecimento, considerado atualmente crítico para o sucesso dos negócios (Tobin, 1998).

Em lugar de simplesmente entregar uma lista de necessidades ao ensino superior, as empresas estão, atualmente, especificando as habilidades, conhecimentos e as competências necessárias para o sucesso numa determinada indústria e, nesse processo, estão criando programas conjuntos de educação formalmente reconhecidos (Meister, 1998).

## 3. Caracterização de um Programa de Educação Corporativa para o PDP

Os programas de educação corporativa têm-se destacado como um sistema de desenvolvimento de pessoas e talentos humanos alinhado às estratégias de negócio, que se evidenciou como poderosa fonte de vantagem competitiva (Eboli, 1999). Ou seja, tais programas devem construir a ponte entre o desenvolvimento das pessoas e as estratégias de negócio da empresa, visando uma vantagem competitiva.

Entretanto, devido justamente a esta característica de alinhamento com a estratégia competitiva de uma específica empresa, os programas de educação corporativa para o PDP são delineados conforme essas especificidades. Ou seja, existe um *framework* contextual em torno da educação corporativa, descrevendo a gama de negócios da empresa, seus clientes, parceiros e competidores, assim como as *best practices* e as tendências de mercado, utilizadas como referência. O programa de educação corporativa para o PDP também é influenciado pelos valores e a cultura organizacional, podendo, normalmente, trabalhá-los dentro dos planos de desenvolvimento dos profissionais.

Deste modo, os elementos de um programa de educação corporativa e suas características são mutáveis de acordo com a situação em questão, sendo, então, mais fácil descrevê-los conforme suas funcionalidades em termos de etapas básicas para concepção e implementação de um programa de educação corporativa para o PDP.

Sinteticamente tais etapas são representadas na Figura 1, (Meister, 1998; Tobin, 1998). É importante destacar que elas não são necessariamente seqüenciais e podem ser realizadas paralelamente, conforme o caso.

### □ Valores Compartilhados / Modelo de Negócio

Esta etapa envolve o desenvolvimento de um modelo de negócio que justifique o porquê da construção do programa e a definição de valores compartilhados para suportar tal iniciativa de educação corporativa. Ainda nesta etapa é interessante realizar um diagnóstico da situação educacional dos profissionais do processo e prospectar o nível de competências futuro que se pretende alcançar. Além disto, um delineamento do escopo e estrutura do programa, bem como o modelo de financiamento e transição para este novo programa são também importantes para consideração.

### □ Suporte da Alta Gerência

É extremamente necessário envolver e comprometer a alta administração com o processo de educação e aprendizagem, seja para suportar o programa como treinadores, tutores, conselheiros ou facilitadores.

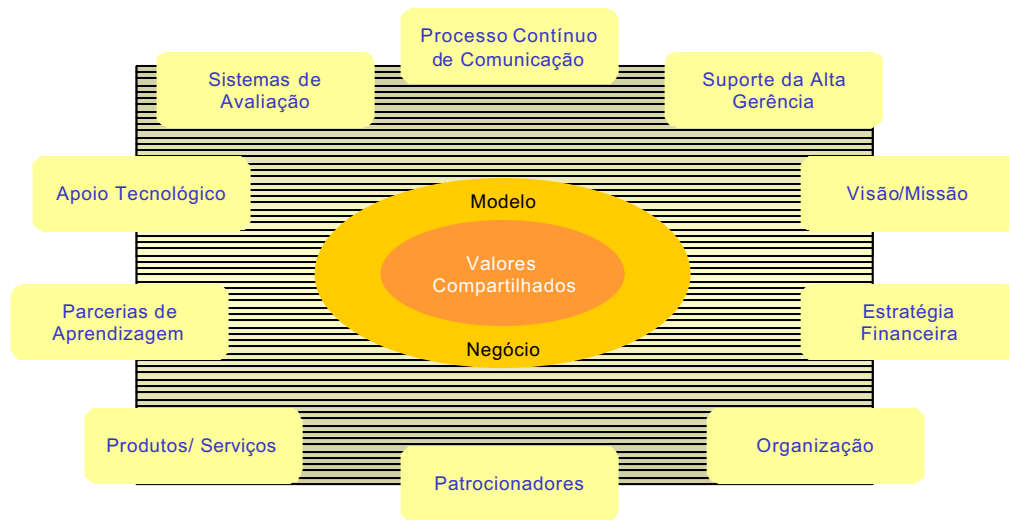


Figura 1 – Etapas de um Programa de Educação Corporativa para o PDP (Meister,1998).

❑ Visão/Missão

A visão/missão representa a imagem que o grupo faz de sucesso, ajudando a clarificar a direção na qual o programa de educação corporativa para o PDP deve seguir. Esta visão/missão deve ser relativamente fácil de ser comunicada, inspiradora, memorável e concisa, a fim de deixar uma impressão de credibilidade em todos os futuros usuários e desenvolvedores do programa.

❑ Estratégia Financeira

Nesta etapa é importante definir qual será o modelo de financiamento do programa educacional. Por exemplo, o financiamento pode vir direto do orçamento da organização; das unidades de negócio, conforme suas demandas específicas por treinamento; de taxas cobradas dos clientes e fornecedores; e se o escopo do programa também for de um negócio rentável, das taxas cobradas dessas fontes externas. Vale ressaltar que muitos programas começam com um orçamento interno da área onde o mesmo está sendo desenvolvido, como a área de recursos humanos, progredindo, conforme um planejamento financeiro, para subsídios das áreas funcionais e, posteriormente, para um modelo auto-sustentável com receitas externas. Ou seja, a idéia é operar o programa de educação corporativa como um centro de resultados ou como um negócio em si mesmo, que seja auto-suficiente ao prestar serviços para toda a cadeia produtiva do negócio da empresa – clientes, fornecedores e investidores.

❑ Organização

Uma questão inevitável para a construção do programa de educação corporativa para o PDP é a definição de sua organização. Para tanto se faz necessário identificar quais funções serão centralizadas, por razões de custo e eficiência, e quais serão descentralizadas, isto é, aquelas que fazem mais sentido estar perto dos clientes. Por exemplo, as funções mais estratégicas ficam centralizadas, tais como: planejamento, desenvolvimento e administração do programa, padronização, avaliação e processo de comunicação e marketing. Já algumas funções mais operacionais podem ficar mais próximas dos clientes, como: execução dos cursos, tutoria, *feedback* e identificação da demanda de necessidades dos clientes. Deste modo, pode-se definir melhor qual a organização requerida por estas funções, as quais podem ser, muitas das vezes, realizadas por uma mesma pessoa e/ou suportada por um sistema de informação. Nesta etapa detalha-se, também, as abordagens a serem utilizadas nestas funções, por exemplo, o planejamento do programa abordará os conceitos de competência, cultura e aprendizagem organizacional, e o desenvolvimento do programa será feito considerando a gestão de pessoas por competência e não por atributos de um cargo.

❑ Patrocinadores

Outro grande fator para influenciar o sucesso do programa de educação corporativa para o PDP é a existência de patrocinadores. Uma vez determinado o público-alvo do programa – que no caso pode envolver toda a cadeia de valor do negócio da empresa – deve-se focar nas necessidades desses clientes que sejam mais urgentes para a aumentar a vantagem competitiva da empresa. A partir do atendimento de suas necessidades mais urgentes, estes visados clientes poderão ser os patrocinadores do programa aos outros futuros clientes ou aos clientes que ainda se encontram reticentes quanto a eficácia do mesmo. Ou seja, deve-se priorizar a implementação do programa educacional, visando sua melhor sustentabilidade.

❑ Produtos/Serviços

A fim de desenvolver as soluções educacionais do programa são necessárias cinco etapas básicas subsequentes:

- determinar os objetivos de negócio da empresa (competências essenciais);
- identificar os objetivos das áreas funcionais /departamentos /unidades de negócio / parceiros /clientes / fornecedores;
- determinar os objetivos individuais dos profissionais (competências pessoais);
- realizar uma análise de *gap* do estágio atual das competências do profissional contra as necessidades; e
- elaborar um plano de desenvolvimento pessoal de acordo com a análise anterior e com o interesse individual.



A partir da realização destas etapas pode-se, então, elaborar soluções educacionais para suprir as necessidades dos planos de desenvolvimento pessoais. Tais soluções compreendem desde os tradicionais cursos presenciais aos cursos a distância, assim como soluções de integração e suporte ao processo de aprendizagem, tais como: intranets para gestão do conhecimento, comunidades de prática, tutoria e práticas de aprendizagem organizacional. Outro tipo de solução educacional refere-se a questão de institucionalização dos valores e da cultura organizacional, assim como da questão de iniciação de integração ou visão geral do PDP; as quais são importantes para motivar os profissionais na identificação de suas necessidades de capacitação e de sua contribuição ao processo como um todo.

#### □ Parcerias de Aprendizagem

Uma importante etapa é desenvolver parcerias estratégicas com universidades tradicionais, consultores e outras empresas similares ou complementares, a fim de auxiliar não só o trabalho de atualizar constantemente a base de conhecimentos de um profissional, como também as formas de aprendizado destes conhecimentos. Vale ressaltar que estas parcerias podem ser mutuamente vantajosas, na medida que podem proporcionar um campo vasto de pesquisas para a universidade tradicional, assim como uma atualização dos currículos universitários visando fornecer às empresas uma força de trabalho com melhor qualificação. Outro aspecto importante a ser considerado são os critérios utilizados para a escolha dos parceiros, tais como: prestígio, experiências passadas, comprometimento em parcerias, investimento em tecnologias, questões de propriedade intelectual, compartilhamento da mesma visão de parceria e do panorama educacional, responsabilidade e flexibilidade.

#### □ Apoio Tecnológico

Nesta etapa são estudadas e desenvolvidas soluções, combinam uma série de tecnologias, para suportar e/ou tornar o programa de educação corporativa mais eficiente em termos de custos, flexibilidade, resultados, abrangência de pessoas e performance do aprendizado. Estas soluções englobam todos os elementos da educação a distância e da gestão de conhecimentos, tais como: Internet, CD-ROM, videoconferência e cursos baseados em computador. É importante destacar que estas tecnologias devem atender ao escopo e objetivos do programa educacional e de seu público-alvo, caso contrário tais tecnologias não produzirão os resultados esperados.

#### □ Sistemas de Avaliação

Devido a um dos principais objetivos de um programa de educação corporativa para o PDP – instituir uma cultura de aprendizagem contínua ligada às estratégias de negócio – faz-se necessário criar indicadores eficazes de mensuração dos resultados obtidos com os investimentos no programa. Os indicadores utilizados tradicionalmente (número de dias de treinamento por funcionário, número de pessoas treinadas, média do custo de treinamento, número de cursos oferecidos, etc.) pouco auxiliam na compreensão de quanto o negócio foi realmente beneficiado com o programa. É imperativo que se estabeleçam indicadores de mensuração que estejam estreitamente vinculados aos resultados do negócio, tais como: melhor qualidade dos produtos, maior participação no mercado, lançamento de novos produtos, etc. Ou seja, é crucial que seja avaliado e mensurado o impacto dos produtos e serviços do programa de educação corporativa para o PDP nos resultados do negócio.

#### □ Processo Contínuo de Comunicação

A fim de manter a continuidade e atualização do programa de educação corporativa para o PDP, faz-se necessário a implementação de um processo contínuo de comunicação sobre o programa. Tal comunicação deve ser realizada por meio de padrões preestabelecidos, visando criar e sedimentar a visão do programa, além de ser fonte de esclarecimentos e estímulos. Para tanto, precisa-se definir a estratégia do processo, o público-alvo de cada iniciativa de comunicação, seus objetivos e os meios pelos quais essas iniciativas serão veiculadas.

## 4. Estudos de Casos de Programas de Educação Corporativa para o PDP

A seleção das empresas estudadas foi realizada com base em dois critérios previamente estabelecidos. Definiu-se que as empresas analisadas deveriam desenvolver produtos e ter pelo menos um programa de educação corporativa implementado para os funcionários que trabalham no PDP. A partir da definição desses critérios, foram escolhidas as três empresas analisadas nos estudos de caso.

A primeira empresa escolhida, denominada Empresa A, é uma multinacional que desenvolve e produz inseticidas, herbicidas, fungicidas e sementes para o setor agro-industrial. A empresa iniciou suas atividades no Brasil em janeiro de 1997, com a união entre outras duas empresas que já estavam no país há mais de 60 anos. Atualmente a empresa passa por um outro processo de fusão com outra multinacional do setor, criando uma empresa global líder no setor e a primeira companhia no mundo totalmente dedicada ao *agribusiness*.

A segunda empresa selecionada, denominada Empresa B, é uma multinacional que atua em três grandes segmentos: comunicação, semicondutores e em componentes eletrônicos, módulos e sistemas para mercados como o automobilístico, de computadores e de energia. A filial brasileira foi criada em 1992 e atualmente já é considerada pela classificação da Revista Exame como uma das cem melhores empresas para se trabalhar no Brasil (Guia Exame, 2000). A empresa também foi citada no Guia de Boa Cidadania corporativa (2000) da Revista Exame, por seus projetos nas áreas de educação e saúde. Mais ainda, ela também foi uma das pioneiras no estabelecimento das denominadas universidades corporativas.

Por fim, foi escolhida uma empresa pertencente ao setor mecânico, denominada Empresa C. A empresa, instalada em 1954 no Brasil, é líder no mercado interno e externo no desenvolvimento e venda de equipamentos de terraplanagem, foi também a primeira empresa desse setor a ter todo o seu processo produtivo e o sistema de distribuição de peças de reposição certificado pelo sistema ISO 9000, série 9002. Em 1999, quando a empresa C

completava 45 anos de produção no Brasil, ela conquistou o Prêmio Nacional de Qualidade. A empresa C também é reconhecida por suas ações de reciclagem, preservação do meio-ambiente e sociais na comunidade do interior paulista, aonde está localizada.

As características do PDP das empresas, de acordo com a tipologia proposta por Rozenfeld & Amaral (1999), são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características do PDP das Empresas de acordo com a Tipologia de Rozenfeld & Amaral (1999)

NÍVEL	FATOR		EMPRESA A	EMPRESA B	EMPRESA C
Mercado	Setor		<i>Agribusiness</i>	Comunicação, Semicondutores, Eletrônico	Mecânico (máquinas de terraplanagem)
	Concorrência		Oligopólio competitivo	Concorrência perfeita	Concorrência perfeita
	Alvo	Geográfico	Mundial	Mundial	Mundial
Posição na cadeia de produção		Contato com cliente final	Contato com cliente final e intermediário na cadeia de suprimentos	Contato com cliente final	
Corporação	Inserção		Filial	Filial	Filial
	Interação com unidades	Responsabilidade	Participante de co-desenvolvimento	Participante de co-desenvolvimento	Participante de co-desenvolvimento
		Equipe	Mundial	Mundial	Mundial
Empresa	Responsabilidade técnica		Centro de desenvolvimento de produtos e centro de desenvolvimento tecnológico de manufatura	Aquisição e adaptação de tecnologia e centro de desenvolvimento de produtos	Centro de manufatura
	Estratégia	Competitiva	Misto	Misto	Misto
		Interprojetos	Seqüencial	Simultâneo	Seqüencial
	Informações iniciais		Idéia	Parte do projeto do produto e protótipos	Requisitos de desempenho
	Complexidade de do produto	Tecnologia principal	Bioquímica	Mecatrônica, opto-eletrônica	Mecânica / Elétrica
		Interna	Número de insumos e etapas	Número de linhas de <i>software</i>	Número de componentes
		Interface com o usuário	Média complexidade	Alta e baixa complexidade (depende do produto)	Média complexidade
Grau de inovação		Plataformas ou nova geração e derivados	Pesquisa e desenvolvimento avançados	Plataformas	

Após a escolha das empresas consideradas nos estudos de caso, definiu-se que a coleta dos dados seria efetuada por meio de entrevistas focalizadas realizadas com membros das empresas analisadas. O roteiro de entrevistas foi elaborado a partir da revisão bibliográfica e do estudo descritivo dos programas de educação corporativa para o PDP, visando obter um detalhamento dos programas das empresas, a fim de verificar se o relacionamento dos elementos inicialmente identificados nesta pesquisa está de acordo com as etapas utilizadas pelas empresas na prática.

Considerando-se os fundamentos metodológicos sobre a preparação de roteiros de entrevistas, foram definidas sete perguntas para caracterizar o programa de educação corporativa e seu processo de implementação. As três primeiras perguntas caracterizam o programa, demandando: uma descrição do histórico de desenvolvimento, uma definição do programa e de seus elementos de suporte. As outras quatro questões visam caracterizar o processo de implementação do programa, verificando: as etapas realizadas, o estágio atual do processo, resultados já avaliados e comentários adicionais.

Paralelamente à elaboração do roteiro de entrevistas, foram estabelecidos os critérios para a seleção dos membros das empresas a serem entrevistados. Definiu-se que essas pessoas deveriam possuir bons conhecimentos da aplicação do programa de educação corporativa para o PDP das empresas nas quais atuam. A partir desse critério, foram definidas as pessoas entrevistadas. Na Empresa A, foi entrevistado o diretor de recursos humanos da empresa para a América Latina que participou do projeto de implementação do programa de educação corporativa. Já na Empresa B, foi entrevistada uma das coordenadoras de treinamento da universidade corporativa da empresa. Por fim, na Empresa C, foi entrevistado um dos supervisores de aprendizagem organizacional, que participou do planejamento e implementação do programa de educação corporativa da empresa.

A apresentação e a discussão dos resultados obtidos é organizada em seções que correspondem às perguntas do roteiro de entrevista verificadas nos estudos de caso. Para cada pergunta, são comparadas as soluções adotadas em cada uma das empresas.

- Histórico de Desenvolvimento do Programa

As diretrizes para o desenvolvimento dos programas de educação corporativa para o PDP, excetuando-se o caso de uma das empresas estudadas, vieram das matrizes das empresas no exterior.

A empresa A recebeu as diretrizes para o desenvolvimento de seu pessoal da matriz suíça. Tais diretrizes foram, entretanto, adaptadas ao contexto brasileiro e às competências nacionais. O desenvolvimento profissional é extremamente valorizado na empresa e a educação corporativa faz parte de sua cultura interna. Neste contexto, o auxílio da matriz foi considerado pelo entrevistado como bem útil no processo de implementação do programa de educação corporativa nacional.

A empresa B também recebeu orientações da matriz americana, fazendo adaptações para o ambiente brasileiro; por exemplo, devido a cultura brasileira de confirmar participações na véspera dos eventos, todo o sistema de prazos de inscrições foi alterado. Vale ressaltar que o programa de educação corporativa da empresa B faz parte dos valores e estratégia da empresa. O programa de educação corporativa mundial da empresa começou a ser instituído em 1981 por meio de um centro de treinamento e educação. No final dos anos 80, tal centro passa a ser denominado de universidade corporativa da empresa e já ultrapassava as fronteiras da matriz americana. Atualmente, as filiais da universidade encontram-se em mais de 100 localidades, espalhadas em 24 países.

A empresa C, por sua vez, não recebeu uma diretriz expressa de sua matriz americana para desenvolver e implementar um programa de educação corporativa para o PDP e seus profissionais. Pelo contrário, em 1997, iniciou-se um grande reposicionamento estratégico da corporação, em decorrência da necessidade de mudança para manter a liderança num mercado mais concorrido. Esta nova estratégia definiu metas para a empresa C no Brasil, que depois de várias reuniões e discussões com consultorias empresariais, concluíram que o conceito de aprendizagem organizacional seria o melhor investimento para proporcionar essa mudança estratégica e alcançar as metas estabelecidas pela matriz americana. Deste modo, iniciaram-se ações para implementar um programa de educação corporativa baseado no conceito de aprendizagem organizacional.

#### □ Definição do Programa de Educação Corporativa

Cada empresa estudada apresenta uma definição própria de seu programa de educação corporativa para o PDP, no entanto, os princípios básicos são os mesmos para as três.

Para a empresa A, constitui-se num programa de desenvolvimento pessoal e organizacional, ou seja, educação e desenvolvimento da pessoa quanto organização (valores, princípios, competências essenciais/estratégia). Uma vez que são as pessoas que tornam o PDP eficiente e, conseqüentemente, o PDP tornará a empresa mais competitiva, segundo o entrevistado.

O programa de educação corporativa para o PDP da empresa B é definido como o desenvolvimento do funcionário em relação ao negócio, principalmente por meio de cursos e iniciativas de transmissão e aquisição de conhecimentos. É também considerado um agente de mudanças e disseminador de valores na empresa. A missão do programa é ser um catalisador para mudanças e melhorias contínuas no suporte aos objetivos de negócio da empresa, provendo soluções em educação e treinamento no estado da arte, como parceiros no desenvolvimento profissional de seus clientes internos e externos.

Para a empresa C, o programa de educação corporativa geral da empresa, que engloba o PDP, constitui o processo de implementação e manutenção de uma organização que aprende. Ou seja, transformar a empresa C em um lugar onde as pessoas estão continuamente aumentando sua capacidade de chegar no futuro que elas realmente desejam. Sua missão é ser uma empresa líder no conceito de aprendizagem organizacional. Tal conceito envolve todas as ações educacionais, de desenvolvimento pessoal e profissional e de gestão do conhecimento.

#### □ Elementos de Suporte do Programa

Basicamente todas as três empresas estudadas partem do direcionamento estratégico da empresa para desenvolverem seus programas de educação corporativa para o PDP. Para tanto, a empresa A utiliza um sistema mais explícito de mapeamento de competências, enquanto a empresa B estabelece somente algumas competências básicas para determinados funcionários e as outras competências são definidas pessoalmente pelo profissional e seu superior. Já a empresa C, utiliza um sistema integrado de recursos humanos para auxiliá-la no mapeamento de competências por função organizacional.

A empresa A considera como elementos de suporte ao seu programa de educação corporativa para o PDP o mapeamento das competências essenciais da empresa, de acordo com o direcionamento estratégico; a partir disso, o mapeamento das competências do PDP e de suas áreas funcionais; e por fim, o mapeamento das competências pessoais, conforme sugerido por Fleury & Fleury (2000). De acordo com estes mapeamentos, é realizada uma análise de *gap* para grupos de funcionários com a mesma funcionalidade, ou seja, estabelecidas as competências que os mesmos deveriam ter, verifica-se quais já foram e quais devem ser desenvolvidas ou aperfeiçoadas. Deste modo, elaboram-se os planos de desenvolvimento, que podem incluir cursos internos e externos. Uma diretriz é manter os cursos sobre as competências essenciais da empresa internos, desenvolvendo especialistas entre os funcionários que possam transmitir e sedimentar tais conhecimentos. Vale ressaltar que a empresa A não relaciona competência ao cargo funcional, devido a sua volatilidade. A competência é sim relacionada à performance da pessoa, o que traz flexibilidade ao programa de educação corporativa, uma vez que está atrelado ao desenvolvimento, nem sempre linear, da carreira do profissional e não aos cargos que são criados e inutilizados conforme as variações do negócio.

Na empresa B também não existem currículos atrelados aos cargos, mas sim cursos básicos que todos funcionários devem fazer e cursos específicos por áreas de atuação. Os outros cursos para desenvolvimento do profissional são selecionados por ele mesmo junto ao seu superior, levando em consideração a relação com o negócio e seu aperfeiçoamento pessoal. Existe também nesta empresa B uma diretriz para que todo funcionário tenha no mínimo 40

horas de treinamento ao ano, sendo 30 horas relacionadas ao negócio e 10 horas para o desenvolvimento pessoal. Um objetivo para 2001 é que 30% dessas horas sejam feitas por meio de treinamento alternativo, tais como pela Internet ou CD-ROM. É importante destacar que os cursos são desenvolvidos de acordo com a estratégia da empresa. Tais cursos são dados por instrutores internos (das filiais ou da matriz) e externos. Atualmente a filial brasileira conta com um catálogo de 320 cursos, todos os quais tiveram seu desenvolvimento supervisionado por três gerentes da universidade corporativa, responsáveis pelas áreas de tecnologia, manufatura e liderança, respectivamente.

A empresa C realiza um mapeamento de competências por função organizacional, auxiliada por um *software* de integração (ERP), conforme as competências estratégicas da organização. Este mapeamento gera as necessidades de treinamento estabelecidas nos planos de desenvolvimento pessoais, de acordo com uma análise de *gap* das competências atuais dos profissionais e das desejadas. Vale ressaltar que este processo de planejamento do desenvolvimento pessoal é interativo entre os profissionais e seus supervisores. O entrevistado também salientou a agilidade e flexibilidade proporcionada pelo *software* de integração, o qual possibilita a atualização do mapeamento das competências por cargo funcional. Ainda como elementos de seu programa de educação corporativa para o PDP, a empresa C considera as práticas de aprendizagem organizacional, as ações de implementação da organização que aprende, a prática da gestão do conhecimento, cursos tradicionais e cursos de educação a distância.

#### □ Etapas do Processo de Implementação do Programa

Como duas empresas estudadas (A e B) receberam as diretrizes de implementação dos programas de educação corporativa para o PDP de suas matrizes, o processo de adaptação delas foi similar. Somente a empresa C teve um processo de implementação mais diferenciado.

A empresa A seguiu os passos descritos anteriormente para a adaptação do programa educacional da matriz. Ou seja, com o formato do programa definido, bastou fazer o mapeamento das competências essenciais da filial brasileira (as quais são praticamente as mesmas da matriz) e, conseqüentemente, o mapeamento das competências das áreas que abrangiam o PDP. A partir de então se procedeu a análise de *gap* das pessoas quanto ao desempenho esperado delas. De acordo com esta análise, elaboram-se os planos de desenvolvimento pessoais, os quais fornecem a demanda de cursos para o departamento de recursos humanos, responsável por viabilizar o programa de educação corporativa.

A empresa B também recebeu as diretrizes de implementação da matriz. O programa educacional iniciou-se com um departamento de Educação e Documentação Técnica, que em 1997 passou a ser denominado de universidade corporativa. As etapas de implementação seguiram os elementos descritos anteriormente. Vale ressaltar que foi implementado também um sistema de inscrições *on-line* e um departamento chamado de *Global Transaction Center* encarregado de auxiliar a universidade corporativa em termos de divulgação de calendário de cursos e de suporte para logística de instrutores, materiais e salas; no Brasil sete pessoas trabalham neste departamento que está interligado com as outras filiais mundiais.

Na empresa C, o processo de implementação iniciou-se em 1999 por meio de um *workshop* de diagnóstico dos indicadores de aprendizagem organizacional da empresa, auxiliado por duas consultorias nacionais. Este diagnóstico identificou como principais indicadores a serem trabalhados o armazenamento e disseminação do conhecimento e as questões do pensamento sistêmico e do tratamento do erro. A partir disto, uma série de ações foram sendo planejadas e implementadas para trabalhar estes indicadores. O primeiro a ser desenvolvido foi a questão do pensamento sistêmico, por meio de: treinamentos sobre o conceito geral de aprendizagem organizacional para gerentes, supervisores e mensalistas (70 horas para 320 profissionais); divulgação do programa e dos conceitos na mídia interna (painéis de comunicação, revistas, vídeo-jornal); treinamentos sobre simuladores e desenvolvimento de projetos (40 horas para 220 profissionais); jogos de simulação do conceito de pensamento sistêmico (8 horas para 340 profissionais) e um *workshop* para conhecer a aprendizagem organizacional, com peça teatral, dinâmicas e livro<sup>1</sup> (abrangeu todos os 2500 funcionários da empresa C, por 3 horas). Vale ressaltar que os treinamentos anteriores visavam também capacitar *experts* para, posteriormente, disseminarem o conceito de pensamento sistêmico (Meister, 1998). Paralelamente, a estas ações, o *software* de integração de recursos humanos foi implementado e foi realizado o conseqüente mapeamento das competências dos profissionais, gerando as necessidades de treinamento, que eram desenvolvidas internamente (principalmente as competências essenciais da empresa C) ou externamente (a empresa C apresenta projetos de cooperação para capacitação profissional com duas universidades brasileiras, uma inclusive com um projeto de educação a distância).

Outro ponto importante a se destacado é que nas três empresas estudadas, foram implementados primeiramente iniciativas educacionais para atender às demandas de capacitação mais urgentes.

#### □ Estágio Atual do Processo de Implementação

Todas as empresas estudadas apresentam seus programas educacionais para o PDP totalmente implementados. Porém, em todas elas, iniciativas de melhoria e aperfeiçoamento estão em fase de planejamento ou testes.

Na empresa A, por exemplo, iniciativas de educação a distância estão sendo desenvolvidas em parceria com fornecedores do setor, a fim de auxiliar e melhorar o aprendizado dos profissionais, em termos não só de suporte multimídia ao processo educacional, como também proporcionando “educação a qualquer hora e qualquer lugar”.

A empresa B também vem desenvolvendo iniciativas de educação a distância e em 2001 já pretende testá-las, conforme diretriz anteriormente citada. Atividades de gestão do conhecimento também estão sendo incentivadas e planejadas, tais como formalização de comunidades de prática e transformação do conhecimento tácito em explícito

<sup>1</sup> Todos os funcionários receberam uma cópia do livro: Aprendendo Além dos Lobos – Sobrevivendo e Prosperando na Organização que Aprende. David Hutchens, Editora Best Seller, 1999.

para posterior disseminação, por meio de depoimentos gravados de especialistas e disponibilizados na intranet da empresa. Outra prática atrelada a esta iniciativa é o desenvolvimento de especialistas internos da empresa para transmissão e sedimentação de conhecimentos.

A empresa C, por sua vez, também apresenta projetos de educação a distância, tais como cursos baseados em computador (um deles está sendo desenvolvido para aperfeiçoar os conhecimentos disseminados no *workshop* sobre aprendizagem organizacional para todos os funcionários) e cursos de capacitação profissional em cooperação com uma universidade brasileira. Outro ponto interessante são os treinamentos auto-instrutivos, por meio dos centros técnicos operacionais (áreas de treinamentos na fábrica), que são desenvolvidos desde 1987. Para melhorar o programa de educação corporativa para o PDP da empresa C, ou seja, para manter a empresa C como uma organização que aprende, outras ações estão sendo planejadas e realizadas, por exemplo: ações para o armazenamento e disseminação do conhecimento (conhecimento tácito em explícito), não só em termos de uma base de dados na intranet da empresa, mas principalmente, em termos de metodologias de como compartilhar conhecimentos de forma agradável e contínua no dia a dia; práticas de aprendizagem organizacional, como reuniões periódicas para trocas de experiências e discussão de problemas; abordagens para tratamento do erro; desenvolvimento de currículos para certificação individual dos empregados e treinamentos para fornecedores e parceiros.

#### □ Avaliação dos Resultados

As empresas estudadas apresentam avaliações tradicionais dos cursos de seus programas educacionais, entretanto, todas as três estão buscando novas formas de avaliação para serem atreladas aos indicadores do negócio.

O entrevistado da empresa A reportou, segundo sua experiência como diretor de recursos humanos da América Latina, que o programa de educação corporativa traz flexibilidade frente às mudanças estratégicas da empresa no mercado, como as fusões que a empresa passou, devido à mobilidade que proporciona aos profissionais, por meio de sua constante e atualizada capacitação. O entrevistado também relatou que os funcionários se sentem mais considerados e motivados frente ao caráter de desenvolvimento pessoal do programa. Todavia, não existem ainda avaliações formalizadas desses aspectos.

Na empresa B, existem avaliações tradicionais sobre os cursos. Atualmente a universidade corporativa, juntamente com os diretores das áreas funcionais trabalham no desafio de como avaliar a utilização dos conhecimentos transmitidos nos cursos. É importante destacar que a empresa B é considerada por especialistas da área de educação corporativa como um modelo de universidade corporativa (Eboli, 1999).

A empresa C, assim como as demais, apresenta avaliações tradicionais sobre os cursos de capacitação e, também, está trabalhando para desenvolver mecanismos para analisar a efetividade da ação educacional em relação a seus objetivos e ao negócio da empresa. Contudo, as percepções informais e relatos dos funcionários, segundo o entrevistado, descrevem reações extremamente positivas de entusiasmo, confiança e motivação dos colaboradores da empresa C.

#### □ Comentários Adicionais

Para financiar o programa de educação corporativa para seu PDP, a empresa A utiliza recursos provenientes do departamento de recursos humanos e também dos outros departamentos, conforme a demanda desses por cursos para seus funcionários. Na empresa A, a gestão do conhecimento é tratada separadamente do programa educacional. Entretanto, a empresa considera que ambos podem se complementar mutuamente. Não existe, também, na empresa A um local definido para o programa educacional, os cursos podem ser realizados internamente ou mesmo em espaços fora da empresa.

A empresa B, pelo contrário, possui uma área dedicada exclusivamente às atividades de educação e treinamento dentro da empresa, o denominado “campus corporativo”. São nove salas de aula completamente equipadas com recursos audiovisuais, salas de apoio e laboratório dotado dos mais avançados equipamentos para ensaios e testes. A universidade corporativa da empresa B também é considerada como um negócio, provendo soluções, serviços e suporte global em educação, não só para a própria empresa, mas também para seus parceiros e clientes. Tal abordagem muitas vezes influencia a venda de propostas aos clientes, que se sentem mais seguros quando compram um equipamento e tem a sua disposição toda uma infra-estrutura para treinamento.

A empresa C também apresenta uma área exclusiva para seu programa de educação corporativa, o Centro de Desenvolvimento de Recursos Humanos (CDRH). O CDRH foi inaugurado em julho de 1999, englobando uma ampla área equipada com tecnologia para educação a distância: estações individuais para acesso a Internet, intranet da empresa, videoconferência e CD-ROMs, além de um auditório, salas de aula para o curso supletivo, biblioteca e escritórios para os profissionais ligados ao Desenvolvimento de Recursos Humanos, Comunicação Interna e Recrutamento e Seleção da empresa. O financiamento geral do CDRH é proveniente do orçamento da empresa C, porém seus departamentos suprem com recursos conforme suas específicas necessidades de treinamento. A empresa C tem, no entanto, a intenção de utilizar o CDRH como outra fonte de negócio no futuro.

Todas as três empresas (A, B e C) apresentam parcerias acadêmicas relacionadas aos seus programas de educação corporativa para o PDP. Entretanto, em cada empresa o grau de relacionamento e objetivos varia. Por exemplo, na empresa A, uma das parcerias desenvolveu um conjunto de cursos customizado para as necessidades específicas da empresa. A empresa B também apresenta uma parceria como a da empresa A, no entanto, possui outro tipo de aliança acadêmica, onde trabalha cooperativamente com uma universidade no desenvolvimento de currículos que atendam às suas necessidades de força de trabalho. A empresa C também trabalha em conjunto com instituições de ensino não só de sua região, a fim de desenvolver cursos e currículos para atender suas necessidades de capacitação. Vale ressaltar que a empresa C tem implementado há mais de 10 anos um programa supletivo para seus funcionários.

Outro ponto interessante notado nos estudos de caso das três empresas, é o apoio dado pela alta gerência aos programas de educação corporativa para o PDP. Nas três empresas os diretores de recursos humanos e responsáveis pelos programas fazem parte dos comitês executivos de suas empresas, mostrando a importância dada pelas empresas aos seus capitais intelectuais, conforme estabelece Fleury & Fleury (2000).

É importante destacar, que em nenhuma das três empresas estudadas existe um curso ou treinamento de integração do PDP. Os profissionais têm seus planos de capacitação personalizados, o que os leva, na maioria das vezes à especialização, excetuando-se os casos que procuram um desenvolvimento profissional mais generalista. Mas nestes casos, a iniciativa parte dos profissionais e não do programa de educação corporativa. Ou seja, determinam-se competências requeridas pelos profissionais de acordo com o direcionamento estratégico da empresa, desenvolvendo-as posteriormente conforme a especialidade do profissional. Porém, os profissionais não conseguem adquirir uma visão integrada dessas competências no PDP, por meio desses programas. A empresa B, por exemplo, mantém um curso de introdução à empresa e à área funcional, entretanto, o curso é bem genérico, não abrangendo todo o PDP e suas competências requeridas. Mesmo assim, é um dos cursos com melhor avaliação pelos alunos, o que pode demonstrar a importância dada a uma visão integrada de um processo.

## 5. Considerações Finais

A proliferação dos programas de educação corporativa tem sido a resposta estratégica das empresas bem sucedidas que estão competindo pelo futuro por meio do desenvolvimento contínuo e retenção de seus talentos internos e externos.

Este artigo descreveu uma caracterização desses programas para o específico PDP e três estudos de caso de empresas que já implementaram programas para seus PDP. A análise desses casos apresenta uma série de considerações interessantes quanto ao processo de qualificação profissional, tais como:

- é necessário construir um programa educacional que proporcionem ao profissional não só a especialização nos conhecimentos, como também uma visão holística e integrada do processo de negócio em questão;
- é preciso desenvolver e incentivar novas formas de aprendizagem (educação a distância e gestão do conhecimento);
- o processo de capacitação se torna mais eficaz quando customizado para as necessidades e características da empresa (no caso relacionado às especificidades do PDP – Tabela 1) e considerado como parte da estratégia do negócio.

## 6. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a colaboração das empresas participantes dos estudos de caso.

## 7. Referências

- Brown, S. L.; Eisenhardt, K. M. , 1995, Product Development: Past Research, Present Findings, and Future Directions. *Academy of Management Review*, v.20, n.2, p.344-378.
- Clark, K.B., Fujimoto, T. , 1991, *Product Development Performance: Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry*. Boston-Mass.: Harvard Business School Press.
- Eboli, M., 1999, *Universidades Corporativas: Educação para as Empresas do Século XXI*. São Paulo, Schmukler Editores.
- Exame , 2000, *As 100 Melhores Empresas para Você Trabalhar*. Parte Integrante das Revistas Exame 721 e Você s.a. 26. São Paulo, Editora Abril.
- Eversheim, V. & Schernikau, J., 1999, *Product Development and Manufacturing for Mechatronic Production Systems*. Second International IMS – Workshop, Leuven, Belgium.
- Fleury, A.; Fleury, M. T., 2000, *Estratégias Empresariais e Formação de Competências*. São Paulo, SP, Editora Atlas.
- Guia de Boa Cidadania Corporativa, 2000, Parte Integrante da Edição 728 da Revista Exame, São Paulo, Editora Abril.
- Meister, J. C., 1998, *Corporate Universities: Lessons in Building a World-Class Work Force*. ASTD, McGraw-Hill.
- Rozenfeld, H.; Amaral, D.C. ,1999, Proposta de uma Tipologia de Processos de Desenvolvimento de Produto Visando a Construção de Modelos de Referência. In: Congresso Brasileiro de Gestão do Desenvolvimento De Produtos, 1., Belo Horizonte, 1999. Anais.
- Tobin, D. R., 1998, *The Knowledge-Enabled Organization: Moving from Training to Learning to Meet Business Goals*. New York, Amacom.
- Ulrich, D. , 2000, *Recursos Humanos Estratégicos*. São Paulo, SP, Futura.
- Wheelright, S.C; Clark, K.B., 1992, *Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality*. New York : The Free Press., 364p.

# Characterization of Corporate Education Programs for the Product Development Process

**Msc. Ana Paula Freitas Mundim**

Amundim@sc.usp.br

**Prof. Tit. Henrique Rozenfeld**

Roz@sc.usp.br

Escola de Engenharia de São Carlos – USP

Av. Trabalhador São-carlense, 400

São Carlos – SP

13566 590 - Brazil

## **Abstract**

*The competitive advantage of a manufacture enterprise in a global economy is directed related to its capacity to introduce new products in the market, guaranteeing technological actualised product lines, with characteristics of quality, cost and time according to actual clients exigency. However, the multidisciplinary task of product development requires deep knowledge of various engineering areas, management notion, systemic and integrated vision of the business and social capacity. A key world to realise this task is integration. In this context, a great difficult of the integrated management of product development is the existence of few professionals capacitated to act efficiently in this business process, characterises as multifunctional. That is it, professionals who have a whole and integrated vision of this process. In order to try to solve this problem, some enterprises are designing corporate education actions and programs to not only capacitate their collaborators in new concepts or techniques, but also to work out all the competencies required for the collaborators integrated performance in the product development process. This paper is intended to provide an characterisation of corporate education programs in the product development process, based not only on a vast revision of literature, but also based on some case studies at enterprises who have already some education program implemented at this process.*

**Keywords:** *product development process, corporate education, professional qualification, case studies.*

## UMA METODOLOGIA PARA A FABRICAÇÃO DE PEÇAS À DISTÂNCIA

**João Carlos Espíndola Ferreira**

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica  
GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC - E-mail: jcarlos@emc.ufsc.br

**Gabriel Fernando Andriolli**

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica  
GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC - E-mail: gabriolli@bol.com.br

**Resumo.** A globalização tem causado um aumento significativo na competição entre as empresas; porém em contrapartida ela também permite a cooperação entre empresas, mesmo que estejam geograficamente distantes umas das outras. Uma área de pesquisa decorrente dessa aproximação virtual é a fabricação de peças à distância, situação esta composta pelos seguintes atores: um cliente remoto que introduz as encomendas; uma empresa (chamada aqui de empresa modeladora) responsável pelo desenvolvimento de um sistema computacional para o planejamento das operações a serem executadas sobre as peças encomendadas; e uma outra empresa onde a fabricação propriamente dita será efetuada. Deve-se mencionar que estes três atores poderão estar localizados em qualquer lugar do mundo. No presente artigo será descrita uma metodologia para a execução da fabricação de peças à distância, que inclui as seguintes atividades: introdução da encomenda pelo cliente remoto; planejamento das operações de fabricação da encomenda; geração dos programas de comando numérico para a fabricação das peças; envio das informações para a empresa executora da fabricação; fabricação propriamente dita das peças.

**Palavras chave:** Fabricação à distância, Peças Industriais, Internet, Globalização, Planejamento de Processos

### 1. Introdução

Há vários anos as empresas de manufatura em todo o mundo têm atuado num ambiente bastante competitivo, em que produtos de qualidade equivalente ou até melhor, com bons preços, têm concorrido pela conquista do mercado consumidor. Ao mesmo tempo, esta competição causada pela globalização tem levado empresas a buscar cooperações com outras empresas para manterem-se competitivas neste mercado.

Um fator que tem acelerado ainda mais a globalização é a Internet, através da qual o consumidor pode vender/comprar produtos sem sair de sua casa ou local de trabalho (ver por exemplo Saturn 2000 e Nissan 2001). E via de regra os preços em sites da Internet são mais reduzidos do que em lojas reais.

Uma vez que a Internet permite a aproximação virtual entre pessoas/empresas localizadas geograficamente distantes entre si, ela pode também ser utilizada como tecnologia para permitir a fabricação de peças à distância. Este tipo de fabricação é motivado pelo fato do cliente não necessariamente possuir os equipamentos e acessórios para a fabricação do produto. Do ponto de vista da empresa que executa a manufatura, ela ao mesmo tempo em que entra diretamente em contato com o cliente, ao responder prontamente à solicitação quanto à qualidade do produto e tempo de entrega, ela pode assim não somente manter o seu nicho de mercado, mas também aumentá-lo.

Neste artigo propõe-se uma metodologia para a fabricação de peças à distância, que inclui as seguintes atividades: introdução da encomenda pelo cliente remoto; planejamento das operações de fabricação da encomenda; geração dos programas de comando numérico para a fabricação das peças; envio das informações para a empresa executora da fabricação; fabricação propriamente dita das peças.

Uma descrição desta metodologia é feita nos próximos itens.

### 2. Participantes do Procedimento de Fabricação à Distância

Propõe-se nesta metodologia a participação de três atores, que são os seguintes:

- Um cliente remoto que introduz as encomendas;
- Uma empresa, chamada aqui de "empresa modeladora", que é responsável pelo desenvolvimento de um sistema computacional para o planejamento das operações a serem executadas sobre as peças encomendadas;
- Uma empresa onde será executada a manufatura propriamente dita.

A Fig. 1 ilustra os participantes da metodologia proposta, os quais podem estar localizados em qualquer lugar do mundo. Deve-se perceber na Fig. 1 que existe troca de informações entre o cliente remoto e a empresa modeladora, e também entre esta e a empresa de manufatura. O produto final (ou subconjunto) é enviado diretamente da empresa de manufatura para o cliente.



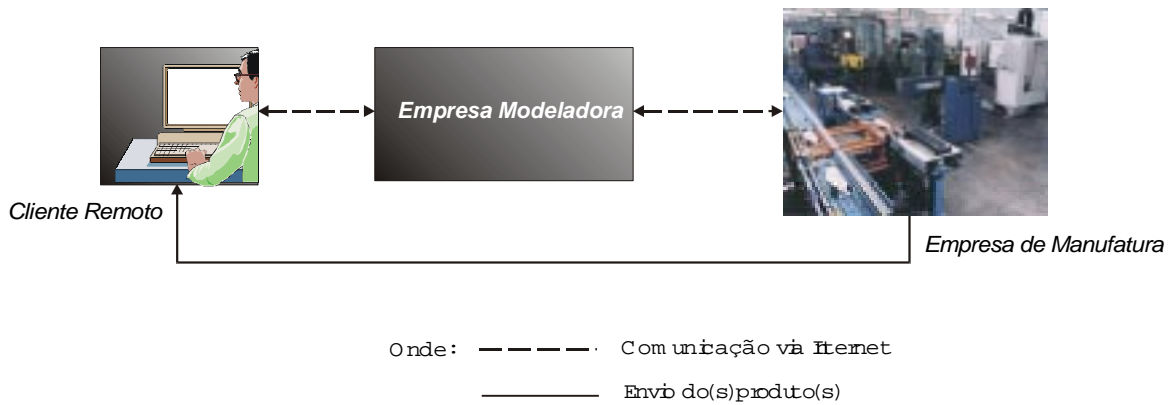


Figura 1. Os atores participantes da metodologia de fabricação à distância

Um detalhamento das atividades de cada um dos participantes desta metodologia é feito nos próximos itens.

### 3. Atividades Efetuadas pelo Cliente Remoto

O cliente efetua basicamente as seguintes atividades, nesta seqüência:

- Ele entra no site da empresa modeladora.
- Caso ele não esteja cadastrado no banco de dados da empresa modeladora, ele cadastra os seus dados no site. Estes dados incluem: nome, sobrenome, endereço, CEP, cidade, país, telefone, fax, e-mail, login e senha. Caso ele já esteja cadastrado, ele deverá introduzir o login e a senha (ver Fig. 2).



Figura 2. Janela para a entrada de dados pelo cliente, desenvolvida usando-se HTML e Java (Sun Microsystems, 2000)

- Ele poderá então efetuar a encomenda, que poderá ser de dois tipos:
  - \* Ele poderá encomendar uma peça que já é fabricada pela empresa de manufatura. Estas peças serão mostradas para o cliente através de um visualizador em 3D (alguns visualizadores podem ser encontrados em Web3D, 2001). Caso o cliente desejar saber mais detalhes a respeito de cada peça, uma tabela contendo detalhes da peça será mostrada para ele (por exemplo, diâmetro, profundidade e tolerâncias de um furo na peça).
  - \* O cliente poderá introduzir uma peça nova. Nesse caso o módulo de projeto de peças baseado em "features"<sup>1</sup> é disponibilizado para o cliente. Este módulo pode assemelhar-se ao sistema WebCAD desenvolvido no projeto Cybercut da University of California, Berkeley (Ahn et al., 2000; Cybercut, 2000). Após a conclusão do projeto da peça, os dados são gravados num banco de dados relacional que contém as informações sobre a peça.

<sup>1</sup> Como exemplo de "features" tem-se: furo, ranhura, cavidade, etc.

Recomenda-se que o módulo de CAD permita que o cliente introduza uma encomenda que possa ser fabricada no sistema flexível de manufatura da empresa de manufatura.

- Ele introduz a quantidade de peças a serem fabricadas.

Após a entrada dos dados acima, o cliente recebe a informação de que sua encomenda está sendo considerada para a fabricação. A empresa modeladora passa então à fase de tomada de decisões referentes à manufatura da encomenda solicitada.

### 3. Atividades Efetuadas pela Empresa Modeladora

As atividades efetuadas pela empresa modeladora são mostradas na Fig. 3. Neste trabalho considera-se que esta empresa é separada da empresa de manufatura. Exemplos de empresas que podem efetuar estas atividades incluem uma empresa de consultoria em software, ou então uma instituição acadêmica com experiência nestas atividades.

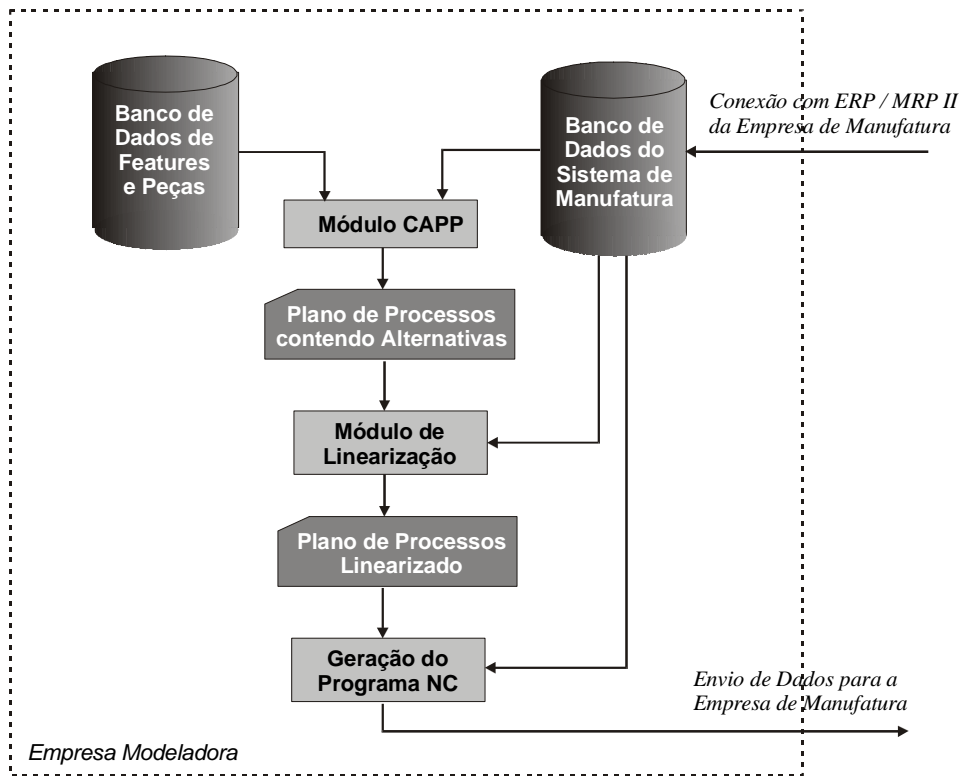


Figura 3. Atividades efetuadas pela empresa modeladora

Após a entrada da encomenda pelo cliente remoto, as informações sobre as peças que devem ser fabricadas estão disponíveis no banco de dados de "features" e peças.

O banco de dados do sistema de manufatura contém as seguintes informações: as operações de manufatura, as máquinas e suas características, as ferramentas de corte e os dispositivos de fixação. É importante que o banco de dados contenha informações sobre a agenda das máquinas, para que a tomada de decisões seja feita considerando a disponibilidade efetiva da máquina. Para isso, recomenda-se a presença de uma conexão com o sistema ERP/MRP II da empresa de manufatura.

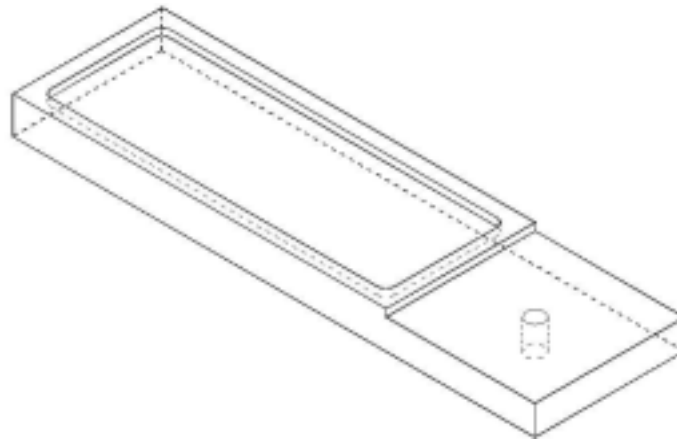
O módulo de CAPP (Planejamento de Processos Assistido por Computador) é um elemento importante na empresa modeladora, o qual é o responsável pela geração do plano de processos contendo alternativas. Dentre as alternativas consideradas neste trabalho tem-se as operações, as máquinas-ferramenta e as ferramentas de corte.

Tradicionalmente as decisões sobre planos de processo para a fabricação de peças são tomadas sem considerar aspectos dinâmicos do chão de fábrica, e desta forma introduz-se restrições artificiais que poderão dificultar a fase de agendamento. Algumas situações que podem ocorrer no chão de fábrica que podem atrasar a fabricação são: indisponibilidade da máquina por estar ocupada fabricando outro lote, ou então por estar quebrada ou em manutenção; pode ser também que uma ou mais ferramentas estejam indisponíveis. Para evitar estes problemas, pode-se atrasar a determinação do plano de processos final, isto é, as possíveis alternativas neste caso não são descartadas, e sim consideradas até o momento da efetiva fabricação do lote no chão de fábrica. Alguns trabalhos foram desenvolvidos no passado que consideraram a presença de alternativas em planos de processos, dentre os quais incluem-se: Wilhelm e Shin (1985), Kruth e Detand (1992); Xirouchakis et al. (1999) e Ferreira e Wysk (2001).

Um fator importante em pesquisas para a geração de planos de processo contendo alternativas é a forma de representação destes planos de processo. Alguns métodos para representar-se planos de processo contendo alternativas são os seguintes:

- Petri-nets (Wilhelm e Shin, 1985; Kruth e Detand, 1992);
- Grafos E/OU (Cho et al., 1994; Ferreira et al., 2001);
- Estruturas de árvore (Shapiro, 1992);
- Grafos direcionados (Catron e Ray, 1991; Schneider e Bruell, 1992);
- Matrizes (Halevi, 1999).

Uma análise detalhada de representações existentes de planos de processos é dada em (Knutilla et al., 1992). No presente trabalho propõe-se a utilização de matrizes para a representação de planos de processos, e um exemplo é dado na Fig. 4.



(a)

Matrizes de Halevi

Universal Máquinas Tempo Custos Resultados

No. Op.	Operação	Prec.	Diâm. Ferramenta (mm)	Compr. (mm)	Profund. (mm)	Avanço (mm/rev)	Velocidade (m/min)	Potência (KW)	Tempo (min)
10	Fresamento (desbaste)	0	125	378	4.4	808	100	20	0.47
20	Fresamento (desbaste)	10	125	128	4.6	755	100	20	0.17
30	Fresamento (semi-acab.)	20	125	278	0.4	905	148	2.2	0.31
40	Fresamento (acab.)	30	125	378	0.2	200	185	0.39	1.89
50	Fresamento de cavidade (desb.)	10	80	130	4.0	1093	102	20.6	0.24
60	Fresamento de cavidade (acab.)	50	12	472	0.4	120	24	0.33	4.16
70	Furação de centro	20	3	3	-	0.05 (mm/rev)	14	0.025	0.03
80	Furação c/broca helic.	70	7	21	-	0.16 (mm/rev)	15.7	0.3	0.22
90	Alargamento (desb.)	80	12	21	-	0.19 (mm/rev)	23.5	0.5	0.20

(b)

Figura 4. (a) Uma peça e (b) o plano de processos contendo alternativas para a sua fabricação (Halevi, 1999)

Para a geração dos planos de processo contendo alternativas, propõe-se a aplicação do método de Halevi (1999), que é composto pelos seguintes passos:

- Deve-se gerar inicialmente a matriz universal de operações, onde operações são selecionadas sem considerar máquinas específicas. Um exemplo dessa matriz foi dado na Fig. 4.
- Determina-se então as matrizes de custos e tempos, já considerando as máquinas disponíveis, sendo que as informações referentes às máquinas são mostradas na Fig. 5. Considera-se que, no caso de movimentação da peça de uma máquina para outra, os tempos de movimentação e fixação na outra máquina são incluídos no cálculo dos tempos (e custos) totais. Detalhes desse procedimento encontram-se em Halevi (1999). Um exemplo de matriz de custos é dado na Fig. 6.

The screenshot shows a window titled 'Matrizes de Halevi' with tabs for 'Universal', 'Máquinas', 'Tempo', 'Custos', and 'Resultados'. The 'Máquinas' tab is active, displaying a table with the following data:

No.	Descrição	Potência (kW)	Rotação (rpm)	Tempo de Manuseio (minutos)	Custo Relativo (R\$/minutos)
1	Fresadora CNC	14.9	7500	0.30	4.0
2	Fresadora CNC	14.9	7500	0.25	3
3	Fresadora CNC	14.9	7500	0.20	1.4
4	Tomo CNC	15.0	4000	0.15	1
5	Tomo CNC	15.0	4000	0.25	1
6	Tomo CNC	15.1	4100	0.20	2

Figura 5. Informações referentes às máquinas presentes no sistema de manufatura

The screenshot shows the 'Custos' tab in the 'Matrizes de Halevi' software. It displays a cost matrix for various operations across six machines. The data is as follows:

Op.	TP	Prec.	Máq. #1	Máq. #2	Máq. #3	Máq. #4	Máq. #5	Máq. #6
010	0.47	0	2.28	1.86	1.79	999	1.62	2.36
020	0.17	010	1.08	0.96	1.23	999	1.22	1.18
030	0.31	020	1.64	1.38	1.36	999	999	1.16
040	1.89	030	7.96	6.12	2.57	999	999	4.28
050	0.24	010	1.36	1.17	1.39	999	0.74	1.48
060	4.16	050	17.04	12.93	6.75	999	999	8.82
070	0.03	020	0.52	0.54	0.97	.69	1.03	0.56
080	0.22	070	1.28	1.11	1.24	.88	1.22	0.94
090	0.20	080	1.2	1.05	1.20	.86	999	0.90
Total	7.69		34.36	27.12	19.50			21.64

Figura 6. Exemplo de matriz de custos para a fabricação de uma peça num determinado sistema de manufatura

A matriz de custos contém as operações possíveis de serem executadas no sistema de manufatura em questão. Porém, é necessário que máquinas e operações específicas sejam selecionadas. Este procedimento é efetuado pelo módulo de linearização, no qual é aplicado um método em que linhas da matriz são alteradas considerando-se o custo de execução das operações nas máquinas, e a precedência entre as operações (Halevi, 1999).

Entretanto, o método de linearização proposto por Halevi presume que os equipamentos e recursos estarão disponíveis no momento da linearização, o que pode não corresponder à realidade (p.ex. uma máquina considerada adequada pode estar ocupada fabricando outro lote). Como mencionado anteriormente, nesta proposta as informações sobre a disponibilidade dos recursos são obtidas via Internet diretamente do sistema de manufatura real. No caso de indisponibilidade de alguma máquina, o método de linearização considera automaticamente uma máquina alternativa. Um exemplo de matriz linearizada é mostrado na Fig. 7.

De posse do plano de processos linearizado, as informações neste plano, que correspondem a operações, máquinas e ferramentas, são enviadas para a empresa de manufatura. Caso no sistema de manufatura haja máquinas de comando numérico computadorizado (CNC), propõe-se a geração do programa NC para estas máquinas pela própria empresa modeladora. Para isso, serão necessárias as seguintes informações: (i) a operação; (ii) a máquina; (iii) a ferramenta; (iv) a "feature"; (v) as condições de usinagem. Desta forma, conhecendo-se o código "G" da máquina específica para a execução daquela operação, pode-se utilizar uma "máscara" cujas variáveis serão instanciadas com os valores correspondentes a cada operação. Abaixo ilustra-se uma máscara para uma operação de furação na máquina Fadal VMC-20:

```
G00 X <x> Y <y> H0 M6 T <ferramenta>
H <offset da ferramenta > Z <z + 0.10>
Z <z + 0.10>
G01 Z <z - profundidade> S <rpm> F <avanço> M3 M8
G00 Z <z + 0.10>
Z <z + 0.10> M5
```

The screenshot shows a software window titled "Matrizes de Halevi" with a menu bar containing "Universal", "Máquinas", "Tempo", "Custos", and "Resultados". The main content area displays a table with the following data:

Operação		Máquina	Custo	Tempo
nova	anterior			
010	010	4	1.62	1.62
020	020;070	2	2.13	0.71
030	030;080;090	1	3.52	1.76
040	040-060	3	10.32	7.37
Total			17.59	11.46
Penalties			4 x 0.2	4 x 0.03
Total			18.39	11.58

Figura 7. Matriz linearizada, onde percebe-se a seqüência de operações, as respectivas máquinas selecionadas e os custos e tempos de fabricação

O programa NC para a fabricação de uma peça numa máquina é obtido pela combinação seqüencial dos trechos de programa para cada operação no plano de processos linearizado. O mesmo procedimento seria aplicado para a usinagem nas outras máquinas presentes no mesmo sistema de manufatura.

#### 4. Atividades Efetuadas pela Empresa Modeladora

Esta empresa, após receber as informações advindas da empresa modeladora a respeito das encomendas do cliente, procede na execução da manufatura propriamente dita. Após a manufatura dos lotes, as peças fabricadas serão enviadas diretamente para o cliente.

#### 5. Implementação da Metodologia

A metodologia proposta está em fase de implementação, e estão sendo utilizadas as seguintes ferramentas de desenvolvimento:

- Linguagem Java (Sun Microsystems, 2000);
- Páginas em HTML;
- Banco de dados MySQL (MySQL AB, 2000).

O laboratório GRIMA/GRUCON da Universidade Federal de Santa Catarina representa a Empresa Modeladora, enquanto que a Empresa de Manufatura neste desenvolvimento é representada pelo CIMLab da Pennsylvania State University, nos EUA.

#### 6. Conclusões

Foi apresentada neste artigo uma metodologia para a fabricação de peças à distância. A Internet é utilizada para a comunicação entre alguns módulos do sistema proposto.

O plano de processos, que contém informações importantes para a fabricação dos lotes de peças, é considerado como contendo alternativas para fabricação. Desta forma, facilita-se o agendamento dos recursos de manufatura, no caso de situações como a indisponibilidade de máquinas ou ferramentas.

Nesta proposta considera-se a presença de três atores, isto é, o cliente remoto, a empresa modeladora e a empresa de manufatura. Assume-se que a empresa modeladora é separada da empresa de manufatura, e neste caso pressupõe-se que haja uma grande confiança entre estas empresas, pois a primeira deverá saber detalhes sobre o sistema de manufatura da segunda, e isto poderá incluir informações confidenciais. Apesar deste nível de confiança ser difícil de ser atingido, acredita-se que num ambiente competitivo do mercado globalizado atual, a busca por cooperações como esta será comum, principalmente quando a empresa de manufatura: (i) não tiver experiência sobre a aplicação de planos de processo contendo alternativas; (ii) desejar ter um contato mais direto com o cliente.

Entretanto, deve-se mencionar que esta proposta não impede que a empresa modeladora faça parte da empresa de manufatura, e que ambas estejam no mesmo local geográfico. Neste caso o procedimento proposto será mais simples, porém será necessário que a empresa de manufatura seja capacitada para a implementação dos módulos propostos.

## 7. Agradecimentos

Ambos os autores agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro a este trabalho de pesquisa.

## 8. Referências

- Ahn, S. H., Sequin, C. S. e Wright, P. K., 2000, "Internet-Based Design and Manufacturing", Final Report 1998-1999 for MICRO Project 98-136.
- Catron, B.A. e Ray, S.R., 1991, "ALPS: A Language for Process Specification", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 4, No. 2, pp. 105-113
- Cho, H., Derebail, A., Hale, T. e Wysk, R.A., 1994, "A Formal Approach to Integrating Computer-Aided Process Planning and Shop Floor Control", Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Industry, Vol. 116, pp. 108-116
- Cybercut, 2000, "Cybercut Project", [http://cybercut.berkeley.edu/html/design/webcad\\_user.htm](http://cybercut.berkeley.edu/html/design/webcad_user.htm)
- Ferreira, J.C.E. e Wysk, R.A., 2001, "An Investigation of the Influence of Alternative Process Plans on Equipment Control", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 19, No. 6, pp 393-406
- Ferreira, J.C.E., Steele, J., Wysk, R.A. e Pasi, D.A., 2001, "A Schema for Flexible Equipment Control in Manufacturing Systems", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Londres
- Halevi, G., 1999, "Restructuring the Manufacturing Process: Applying the Matrix Method", St. Lucie Press
- Knutilla, A., Schlenoff, C., Ray, S., Polyak, S.T., Tate, A., Cheah, S.C. e Anderson, R.C., 1998, "Process Specification Language: an Analysis of Existing Representations", National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6160
- Kruth, J.P. e Detand, J., 1992, "A CAPP System for Nonlinear Process Plans", Annals of the CIRP, Vol. 41, No. 1, pp 489-492
- MySQL AB, 2000, "MySQL", <http://www.mysql.com>
- Nissan, 2001, "California Nissan Dealers", <http://www.enissan.com>
- Saturn, 2000, "Saturn Cars", <http://www.saturncars.com>
- Schneider, G.M. e Bruell, S.C., 1992, "Concepts in Data Structures and Software Development", West Publishing Co.
- Shapiro, S.C., 1992, "Encyclopedia of Artificial Intelligence", John Wiley & Sons, 2<sup>nd</sup> Edition
- Sun Microsystems, 2000, "The Source for Java™ Technology", <http://java.sun.com>
- Web3D, 2001, "The Web3D Repository", <http://www.web3d.org/vrml/browpi.htm>
- Wilhelm, W.E. e Shin, H.-M., 1985, "Effectiveness of Alternate Operations in a Flexible Manufacturing System", International Journal of Production Research, Vol. 23, No. 1, pp 65-79
- Xirouchakis, P., Kiritsis, D. e Persson, J.-G., 1998, "A Petrinet Technique for Process Planning Cost Estimation", Annals of the CIRP, Vol. 47, No. 1, pp 427-430

## A METHODOLOGY FOR REMOTE MANUFACTURE OF MECHANICAL PARTS

**João Carlos Espíndola Ferreira e Gabriel Fernando Andrioli**

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica

GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC - E-mail: jcarlos@emc.ufsc.br

**Abstract.** *Globalization has caused a significant increase in the competition between companies. However, at the same time, it has allowed the cooperation between companies, even if they are geographically away from one another. A research area that stems from this virtual proximity is the remote manufacture of mechanical parts, and this situation comprises the following actors: a remote client who inputs the orders, a company (which is called here "modeling company") responsible for the development of a computer system to plan the operations that will be performed on the ordered parts; another company where the actual manufacture will take place. It should be mentioned that these three actors may be located anywhere in the world. In this paper, a methodology to perform the remote manufacture of parts is described, which includes the following activities: input of orders by the remote client; planning of manufacturing processes to be executed on the parts; numerical control program generation for the parts; sending of the pieces of information to the manufacturing company; and the actual manufacture of the parts.*

**Keywords.** *Remote Manufacture of Parts, Industrial Parts, Internet, Globalization, Process Planning*

# A STATISTICAL STUDY OF THE CONTROL, CAPABILITY, REPETEABILITY AND REPRODUCIBILITY OF A TEMPERATURE MEASUREMENT PROCESS

**Sergio Butkewitsch**

School of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia  
Campus Santa Mônica, Bloco M, Uberlândia, MG, Brazil, 38400-089  
sbut@mecanica.ufu.br

**Ibrahim Andraus Gassani**

Federal University of Uberlândia  
Campus Santa Mônica, Uberlândia, MG, Brazil, 38400-089  
igassani@triang.com.br

**Rosângela Oliveira do Prado Amorim**

Incubatório Novo Mundo  
Granja Planalto LTDA.

**Pedro Crosara Gustin**

Incubatório Novo Mundo  
Granja Planalto LTDA.

**Ricardo José de Almeida**

School of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia  
Campus Santa Mônica, Bloco M, Uberlândia, MG, Brazil, 38400-089  
minibaja@mecanica.ufu.br

**Abstract.** This work presents a statistical analysis of the temperature measurement process of a particular system in which strict control of this physical quantity is a critical issue. The general approach of measurement systems as random processes is reviewed, highlighting key concepts for the purpose of this work. Specific details of the system being analysed are then presented in order to clarify the context in which the data are collected. A statistical analysis is conducted to determine repeatability, reproducibility, statistical control and capability figures related to the available data. Relations between the calculated figures are investigated, giving rise to some conclusions and suggestions for future research.

**Keywords:** Statistical Control, Capability, Repeatability, Reproducibility

## 1. Introduction

Measurement systems (Bentley, 1988; Doebelin, 1983) exist in order to provide an observer with a numerical value corresponding to the variable being measured. A series of activities take place for the purpose of measurement, according to Figure 1:

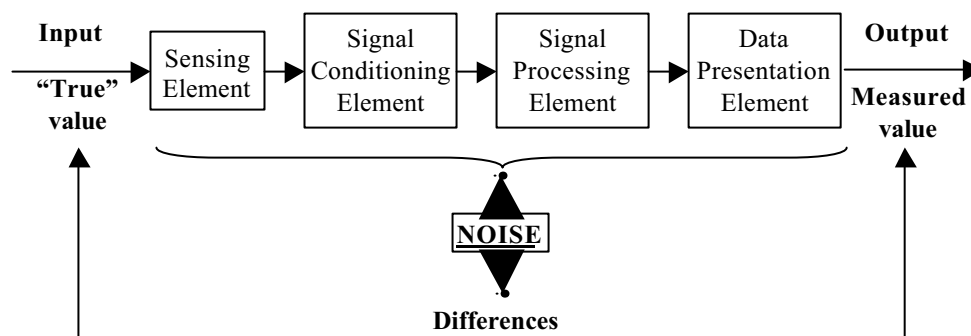


Figure 1 – Schematic diagram of a measurement process subject to random error sources

Along all the stages depicted in Figure 1, several error sources may arise, leading to differences between the “true” value of the variable and the one pointed out by the measurement system. This paper is focused on error sources of statistical nature (noise), which cause the operation of measurement systems to be random processes. The next two sections are devoted to the discussion of statistical approaches intended to deal with such systems.

## 2. Repeatability and reproducibility

Gauge repeatability and reproducibility analysis addresses the issue measurement precision. The purpose of repeatability and reproducibility experiments is to determine the proportion of measurement variability (noise presented in Figure 1) that is due to:

- a) The items or parts being measured (part-to-part variation);
- b) The gauge operator (reproducibility);
- c) Errors in the measurements over several trials by the same operators of the same parts (gauge repeatability).

In the ideal case, most of the variability in measurements will be due to intrinsic part-to-part variation, while its minor portion may be related to the other two sources (lack of operator reproducibility and trial-to-trial repeatability).

There are two basic ways to measure the amounts of variability specifically related to the variation sources mentioned above: range and standard deviation analysis, which uses dispersion statistics, and analysis of variance (ANOVA), which estimates variance components and determines their statistical significance.

Both methods need a certain amount of representative data to be effectively used. In statistical analysis, it is common practice to use design of experiments techniques (Montgomery, 1991) to generate such data. In the scope of repeatability/reproducibility analysis, the recommended (ASQC/AIAG, 1990) procedure is known as the R&R design, which combines  $x$  operators measuring  $y$  parts. Each measurement is repeated  $z$  times with the same gauge.

### 2.1. Range and standard deviation analysis

In the R&R design, the total amount of data sets generated is:

$$d = x \cdot y \tag{1}$$

each of them containing  $z$  values, which are used to calculate  $d$  ranges and standard deviations. These statistics are then plotted against operators and parts. If the ranges calculated for a given operator are higher, it is necessary to find out why that particular person has problems to produce reliable measurements (e.g., perhaps he or she fails to understand the instructions for using the measurement gauge). On the other hand, if the output from one specific part displays higher dispersion, it is possible that some particular situation poses special problems to the measurement system.

The information acquired with this type of analysis is helpful to address preliminary qualitative aspects of the measurement system under investigations. The hints thus obtained may guide the application of the more sophisticated techniques described in sections 2.2 and 3.

### 2.2. Analysis of variance (ANOVA)

Analysis of variance can be regarded as a multi hypothesis testing, since it is the tool for determining if the differences between several means are statistically significant. As in the precedent section, an experimental design is used to combine the three aforementioned variability sources (part-to-part variation, operator reproducibility and gauge repeatability), and ANOVA is used to calculate their variance components. A typical ANOVA table for repeatability/reproducibility analysis using the R&R design is shown in Table 1:

Table 1 – Typical ANOVA table for estimation of R&R design variance components

Main Effects and 2 <sup>nd</sup> order Interactions	Sums of Squares	Statistical degrees-of-freedom	Mean Squares (Variances)	F Statistic (significance)
Operators	SS <sub>x</sub>	N <sub>x</sub> = x – 1	M <sub>x</sub> = SS <sub>x</sub> /N <sub>x</sub>	M <sub>x</sub> /M <sub>z</sub>
Parts	SS <sub>y</sub>	N <sub>y</sub> = y – 1	M <sub>y</sub> = SS <sub>y</sub> /N <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> /M <sub>z</sub>
Operators-by-Parts	SS <sub>xy</sub>	N <sub>xy</sub> = (x – 1)*( y – 1)	M <sub>xy</sub> = SS <sub>xy</sub> /N <sub>xy</sub>	<b>M<sub>xy</sub> / M<sub>z</sub></b>
Gage (error)	SS <sub>z</sub>	N <sub>z</sub> = x*y*( z – 1 )	M <sub>z</sub> = SS <sub>z</sub> /N <sub>z</sub>	
Total	SS <sub>T</sub>	N <sub>T</sub> = N <sub>x</sub> +N <sub>y</sub> +N <sub>xy</sub> +N <sub>z</sub>		

Table 1 shows that besides the three main effects, interactions among them can also be estimated. Customarily, it is assumed that all interaction effects by the trial factor are non-significant. This assumption seems reasonable, since, for example, it is difficult to imagine how the measurement of some parts will be systematically different in successive trials, in particular when parts and trials are randomized.

However, the operator-by-parts interaction may be important (notice the bold font in the significance column of Table 1), because it is conceivable that certain less experienced operators will be more prone to particular biases, and hence will arrive at systematically different measurements for particular parts (measurement situations).

In the case of significant interactions, the combined repeatability and reproducibility variability is defined as the sum of three components: repeatability (gauge error), operator variability, and the operator-by-part variability. On the



other hand, if the operator-by-part interaction is not statistically significant, a simpler additive model can be used without accounting for interactions.

### 3. Statistical process control (SPC)

The considerations about measurement systems presented in the introductory section can be extended to any kind of system. It is beyond argument that the output of any process, natural or artificial, possesses inherent variability because it depends of underlying functioning conditions that never remain constant. On the contrary, these conditions vary randomly, which lead to the following important questions:

- a) Does the variation of process parameters fit some probability distribution?
- b) If it does, what is the underlying distribution?

Variability in process output can be predicted, controlled and improved if, and only if there is a sure answer to the second question.

Regarding these considerations, SPC arises as a branch of applied statistics with two main goals, as presented in subsections 3.1 and 3.2.

#### 3. 1. Control verification

Aimed at determining if process variability is contained within acceptable boundaries, it is often performed according to the following sequence:

- a) One or more statistics are chosen to be studied. Mean/Range and Mean/Standard Deviation are usual combinations;
- b) Data is sampled from the process, according to a pre-defined plan. A sample time series is generated;
- c) The statistic(s) chosen in step (a) is(are) calculated for each of the samples collected in (b);
- d) Central tendency and dispersion measures are calculated for the series of statistics generated in (c).
- e) The series of statistics calculated in step (c) are plotted against the measures obtained in (d). The resulting graph (usually called "SPC chart") is compared to certain standards that define the state of statistical control of the process.

The procedure is briefly described here due to the wide variety of existing control charts and control standards. Montgomery (1985) presents a comprehensive set of available possibilities. It is important to highlight, however, that any and all of these alternatives present an interesting feature: since SPC charts are time series, the effect of time is considered along with those of all other process parameters (operator reproducibility, gauge repeatability and part-to-part variation). This remark is also valid in the context of capability analysis, to be briefly reviewed in the next section.

#### 3. 2. Capability verification

Determine to what extent specifications imposed over the process are being met. In other words, it is a comparison between inherent process variability (defined in the precedent section) and the variability it should have in order to accomplish desired performance levels.

These two elements are defined as follows:

- a) Effective variability: it occurs around a certain central position (ML), ranging from a lower bound (ICL) to an upper bound (UCL). The quantities ML and LCL/UCL correspond, respectively, to the central tendency and dispersion measures calculated in step d of section 3.1;
- b) Desired variability: process specifications range from the lower tolerance bound (LTB) to the upper tolerance bound (UTB), with a target value (STV).

Quantitative information can be obtained when the quantities defined above are combined:

$$C_p = \frac{UTB - LTB}{UCL - LCL} \quad (2)$$

Equation (2) defines the potential capability ( $C_p$ ) of the process, dividing its desired variation range by its effective variation range. When  $C_p$  equals one the process is minimally capable of respecting the specified variation range. Bigger  $C_p$  values stand for capable processes, because its inherent variation is smaller than the specified one. On the contrary, the process is incapable for  $C_p$  values that are less than unity.

Equation (2) compares inherent and specified variation, but cannot tell if average process output meets the target value. This information is also important because even if process variation is very small, it will not be capable if its output is biased. The metric  $C_{pk}$ , defined in equation (3), is called demonstrated excellence and contemplates both process variation (by means of the metric  $C_p$ ) and its eventual bias (represented by  $k$  and defined in equation (4)):

$$C_{pk} = C_p \cdot (1 - k) \tag{3}$$

$$k = \frac{|STV - ML|}{\frac{1}{2} \cdot (UCL - LCL)} \tag{4}$$

The bias definition of equation (3) just compares the absolute deviation of average process output from the target specification with respect to the effective process variation range. Figure 2 brings an illustration of bias and dispersion, along with the qualitative relationship between these effects and the variables Cp and k previously presented in equations (2) and (4) respectively:

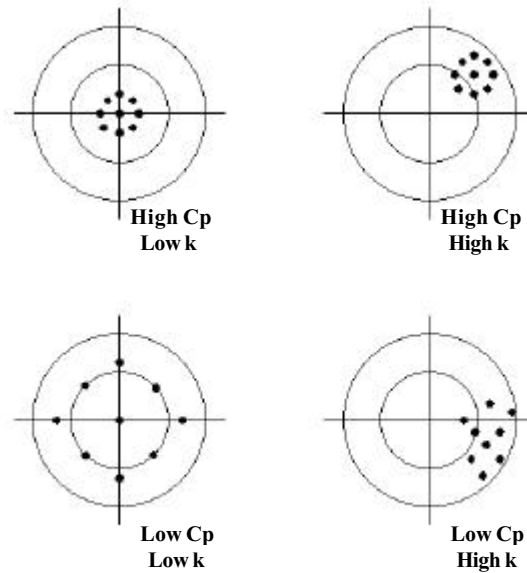


Figure 2 – Target-shooting analogy for the illustration of bias and dispersion effects

Similarly to Cp, the values of Cp<sub>k</sub> should be greater than unity if the process is to be considered capable. In practice, however, 1.33 has been adopted as the reference value for excellence processes (Kume, 1993), while a more recent trend known as “Six-Sigma” (Pyzdek, 2001) states excellence levels equivalent to Cp<sub>k</sub> values of 2.0.

For an insight about the meaning of different Cp<sub>k</sub> values, Table 2 illustrates some of situations (considering gaussian unbiased process):

Table 2 - Illustration of the effect of different Cp<sub>k</sub> values over a series of random processes:

SITUATION	Cp <sub>k</sub> = 0.9 (incapable process)	Cp <sub>k</sub> = 1.33 (traditional excellence standard)	Cp <sub>k</sub> = 2.0 (“SIX-SIGMA” excellence standard)
Electric shortage	30 hours/year	16 min/year	0,03 sec/year
Airplane crashes (03 take-offs/minute)	5466/year	49/year	01/thousand years
hospital infection rate	03 patients/thousand	03 patients/100 thousand	01 patient /10 million
Annual scholar evasion in Brazil (considering 12.7 million students)	44031/year	402/year	1/100 years

#### 4. Case study

The techniques presented in sections 2 and 3 will be applied to verify the quality of a temperature measurement system with respect to its repeatability, reproducibility, control and capability.

The main features of this measurement system operating environment are presented schematically in Figure 3. The frontal panel of the chamber depicted in the figure is used to setup a desired temperature, which can be effectively achieved by the imposition of the proper heat flux. A thermometer is then used to periodically verify if the control system is able to reach and maintain the programmed temperature. This activity does not allow for fails since it determines whether corrective action with respect to the temperature control system should be taken or not.

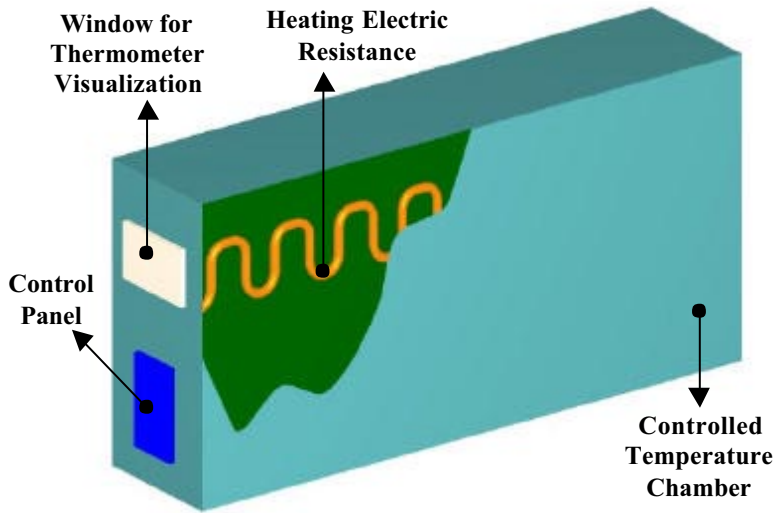


Figure 3 – Schematic of the measurement environment

4.1. R&R analysis

According to the revision presented for repeatability and reproducibility, the sources of problems in this context may be the thermometers (measuring gauges) and/or the verification personal (operators). For this reason, a typical R&R analysis is conducted and the data collected for its realization are presented in Table 3:

Table 3 – Data collected for R&R analysis of the temperature measurement system

		TEMP 1 (97.80 °F)	TEMP 2 (98.40 °F)	TEMP 3 (99.00 °F)	TEMP 4 (99.60 °F)
05 TRIALS	OPERATOR 1	97,95	98,35	98,95	99,65
	OPERATOR 1	97,95	98,35	98,95	99,65
	OPERATOR 1	97,90	98,30	98,95	99,65
	OPERATOR 1	97,85	98,40	99,00	99,60
	OPERATOR 1	97,85	98,40	99,00	99,70
05 TRIALS	OPERATOR 2	97,90	98,30	98,95	99,60
	OPERATOR 2	97,90	98,30	99,00	99,70
	OPERATOR 2	97,85	98,35	99,00	99,65
	OPERATOR 2	97,85	98,40	98,95	99,60
	OPERATOR 2	97,85	98,45	98,95	99,70
05 TRIALS	OPERATOR 3	97,95	98,40	99,05	99,70
	OPERATOR 3	97,90	98,30	99,00	99,70
	OPERATOR 3	97,90	98,40	99,05	99,65
	OPERATOR 3	97,85	98,40	99,00	99,70
	OPERATOR 3	97,85	98,40	98,95	99,75

Table 3 describes the general conditions of the R&R test. The values of four typical operating temperatures are chosen to be measured by three operators, which make five replicates of their measures for each temperature. A single thermometer was used. This instrument’s scale ranges from 97.00 °F to 103.00 °F. Reference temperatures (97.80 °F, 98.40 °F, 99.00 °F and 99.60 °F) are programmed through the machine control system and their effective occurrence is verified by means of a second, high cost temperature sensor, which presents superior accuracy features and for this reason is only used for calibration purposes. The following ANOVA table is calculated:

Table 4 – ANOVA table associated with the R&R test data (significance tested at 90%)

Source of Variation	Sums of Squares	Statistical degrees-of-freedom	Mean Squares	F	P	Expected SIGMA	SIGMA LCL	SIGMA UCL
Operators	0,01	2	0,00			0,01	0,00	0,07
Parts	26,77	3	8,92			0,77	0,35	2,30
Operators by Parts	0,00	6	0,00	0,54	0,77	0,00	0,00	0,01
Gage (error)	0,08	48	0,00			0,04	0,03	0,05
Total	26,87	59						

Table 4 shows that part-to-part (temperature) differences are the main source of variation. Neither the operators nor the thermometers involved in the measurement process introduce significant amounts of variation. It should also be noted that the operator-by-part interaction is not significant, meaning that specially biased measurement situations are unlikely.

By means of the ANOVA, the normal limits of variation for the measurements standard deviations are also estimated for each variability source. This information is of the highest importance since large expected SIGMA values can be translated in excess of random errors within the measurement process.

The following figures are useful to highlight some additional details about the data sampled for the R&R analysis:

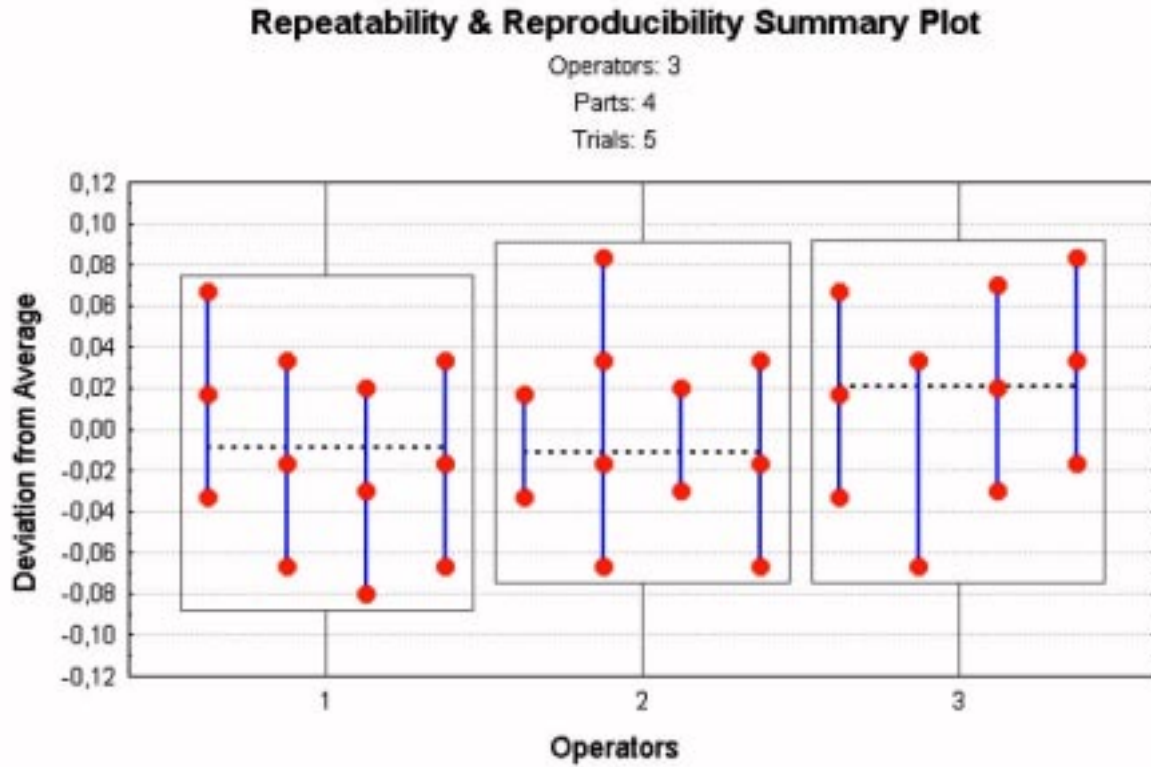


Figure 4 – Repeatability and Reproducibility Summary Plot

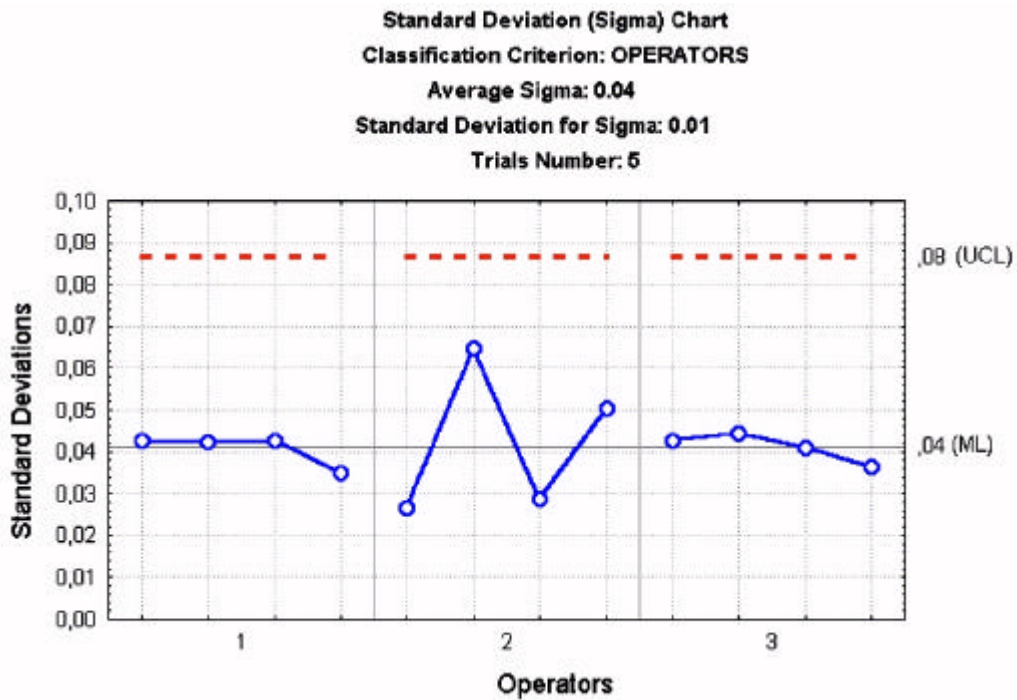


Figure 5 – Standard Deviation Plot by Operators

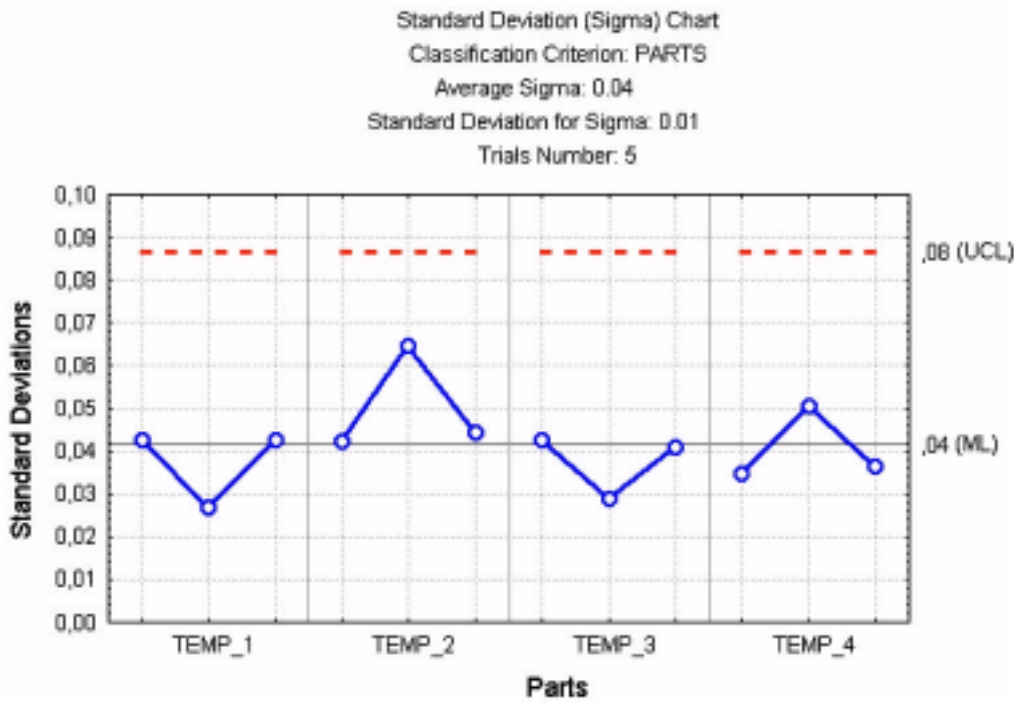


Figure 6 – Standard Deviation Plot by Parts

From the viewpoint of total deviation from the average, the summary plot in Figure 4 reveals that all three operators tested have balanced performances, since they span deviation ranges of similar sizes, if all of the four temperature situations are considered.

If each temperature (part) is investigated separately, however, some differences in operator performance arise. Operators 1 and 3 display approximately the same deviation magnitudes for all parts, while the measurements taken by Operator 2 have strong variation for TEMP\_2 and much smaller deviations in the cases of TEMP\_1 and TEMP\_3.

Figures 5 and 6 confirm the stronger influence of random error when the measurements taken by Operator 2 are taken in perspective.

All in all, it has to be recalled from Table 4 that should these operators differences exist, they are not significant compared to the other sources of variations affecting the measurement process being studied. So, they should serve more as training guidelines than corrective action motivations.

#### 4.2. Control and Capability Analysis

The data contained in Table 3 indicate that the measurements taken with the thermometer seldom coincide with those verified by means of the calibration temperature sensor. Besides, Table 4 (ANOVA) presents estimates for the standard deviation of the temperatures measured through the thermometers, which means these values really tend to vary and thus be different from those obtained through the more accurate device.

Once it is accepted that all these differences are inevitable, two important questions have to be considered:

- a) How these differences behave over time? (Can future deviations be predicted based on time history data?)
- b) How do these differences compare with specified (tolerable) deviations?

These questions are answered by statistical control and capability analysis respectively. Table 5 shows the data (average of differences between the measurements indicated by the calibration sensor and thermometer readings taken by the three operators involved in the R&R analysis) correspondent to 20 samples of 5 elements each observed for these purposes:

Table 5 – Temporal data for statistical control/capability analysis

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S7	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20
E1	-0,55	0,00	0,05	0,10	0,00	-0,10	0,05	-0,10	0,15	0,30	-0,05	0,20	0,15	0,10	0,15	0,10	0,25	0,25	0,35	0,10
E2	-0,60	0,05	0,10	0,10	-0,75	0,05	-0,10	-0,15	0,20	0,40	0,15	0,00	0,15	0,05	0,25	0,15	0,10	0,15	0,05	0,10
E3	-0,20	0,00	0,10	0,20	0,00	-0,15	-0,10	-0,10	0,30	0,20	0,10	-0,05	0,15	0,30	0,05	0,25	0,20	0,35	0,00	0,05
E4	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	-0,15	0,15	0,00	0,00	-0,10	0,10	0,20	0,10	0,25	0,25	0,25	0,10	0,00	0,05
E5	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15	-0,15	-0,05	-0,10	0,15	0,05	-0,05	0,05	0,10	0,05	0,20	0,20	0,15	0,10	0,10	0,00

The data in Table 5 lead to the following Mean-Standard Deviation Control Chart:

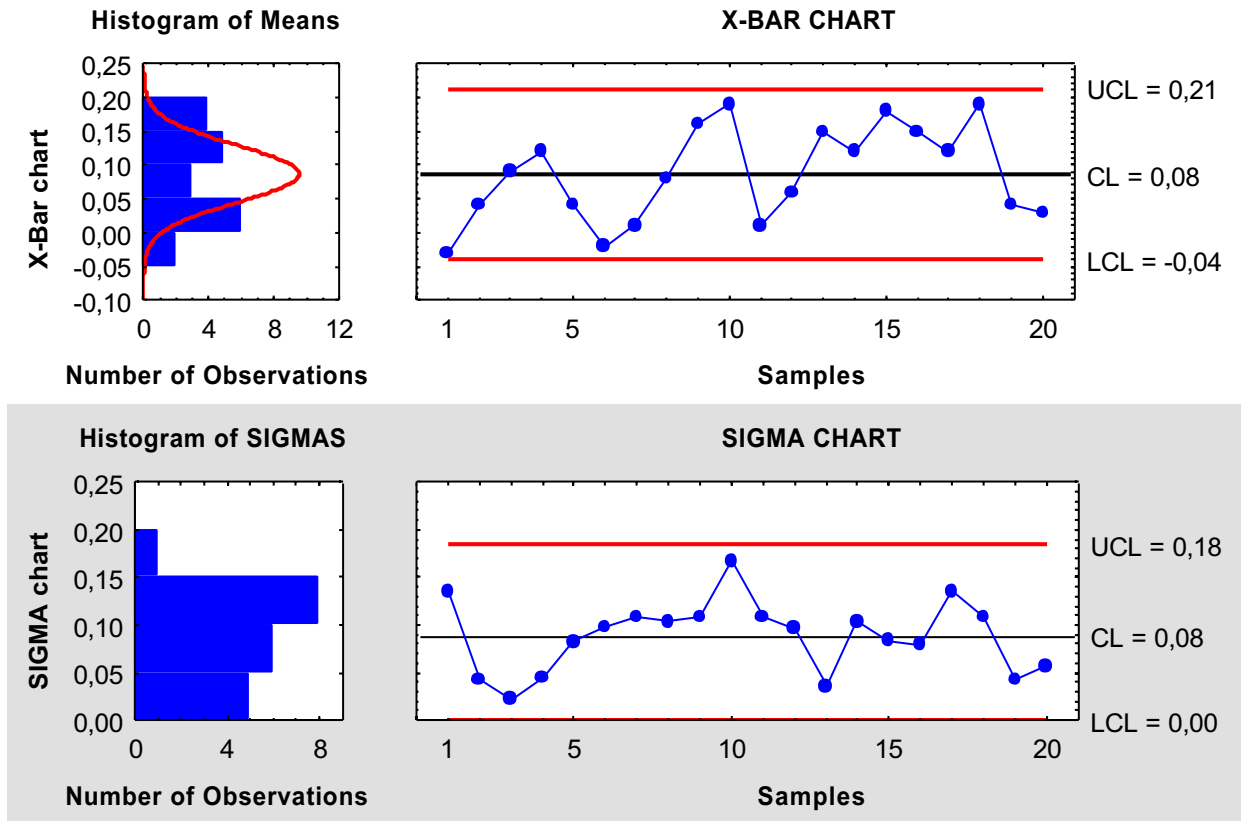


Figure 7 – Mean-Standard Deviation Control Chart for the differences between reference and actual measurements

Inspection of the time series plotted in Figure 7 indicate that the measurement process is in a state of statistical control in view of the differences between reference and actual temperature readings. This answers question “a”, because since the process is statistically controlled, its future output can be predicted within a range defined by lower and upper control limits of variation.

In other words, the natural variation of the means and standard deviations of these difference values will be normally distributed, centered at CL and spanning the range between LCL and UCL.

It should be noted, however, that the normality of the distributions defined over the values observed along these time series is weak, as indicated by the histogram plots at the left side of both graphs.

Now, to find an answer to question “b”, this overall behaviour has to be compared with specified tolerances for the differences between reference and actual readings, that is, a capability analysis should be performed. Taking into account that specifications allow for  $\pm 0.40$  °F differences, the following process capability data results:

Table 6 – Process capability results

Lower Tolerance Bound (LTB)	-0,40 °F
Specified Target Value (STV)	0,00 °F
Upper Tolerance Bound (UTB)	+ 0,40 °F
Potential Capability (CP)	1,42
(Process Bias) K	0,21
Demonstrated Excellence (CPk)	1,11

Capability analysis demonstrates that the measurement process operates with a clearance of about 40% (CP = 1,42) with respect to the allowed variability. This means that the level of the random error is adequate with respect to the specified tolerance.

The process bias, however, is of 21%, indicating that the process is highly non-centered. This level of systematic error, combined with the potential capability index of 1,42, leads to a demonstrated excellence of 1,11. This value is still good, since the process is capable. Making an analogy with the examples shown in Table 2, this CPk indicates that about one measurement over 1152 will present error levels outside specifications.

In this case, continuous improvement efforts should be directed towards reduction of process bias by identifying and eliminating sources of systematic measurement errors.

## 5. Conclusions and perspectives

This paper presents a set of statistical techniques aimed at identifying the sources (lack of repeatability and reproducibility) of undesired process variation, as well as measuring their consequences (process control and capability analysis). The assessment of these information is important in investigations related to industrial quality control.

The authors consider that the routine application of these techniques is beneficial. For the case study presented, important insight about the process is gained by means of a data collection procedure which is rather inexpensive and can be done along normal plant operation. The positive outcomes of high process capability may justify the application of these techniques even when destructive experiments are needed to collect the data used in such studies.

In terms of the case study presented, although the measuring process is capable, some concern is brought by the systematic measurement error. The following corrective actions may contribute to minimize this bias leading to even higher process capability:

- Increase operator training with respect to thermometer based measurements;
- Provide changes that facilitate the thermometer readings: digital indicators, improved lightening, better thermometer positioning, etc...

## 6. Acknowledgements

The authors greatly acknowledge the support of Granja Planalto Ltda., Uberlândia, MG, Brazil for providing real plant data for the realization of this study.

## 7. References

ASQC/AIAG, 1990, "Measurement systems analysis reference manual", Troy, MI, USA.

Bentley, J.P., 1988, "Principles of Measurement Systems", Longman Scientific & Technical, New York, NY, USA, 503 p.

Doebelin, E. O., 1983, "Measurement Systems Application and Design", McGraw-Hill Book Company, New York, NY, USA, 876 p.

Kume, H., 1993, "Métodos Estatísticos para a Melhoria da Qualidade", Editora Gente, São Paulo, SP, Brazil, 245 p.

Montgomery, D. C., 1985, "Statistical quality control", John Willey & Sons, New York, NY, USA, 787 p.

Montgomery, D. C., 1991, "Design and Analysis of Experiments", John Willey & Sons, New York, NY, USA, 787 p.

Pyzdek, T., 2001, "The Six Sigma Handbook", Quality Press, Milwaukee, WI, USA, 711 p.

## REPMA – UMA METODOLOGIA DE REPROJETO DE PRODUTO PARA O MEIO AMBIENTE

### Antônio Carlos Peixoto Bitencourt

Universidade Federal de Santa Catarina  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos  
Campus Universitário - Cx. Postal 476 - Trindade  
CEP: 88040-900 – Florianópolis – SC - Brasil  
acpb@nedip.ufsc.br

### André Ogliari, Dr. Eng.

ogliari@emc.ufsc.br

### Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng.

forcellini@emc.ufsc.br

**Resumo.** O presente artigo apresenta uma metodologia de reprojeto de produtos para o meio ambiente, denominada de RePMA. O desenvolvimento dessa metodologia foi motivado pela necessidade crescente de considerar a demanda ambiental no desenvolvimento de produtos. Fatores relacionados à legislação, normas, concorrentes e a exigência dos consumidores têm estimulado as empresas no melhoramento ambiental de seus produtos. O processo de reprojeto proposto na RePMA consiste de quatro fases principais: reprojeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado. As fases de reprojeto informacional e conceitual foram detalhadas, desenvolvendo-se ferramentas de auxílio às atividades dos projetistas, como por exemplo é proposta uma matriz de determinação do nível de reprojeto mais adequado ao produto: se original, adaptativo ou paramétrico. A metodologia proposta é aplicada no reprojeto de uma cafeteira elétrica, onde apresenta-se os principais resultados obtidos na aplicação das orientações e métodos da primeira fase da RePMA.

**Palavras chave:** Projeto para o meio ambiente, reprojeto de produtos, metodologia de projeto.

## 1. Introdução

Atualmente a preocupação ecológica perpassa todas as atividades humanas. Os governos estão adotando legislações ambientais mais rigorosas e os cidadãos estão começando exigir produtos e processos ecologicamente mais corretos. Estas atitudes decorrem da conscientização de que é necessário preservar o meio ambiente para permitir às futuras gerações condições de sobrevivência no planeta Terra.

No início da década de oitenta, a preocupação ambiental era dirigida apenas aos acidentes ambientais de indústrias notoriamente poluentes. Isto fazia com que as restrições atuassem, apenas, no final dos processos produtivos, tentando inibir o lançamento de resíduos prejudiciais ao meio ambiente. Esta postura garante a segurança de alguns ecossistemas locais.

A principal motivação para esta postura foi a desconsideração do meio ambiente como um sistema complexo, no qual todos os ecossistemas são interligados. Entretanto o meio ambiente também pode ser prejudicado por outros tipos de impactos, que podem parecer de menor escala, como por exemplo: a utilização de recursos naturais não-renováveis, o alto consumo de energia na fase de produção, geração de resíduos na fase de uso, descarte do produto no final do seu ciclo de vida, entre outros.

Esta visão integrada do meio ambiente e de sua relação com as empresas é recente e deve-se, em parte, pelas diversas pressões ambientais do mercado que as empresas têm enfrentado nas duas últimas décadas. Na Fig. (1) apresenta-se alguns exemplos destas pressões, agrupadas em quatro categorias: legislação, consumidores, concorrentes e normalizações e acordos empresariais, (Kinlaw, 1998).

Diante do exposto anteriormente, percebe-se que existe um conjunto de pressões que levam as empresas a desejarem estabelecer diferenciais ambientais. Uma das principais formas de se conseguir este diferencial é oferecendo produtos com menor impacto ambiental. Para tanto é necessário incluir a questão ambiental no desenvolvimento de produtos, suportando a equipe de projeto com instrumentos (metodologia, métodos, ferramentas, entre outros) que lhes auxiliem na identificação e atendimento da demanda ambiental nas suas atividades.

Por outro lado, a “maioria das atividades do desenvolvimento de produto podem ser consideradas na forma de um processo de reprojeto”, (Dufour, p. 1, 1996). Em (Dufour, 1996) o reprojeto de produtos é apresentado como um meio de execução das estratégias competitivas da empresa. Estas estratégias são expressas na forma de causas que levam as organizações adotarem o reprojeto de produtos.

Uma análise destas causas revelou que a demanda ambiental é referenciada somente nas causas legais, o que demonstra uma postura típica de estratégias reativas frente a este tipo de demanda. No entanto, pôde-se observar que a demanda ambiental relaciona-se com as outras causas, que podem por em prática o processo de reprojeto.



Por outro lado, a necessidade de produtos ambientalmente corretos não é somente legal e sim da pressão de todas as forças do mercado. As empresas que desejam ser competitivas são levadas a adotarem uma postura pró-ativa diante desta demanda, que se dá através da adequação dos seus produtos às exigências ambientais.

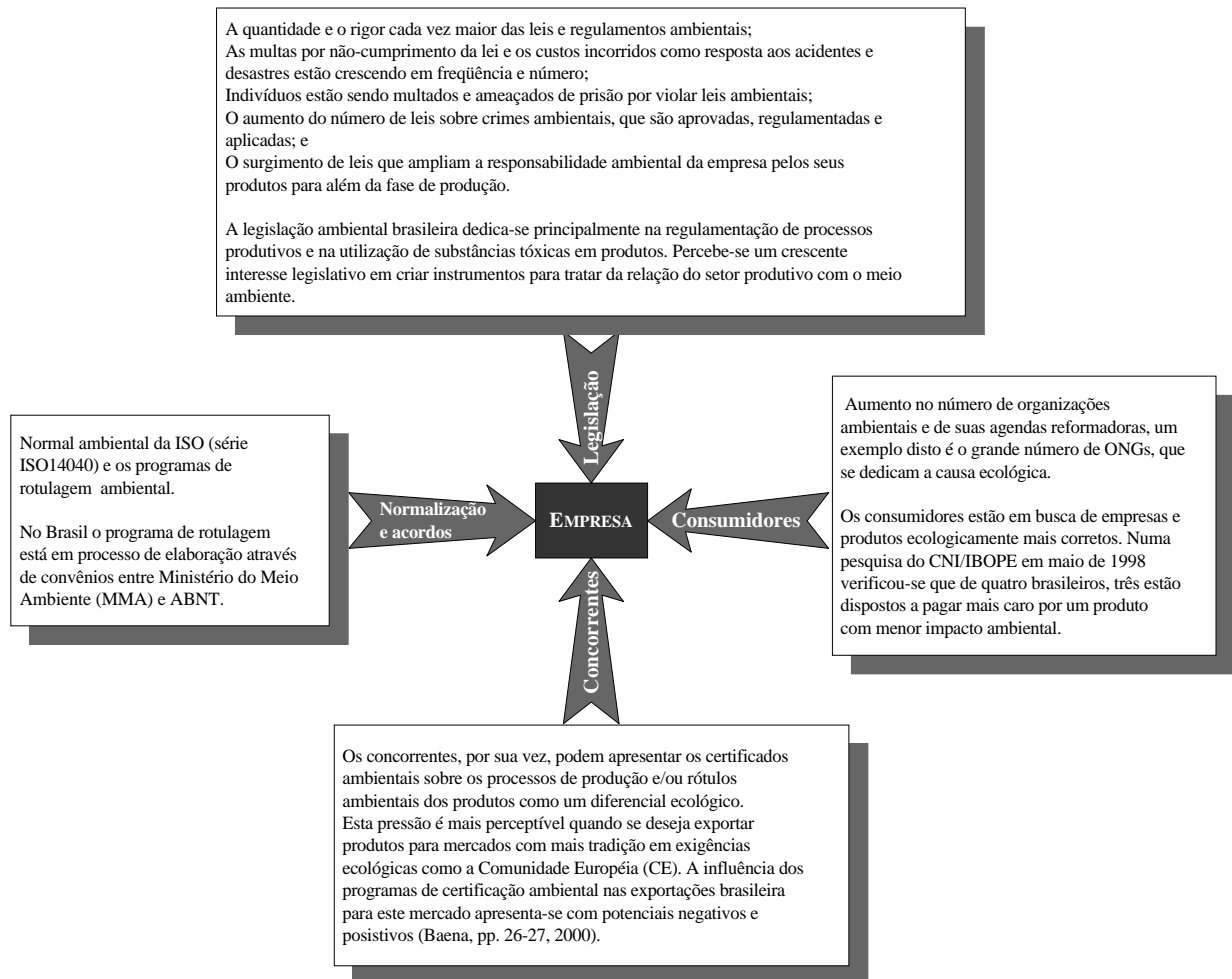


Figura 1 – Pressões ambientais.

O conjunto de elementos apresentados anteriormente aponta para a necessidade de instrumentos que auxiliem os projetistas na inclusão da demanda ambiental na melhoria dos produtos. A RePMA é uma metodologia de reprojeto de produto para o meio ambiente com o propósito de viabilizar a adequação de um produto existente às exigências ambientais, através da proposição de princípios, métodos e orientações, que auxiliem na incorporação da demanda ambiental no processo de melhoria do produto.

O presente artigo tem por objetivo apresentar a estrutura da RePMA. Primeiro apresenta-se a estrutura geral e depois apresenta-se cada fase da metodologia desdobrada em etapas. Por fim, apresenta-se aplicação das orientações e métodos da primeira fase da RePMA no reprojeto de uma cafeteira elétrica.

## 2. RePMA

### 2.1. Estrutura geral da RePMA

A RePMA caracteriza-se como uma metodologia de natureza prescritiva (Yoshikawa, 1989) e, como tal, apresenta um conjunto de procedimentos, métodos e orientações que auxiliam a equipe de reprojeto nas suas atividades de análise, síntese e avaliação.

Com relação a consideração da demanda ambiental, a RePMA é classificada como uma abordagem que trata sobre todo o ciclo de vida do produto (Bras, 1997), pois incorpora elementos que tratam sobre o impacto ambiental, desde a produção até o descarte. Isto viabiliza maiores oportunidades de ganhos ambientais, pois as alternativas de solução não se restringirão a melhoria ambiental numa só fase da vida do produto.

A estrutura geral da RePMA é apresentada na Fig. (2). A estrutura da RePMA baseou-se:

- num modelo de consenso para o processo de projeto baseado na análise de diferentes metodologias de projeto (Ogliari, 1999), cujo modelo apresenta o processo de projeto em quadro fases: informacional, conceitual, preliminar e detalhado;

- nas diretrizes para o desenvolvimento de metodologias de projeto (Maribondo *et all*, 1999), cujas diretrizes representam um conjunto de indicativos para elaboração de metodologias de projeto. Dentre estas diretrizes pode-se destacar as orientações para representar a metodologia através de fluxogramas de tarefas e para desdobrar as fases da metodologia em etapas e tarefas; e
- na consideração de que podem existir diferentes níveis de reprojeto: original, adaptativo e paramétrico (Otto e Wood, 1998).

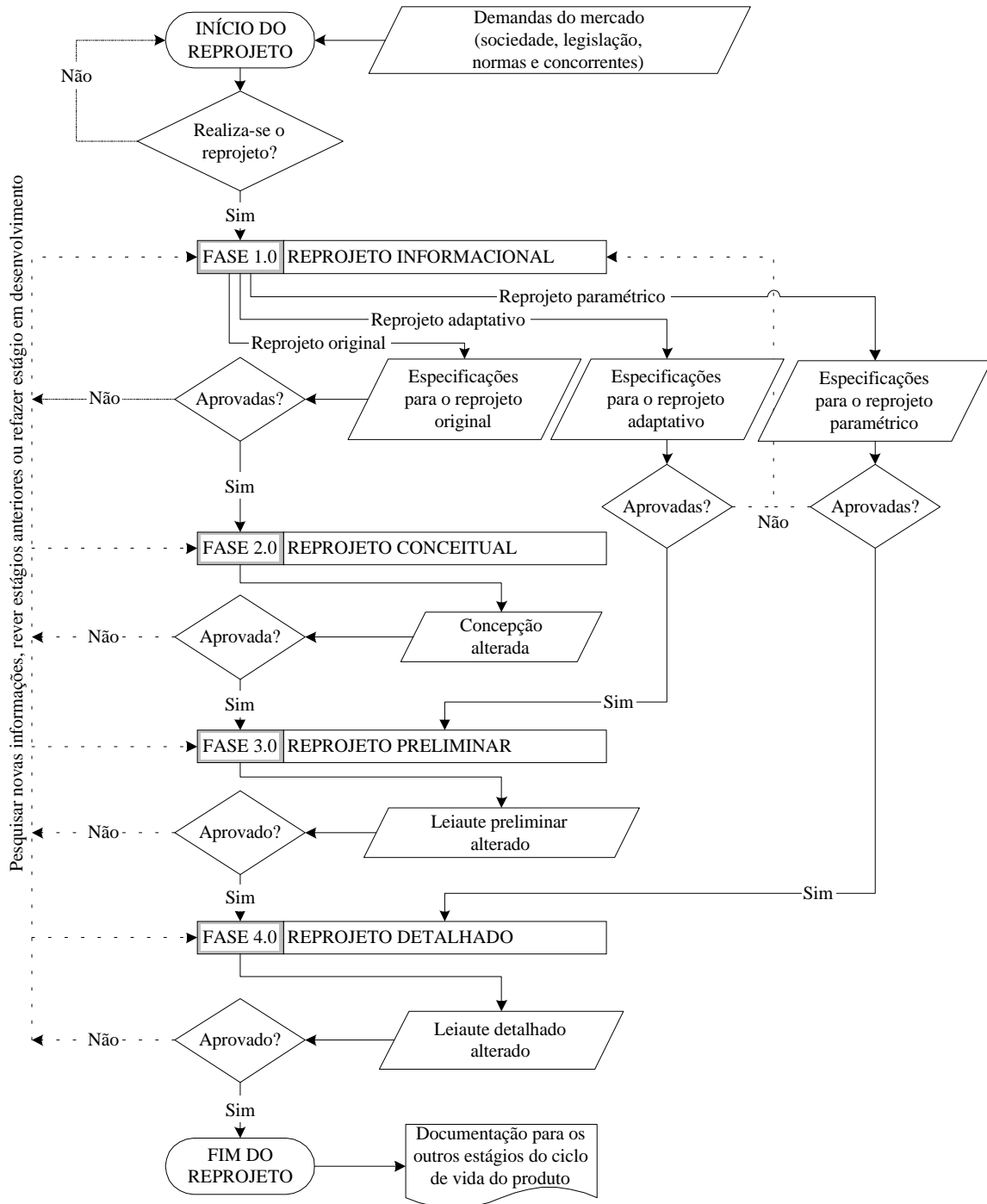


Figura 2. Estrutura geral da RePMA.

A primeira atividade da RePMA consiste em determinar a realização do reprojeto. Esta atividade é caracterizada como um processo de decisão que tem como base o planejamento estratégico da empresa e as informações prévias sobre o produto. Neste processo de tomada de decisão, primeiro procura-se traduzir o planejamento estratégico da empresa em termos mais operacionais do desenvolvimento de produto (estratégias de desenvolvimento de produto). E em segundo, com base em informações prévias sobre o produto, a equipe de reprojeto procura determinar um conjunto de prioridades do seu reprojeto, mais especificamente, procura-se determinar um conjunto de prioridades para que se possa reduzir o impacto ambiental do produto.

Para se determinar a necessidade de realização do reprojeto confronta-se este dois conjunto de informações (estratégia de desenvolvimento de produto e prioridades do reprojeto), verificando-se se as prioridades do reprojeto estão em coerência com as estratégias de desenvolvimento. Se houver esta coerência a equipe de reprojeto tem a segurança de que o reprojeto do produto em termos ambientais será suportado pela gerência, caso contrário não se tem garantia de apoio à realização do reprojeto.

Uma vez decidido pela realização do reprojeto, segue-se para a primeira fase da RePMA.

### 2.2 Reprojeto informacional

Esta fase tem características semelhantes a fase de esclarecimento da tarefa de projeto proposta por (Pahl e Beitz, 1996). Compreende o conjunto de atividades necessárias para o tratamento das informações disponíveis sobre o produto original. O detalhamento desta fase em etapas e os elementos de suporte às realização destas é apresentado na Fig. (3).



Figura 3. Reprojeto informacional.

Ao final do reprojeto informacional obtém-se duas principais saídas: a determinação do nível de reprojeto mais adequado ao produto e as especificações de reprojeto. Estas informações devem ser apresentadas aos responsáveis pelo produto para que se possa aprovar a continuação do processo de reprojeto. Uma vez aprovada a continuação do reprojeto, o processo de modificação do produto segue segundo o nível de reprojeto escolhido:

- No reprojeto original segue-se para a fase de reprojeto conceitual;
- No reprojeto adaptativo segue-se para a fase de reprojeto preliminar; e
- No reprojeto paramétrico segue-se para a fase de reprojeto detalhado.

### 2.3. Reprojeto conceitual

O reprojeto conceitual corresponde a primeira fase de um reprojeto original. Nesta fase procura-se fazer modificações na concepção original do produto. Estas modificações podem ocorrer na estrutura funcional ou nos princípios de solução. Estas formas de modificações são as que possibilitam mudanças mais radicais no produto, como por exemplo, agrupamento funcional, inclusão ou exclusão de funções, mudança em princípios de solução, entre outras. O detalhamento desta fase em etapas e os elementos de suporte às atividades nestas etapas são apresentados na Fig. (4).

Nesta fase são geradas concepções alternativas para o produto, as quais passam por um processo de seleção para que se possa selecionar aquela que melhor atenta os critérios técnicos, ambientais e econômicos, definidos pelas especificações para o reprojeto original.

### 2.4. Reprojeto preliminar e detalhado

De posse da concepção modificada do produto, ou no caso do reprojeto adaptativo, segue-se a fase de reprojeto preliminar, na qual prescreve-se a realização de mudanças na configuração do produto. Estas mudanças podem ser implementadas segundo as especialidades de projeto (DFX's) mais adequadas à redução do impacto ambiental do produto. Ao final desta fase obtém-se o leiaute preliminar modificado do produto.

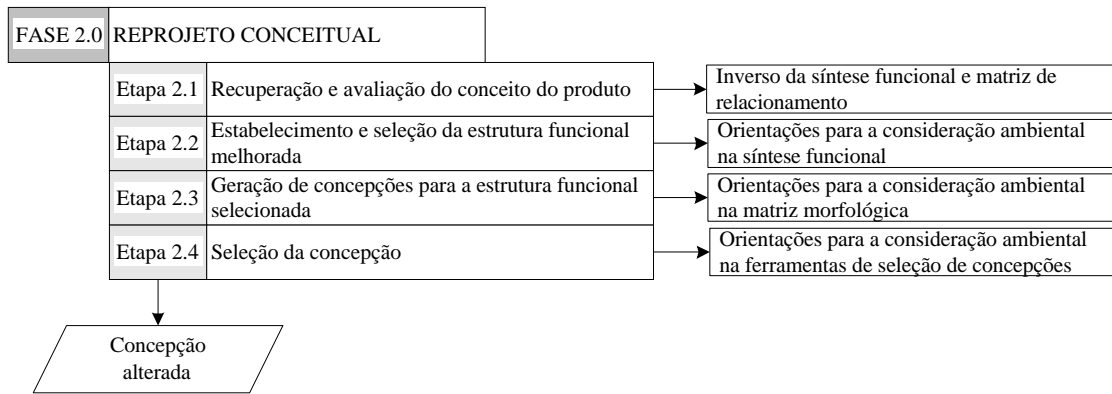


Figura 4. Reprojeto conceitual.

A próxima fase é o reprojeto detalhado, que inicia com o leiaute preliminar modificado do produto ou com a opção pelo reprojeto paramétrico. No primeiro caso deve-se fazer o detalhamento do leiaute preliminar e no segundo procura-se recuperar a configuração detalhada do produto, a partir de documentos recuperados no reprojeto informacional.

Uma vez realizado o detalhamento da configuração, realiza-se uma otimização dos parâmetros de engenharia que possibilitem um maior ganho ambiental. De posse destas definições, verifica-se o ganho ambiental obtido em relação ao produto original. Caso os ganhos sejam satisfatórios propõem-se a construção de protótipos para testes ambientais e funcionais.

Ao final desta fase elabora-se um conjunto de documentos que auxiliará na produção do produto. Também pode-se optar pela elaboração de outros documentos que auxiliam na orientação à redução do impacto ambiental em diferentes fases do ciclo de vida, por exemplo: orientações de uso, plano de reciclagem, plano de reutilização, entre outros. A Fig. (5) apresenta as etapas do reprojeto preliminar e detalhado.

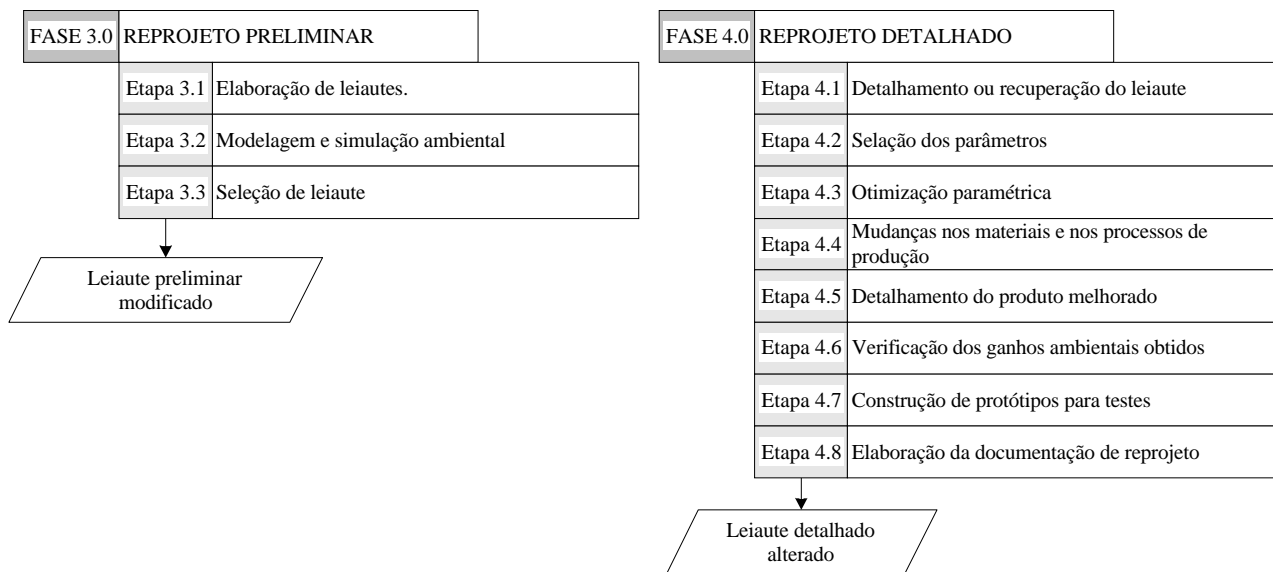


Figura 5. Reprojeto preliminar e detalhado.

No próximo item apresenta-se os resultados na aplicação das orientações do reprojeto informacional, primeira fase da RePMA, no reprojeto de uma cafeteira elétrica.

#### 4. Reprojeto informacional de uma cafeteira elétrica

Este item corresponde à aplicação da fase de reprojeto informacional da RePMA no reprojeto de uma cafeteira elétrica. Os objetivos desta aplicação são avaliar a aplicação das orientações e ferramentas propostas na RePMA e elaborar um conjunto de especificações que auxilie na proposição de melhorias que possibilitem uma redução no impacto ambiental de uma cafeteira elétrica.

O objeto do estudo de caso consiste de um cafeteira elétrica, cuja vista explodida é apresentada na Fig. (6). Este produto foi adquirido no mercado, portanto o seu reprojeto não tem vinculação com a empresa fabricante. Esta condição proporciona que os resultados obtidos sejam mais abrangentes, embora a obtenção de informações referentes às fases de produção e distribuição da cafeteira elétrica não sejam consideradas.

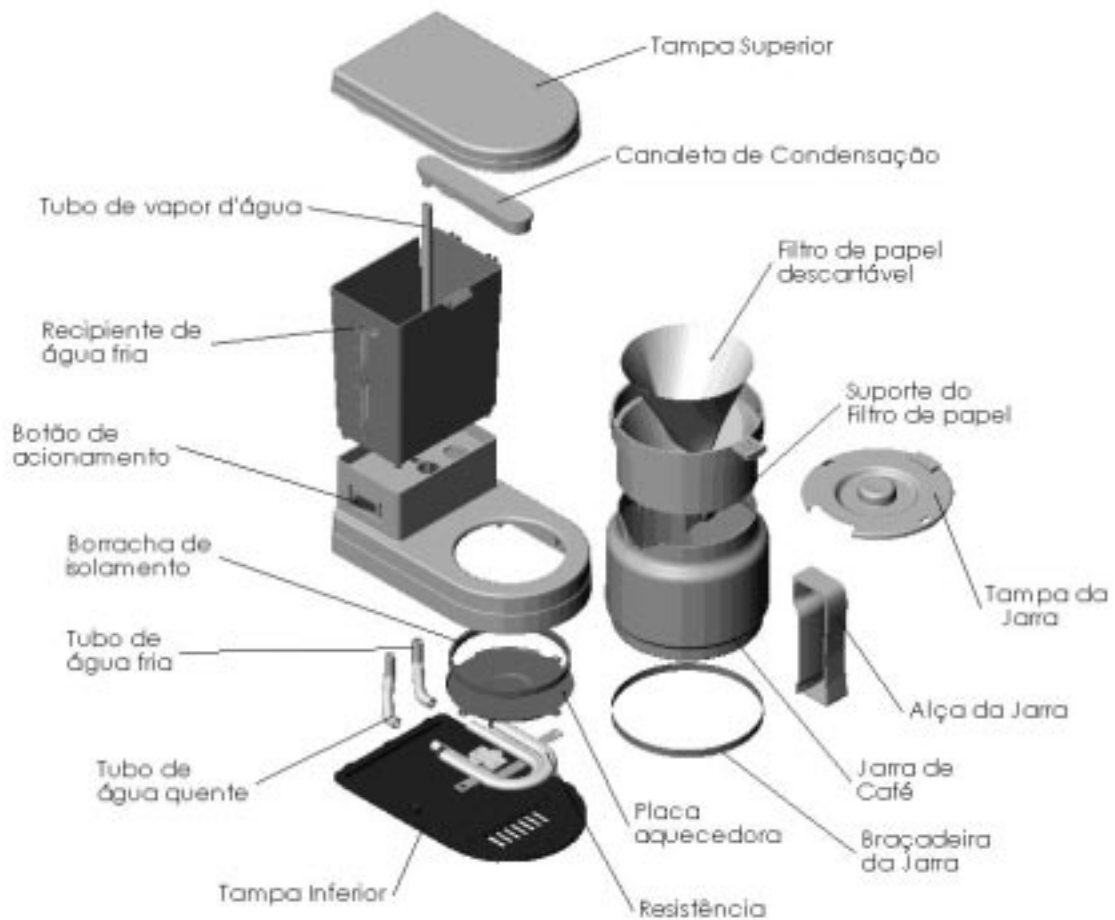


Figura 6. Vista explodida da cafeteira elétrica.

As primeiras atividades na recuperação e aquisição das informações relacionadas ao produto (Etapa 1.1) referem-se a recuperação e tratamento das informações contidas na documentação originada durante o ciclo de vida do produto. Nesta aplicação só foi possível recuperar um documento referente às instruções de operação, que apresenta apenas instruções sobre o uso do produto na realização da operação de fazer café, não possuindo informações técnicas sobre o objeto do estudo de caso. Na situação do reprojeto de uma cafeteira numa empresa, tais documentos poderiam ser: relatório dos processos de fabricação, lista de reclamação dos clientes, relatórios de venda e lucro, entre outros.

Outra tarefa desta etapa é a identificação dos clientes envolvidos no ciclo de vida do produto, bem como a aquisição das necessidades destes clientes. Nesta aplicação deteve-se nas necessidades dos clientes da fase de uso da cafeteira elétrica, denominados de usuários. As necessidades referentes aos clientes das outras fases do ciclo de vida foram elaboradas com base na experiência da equipe de reprojeto e na consideração de necessidades típicas dos clientes destas fases.

Na aquisição das necessidades e opiniões dos usuários optou-se por quatro abordagens:

- Elaboração e aplicação de um questionário aos usuários. Esta abordagem gerou três grupos de informações: necessidades declaradas livremente, a avaliação da importância e satisfação dos usuários em relação a características da cafeteira elétrica e o comportamento de uso;
- Realização de uma reunião com membros do NeDIP/UFSC (Núcleo de desenvolvimento integrado de produto da Universidade Federal de Santa Catarina). Esta abordagem gerou um conjunto de necessidades relacionadas aos diferentes clientes do ciclo de vida da cafeteira elétrica;
- Estudo de outros trabalhos relacionados ao estudo de caso. Este estudo gerou um conjunto de informações sobre diferentes fases do ciclo de vida, que foram descritas diretamente na forma de requisitos de usuários e ambientais; e

- Baseado na experiência da equipe de reprojeto. A equipe elaborou requisitos relacionados aos clientes que não foram abordados anteriormente, além de complementar as informações obtidas nas abordagens descritas anteriormente.

Procurou-se também elaborar necessidades a partir da legislação e normas ambientais, entretanto verificou-se em (Carmargo, 1999) que não existem legislações referentes ao impacto ambiental de produto de modo geral. No Brasil, a principal preocupação da regulamentação são os processos de produção, “a legislação ambiental limita-se a fornecer características dos processos de produção que devem ser avaliados” (Carmargo, p.79, 1999).

As necessidades adquiridas a partir de expressões livres foram traduzidas na forma de requisitos de usuários (Fonseca, pp. 59-61, 2000). Estes requisitos em conjunto com os requisitos elaborados diretamente pela equipe de reprojeto foram relacionados às características da cafeteira elétrica (estética, capacidade, vida útil, segurança, armazenamento da água, filtragem, armazenamento do café e consumo de energia). Estas características foram avaliadas pelos usuários segundo sua importância e satisfação. A equipe de reprojeto avaliou, segundo orientações da RePMA, os requisitos que não foram avaliados pelos usuários. O resultado desta etapa é apresentado na Tab. (1).

Tabela 1. Avaliação dos requisitos dos usuários para o reprojeto da cafeteira

Fase	Característica	Requisito do usuário	Opinião		
			Imp.	Satisf.	Aval.
Produção		Não ter novos processos de produção			3
		Ter menos peças injetadas			3
		Não ter partes complexas para injeção			3
		Ter pouco resíduos de produção			1
Distribuição		Ter baixo peso			1
		Ter pouco volume			1
		Ter informações para marketing “verde”			5
		Ter pouca embalagem			1
		Ter baixo preço			3
Uso	Estética	Ser esteticamente agradável	3	3	3
	Capacidade	Ter capacidade adequada	3	3	3
	Vida útil	Ser robusto	3	3	3
	Segurança	Ter uma base da jarra mais estável			3
		Ser seguro (evitar queimadura)			3
	Armazen. da água	Ter reservatório de água estanque	3	3	3
	Filtragem	Ser fácil de manusear o filtro	3	1	5
	Armazen. do café	Ter controle sobre a temp. do café	3	3	3
	Consumo de energia	Ter aquecimento rápido	5	1	5
		Manter o café aquecido sem o consumo de energia			
		Ter baixo consumo de energia			
	Limpeza	Ser fácil de limpar			5
		Ser higiênico durante o uso			3
	Reparo	Ter reposição da resistência			3
		Ter partes com fácil reposição			3
Ser fácil de reparar				3	
Recuperação/Descarte		Ser fácil de desmontar			3
		Ter identificação dos materiais			3

Tabela 2. Escala de valores utilizados na Tab. (1).

Valor	Importância do usuário	Satisfação do usuário	Avaliação do produto em relação ao requisito
0	Nenhuma importância	Não está satisfeito	Não necessita melhorar
1	Pouca importância	Pouca satisfação	Necessita melhorar pouco
3	Média importância	Média satisfação	Necessita melhorar medianamente
5	Muita importância	Muita satisfação	Necessita melhorar muito

Uma vez realizado a elaboração dos requisitos de usuários para a cafeteira, realizou-se a elaboração de requisitos ambientais (Etapa 1.2). Estes requisitos devem representar possibilidades de diminuição do impacto ambiental da cafeteira no seu ciclo de vida. Na RePMA esta etapa é suportada pela Análise do Ciclo de Vida Simplificada (ACV-Simplificada).

Neste método orienta-se a equipe de reprojeto: na descrição do objetivo e escopo do estudo que será realizado; na descrição do produto segundo sua unidade funcional e descrição física; na descrição e no inventário do ciclo de vida do

produto; na avaliação do impacto ambiental segundo um indexador ambiental, denominado de eco indicador 99 (EI99) (Goedkoop *et all*, 2000) e por fim na elaboração dos requisitos ambientais.

A ACV-Simplificada da cafeteira elétrica revelou que o principal impacto ambiental deste produto ocorre na fase de uso. Isto se deve principalmente ao comportamento do usuário de manter o café aquecido pela própria cafeteira e ao uso de filtros de papel. Uma verificação importante é que o impacto ambiental da produção e descarte deste produto é muito pequeno quando comparado com o impacto na fase de uso, embora os usuários terem manifestado que a principal base de informação, que utilizaria na aquisição de uma cafeteira elétrica mais ecológica, provenha destas fases de menor impacto.

Estas observações possibilitaram elaborar cinco requisitos ambientais para a cafeteira elétrica, apresentados na Tab. (3). Confrontando estes requisitos com os apresentados na Tab. (1), verifica-se que os requisitos ambientais foram contemplados, em parte, pelos declarados anteriormente. Isto deve-se principalmente a utilização de estudos anteriores sobre impacto ambiental no ciclo de vida de cafeteiras elétricas. Desta forma pode-se utilizar a lista de requisitos da Tab. (1), adicionando os requisitos referentes à redução do consumo de papel no uso e ao uso de material reciclado e recicláveis, na determinação do nível de reprojeção mais adequado à cafeteira elétrica (Etapa 1.3).

Tabela 3. Requisitos ambientais elaborados da avaliação do desempenho ambiental.

Requisitos ambientais	Avaliação
Ter baixo peso	1
Ter baixo consumo de energia no uso	5
Ter baixo consumo de papel no uso	5
Ter material reciclado	3
Ter material reciclável	3

A aplicação da matriz de determinação do nível de reprojeção para a cafeteira elétrica é apresentada na Tab. (4). A aplicação desta matriz consiste em relacionar cada nível de reprojeção com cada requisito. Este relacionamento implica em questionar como as atividades próprias de cada nível de reprojeção poderiam atender os requisitos de reprojeção, se: não atenderia (0), atenderia pouco (1), atenderia medianamente (3) ou atenderia completamente (5).

Tabela 4. Matriz de determinação do nível de reprojeção para a cafeteira elétrica

i	Requisito	Importância (Ii)	Nível de reprojeção		
			Original	Adaptativo	Paramétrico
1	Não ter novos processos de produção	3	5	1	3
2	Ter menos peças injetadas	3	3	5	1
3	Não ter partes complexas para moldagem	3	5	3	3
4	Ter pouco resíduos de produção	1	1	5	3
5	Ter baixo peso	1	1	1	5
6	Ter pouco volume	1	3	5	3
7	Ter informações para marketing “verde”	5	3	3	5
8	Ter pouca embalagem	1	1	5	3
9	Ter baixo preço	3	5	3	1
10	Ser esteticamente agradável	3	5	5	1
11	Ter capacidade adequada	3	1	3	5
12	Ser robusto	3	1	3	5
13	Ter uma base da jarra mais estável	3	5	5	3
14	Ser seguro (evitar queimadura)	3	5	5	1
15	Ter reservatório de água estanque	3	5	3	1
16	Ser fácil de manusear o filtro	5	5	3	1
17	Ter controle sobre a temperatura do café	3	5	1	3
18	Ter aquecimento rápido	5	5	1	3
19	Manter o café aquecido sem o consumo de energia	5	5	1	1
20	Ter baixo consumo de energia	5	5	1	3
21	Ser fácil de limpar	5	3	5	1
22	Ser higiênico durante o uso	3	3	5	1
23	Ter reposição da resistência	3	3	5	1
24	Ser fácil de reparar	3	3	5	1
25	Ser fácil de desmontar	3	3	5	1
26	Ter identificação dos materiais	3	0	3	5
27	Ter baixo consumo de papel no uso	5	5	3	1
28	Ter material reciclado	3	1	3	5
29	Ter material reciclável	3	1	3	5
Valor do nível (Vn)			338	299	227

Estes valores de relacionamento são multiplicados pelo valor da importância de cada requisitos (os valores de importância são obtidos da coluna **avaliação** da Tab. (1)). Por fim, o valor do nível de reprojeto é determinado com a Eq. (1). Onde:  $V_n$  é o valor do nível de reprojeto  $n$ ,  $I_i$  é a importância do requisito  $i$  e  $r_{in}$  é o relacionamento entre o requisito  $i$  e nível de reprojeto  $n$ .

$$V_n = \sum I_i \cdot r_{in} \quad (1)$$

Uma vez determinado o nível de reprojeto, elabora-se as especificações de reprojeto (Etapa 1.5). Sendo que a primeira tarefa desta etapa é elaborar os requisitos de reprojeto com base nos requisitos do usuário e ambientais e no nível de reprojeto escolhido. De posse dos requisitos de reprojeto aplica-se a matriz da casa da qualidade para a hierarquização destes. Nesta utilizou-se o software QFD 3.0 (Ogliari, 1999).

O QFD 3.0 possibilita dois critérios de hierarquização: uma considerando apenas os relacionamentos entre os requisitos dos usuários e os requisitos de reprojeto e outra incluindo o relacionamento entre os requisitos de reprojeto. As especificações de reprojeto da cafeteira elétrica são elaboradas tendo com base principal os requisitos que se destacaram nos dois critérios de hierarquização. A lista de especificações é apresentada a seguir:

- Informações sobre o impacto ambiental;
- Energia para manter o café aquecido;
- Consumo de energia;
- Custo de produção;
- Número de novos processos de produção; e
- Pontos de risco à segurança do usuário.

Esta lista de especificações deve ser o principal alvo da equipe de reprojeto, entretanto deve-se utilizar toda a lista de requisito de reprojeto com orientação durante as outras fases prescritas pela RePMA.

No próximo item apresenta-se as considerações finais sobre os aspectos relacionados ao desenvolvimento da RePMA e sobre aplicação das orientações e métodos do reprojeto informacional no reprojeto da cafeteira elétrica.

## 5. Considerações finais

As diferentes pressões ambientais estão levando as empresas estabelecerem estratégias de melhorias ambientais de seus produtos e serviços. A RePMA apresentou-se como uma forma de auxiliar a equipe de projeto na concretização destas estratégias nas suas atividades. As orientações e métodos da RePMA, principalmente na fase do reprojeto informacional, possibilitam que a equipe de reprojeto possam transcrever as demandas ambientais do mercado, externalizadas nas pressões ambientais, num conjunto de requisitos de reprojeto que orientarão a equipe de reprojeto nas outras fases do processo de reprojeto.

A aplicação da RePMA é facilitada quando realizada por uma equipe de reprojeto multidisciplinar com experiência em projeto sistemáticos de produtos, pois o seu desenvolvimento foi baseado na experiência em metodologias de projeto de produtos do NeDIP/UFSC e consistiu-se na inclusão de elementos que atendam as especificidades do reprojeto e do projeto para o meio ambiente nesta estrutura metodológica.

Mais especificamente, na aplicação da fase de reprojeto informacional na melhoria ambiental de uma cafeteira elétrica, verificou-se que:

- Foi possível e prático elaborar a lista de especificações de reprojeto para a cafeteira elétrica, seguindo as orientações da RePMA. As orientações e métodos prescritos na RePMA possibilitou elaborar esta lista de forma sistemática, possibilitando a organização e recuperação de informações quando necessário;
- As orientações da RePMA possibilitaram que a demanda ambiental fosse considerada em conjunto com as outras demandas dos clientes. Os requisitos dos usuários e ambientais foram abordados de maneira conjunta na tomada de decisão sobre o nível de reprojeto e na aplicação da casa da qualidade;
- Algumas etapas, embora apresentadas seqüencialmente na Fig. (3), podem ser realizadas em paralelo, como por exemplo, a Etapa 1.2 que começou antes do término da Etapa 1.1;
- Encontrou-se particular dificuldade na aplicação do EI99, isto porque estes indexadores ambientais foram elaborados para a realidade européia, ou seja, não caracteriza o real impacto ambiental da cafeteira elétrica no Brasil. Contudo isto não inviabiliza a utilização dos resultados obtidos na elaboração de requisitos ambientais, uma vez que corresponde a uma avaliação comparativa entre os diferentes tipos de impacto ambiental da cafeteira elétrica. Outra forma, para se obter uma avaliação ambiental mais precisa em relação à realidade brasileira se faz necessário desenvolver indexadores ambientais que considere os processos produtivos no Brasil; e
- O nível de reprojeto para a redução do impacto ambiental da cafeteira elétrica é o reprojeto original. As especificações de reprojeto apontam para a necessidade de realizar um estudo sobre os conceitos utilizados na cafeteira referentes às funções relacionadas ao consumo de energia durante o uso.



## 6. Referências

- Baena, J. C., 2000. Comércio Exterior e Meio Ambiente: Reflexos dos Programas de Rotulagem Ambiental sobre as exportações Brasileiras para a União Européia. Trabalho apresentado no Ciclo de Debates sobre Economia e Meio Ambiente, promovido pela Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável do Ministério do Meio Ambiente.
- Bras, B., 1997. Incorporating Environmental Issues in Product Design and Realization. *Industry and Environment* v 20 n 1-2 Jan-Jun, UN Environment Programme, Paris, France, p 7-13.
- Camargo, A. T., 1999. O direito ambiental como ferramenta do desenvolvimento sustentável. Dissertação de Mestrado em Engenharia Produção, UFSC, Florianópolis.
- Dufour, C. A.. Estudo do processo e das ferramentas de reprojeto de produtos industriais, como vantagem competitiva e estratégia de melhoria constante. Dissertação de Mestrado em Engenharia Produção, UFSC, Florianópolis, 1996.
- Fonseca, A. J. H., 2000. Sistematização do processo de elaboração das especificações de projetos de produtos industriais e sua implementação computacional. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis.
- Goedkoop, M., Effting, S. e Collignon, M., 2000. The Eco-indicator 99 - The damage oriented method goes Life Cycle Impact Assessment: Manual for designers, second edition.
- Kinlaw, D. C., 1998. Empresa competitiva e ecológica: desempenho sustentado na era ambiental, São Paulo, Makron Books.
- Maribondo, J. F.; Back, N. e Forcellini, F. A., 1999. Diretrizes para o desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares. XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Águas de Lindóia, São Paulo.
- Ogliari, A., 1999. Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetado. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis.
- Otto, K. N. e Wood, K.L., 1998. Product Evolution: A Reverse Engineering and Redesign Methodology. *Research in Engineering Design - Theory, Applications, and Concurrent Engineering*. Vol. 10 nº. 4 Springer-Verlag GmbH & Company KG Berlin Germany p 226-243.
- Pahl, G. e Beitz, W., 1996. Engineering design: a systematic approach - 2Rev.ed, Berlin: Springer – Verlag London Limited.
- Yoshikawa, H., 1989. Design Philosophy: The State of the Art. *Annals of the CIRP*, vol. 38/2/1989, pp 579-586.

### REPMA – A METHODOLOGY OF REDESIGN FOR ENVIRONMENT

#### **Antônio Carlos Peixoto Bitencourt**

Federal University of Santa Catarina  
 Department of Mechanical Engineering  
 Group of Integrated Product Development  
 Campus Universitário - Cx. Postal 476 - Trindade  
 CEP: 88040-900 – Florianópolis – SC - Brasil  
 acpb@nedip.ufsc.br

#### **André Ogliari, Dr. Eng.**

ogliari@emc.ufsc.br

#### **Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng.**

forcellini@emc.ufsc.br

**Abstract.** *This paper presents a methodology of product redesign for the environment. This methodology is called RePMA. Such development was motivated by an ongoing environmental demand over the product design. Factors related with legislation, norms, competitiveness and the consumer's needs have been forcing most companies towards environmental improvement of their products. The proposed redesign process in the RePMA consists of four main phases: informational, conceptual, preliminary and detailed redesign. The informational and conceptual phases were developed using design support tools. As for instance, a matrix is proposed for aid in the determination of the most adequate redesign level: if original, adaptative or parametric. The proposed methodology is applied in the redesign of an electric coffee-pot, where the principal results obtained in the application of the orientations and methods of the first phase of RePMA are presented.*

**Keywords.** *Design for the environment, product redesign, design methodology*

# ANÁLISE DOS DIRECIONADORES DE AGILIDADE ATRAVÉS DA FERRAMENTA DE TOMADA DE DECISÃO: ANP – ANALYTICAL NETWORK PROCESS

**MSc. Eng. Antônio Carlos de Souza**

UNICAMP/FEM/DEF – Cx.P: 6122 – CEP: 13083-970 - Campinas, SP, Brasil

[antcarls@fem.unicamp.br](mailto:antcarls@fem.unicamp.br)

**Prof. Dr Antonio Batocchio**

UNICAMP/FEM/DEF – Cx.P: 6122 – CEP: 13083-970 - Campinas, SP, Brasil

[batocchi@fem.unicamp.br](mailto:batocchi@fem.unicamp.br)

**Resumo.** Este trabalho procura conceituar o ambiente de manufatura ágil bem como propor uma modelagem conceitual de empresa ágil. Embasados nos conceitos citados neste trabalho e no ambiente globalizado em que as empresas estão inseridas, considera-se como sensores direcionadores de agilidade as pressões externas e internas, os atributos de agilidades como práticas e ferramentas utilizadas, e capabilities de agilidade com habilidades pertinentes a companhia e de superação de suas concorrentes. O objetivo deste é utilizar a abordagem ANP para identificar quais pressões influenciam o ambiente de manufatura ágil, e como a companhia deve se preparar para enfrenta-las. Identificar através deste modelo que práticas e ferramentas a companhia pode atingir suas capabilities.

**Palavras Chave:** Manufatura Ágil, Direcionadores de Agilidade, Tomada de Decisão, Método de Análise Hierárquica de Processo, Método de Análise de Rede de Processo.

## 1. Introdução

No cenário atual em um ambiente de produção de mudanças rápidas, as empresas têm que se adaptar suas estruturas de manufatura rapidamente para poder permanecer competitivas e superar suas concorrentes. No âmbito de organização das empresas, Batocchio et. al. (1999) diz que a globalização e os mercados comuns, além de aspectos mais específicos relacionados aos produtos, clientes, sistemas de manufatura, estrutura organizacional etc., tem provocado, principalmente, nos países denominados de primeiro mundo, algumas iniciativas para enfrentar o desafio do século 21.

Para responder às mudanças do mercado, os conceitos da *manufatura ágil* tem obtido considerável atenção pelos administradores da indústria. Tais conceitos se fundamentam no desenvolvimento das capabilities internas, e habilidades para configurar as qualidades da companhia (recursos humanos e de capital) para assegurar vantagem de oportunidades no futuro próximo.

Para ser realista, modelos deveriam incluir e medir todos fatores importantes tangíveis e intangíveis, mensuráveis quantitativamente, e qualitativos. Saaty (1980) introduziu o modelo *analytical hierarchy process* (AHP) em resposta às estas situações complexas. Mais recentemente. Uma nova abordagem tem sido proposta por Saaty (1996) , a qual incorpora relações interdependentes e feedback entre os atributos e alternativas de tomada de decisão. Tal abordagem tem sido descrita, conforme Hamalaine & Seppalaine (1986), como *analytical network process* (ANP).

## 2. Empresa Ágil

Como o ciclo de vida dos produtos tornou-se mais curto, a alta qualidade dos produtos tornou-se necessárias para sobrevivência. Mercados tornaram-se altamente diversificado e global, e mudanças contínuas e inesperadas tornam-se fatores chaves para o sucesso, conforme Gunasekaran (1998). O futuro da indústria deve enfrentar mudanças de mercado tais como reduzir o volume de produção, aumentar a variedade de produtos, ciclos de vida dos produtos mais curtos, e reduzir o número de pedidos repetitivos. Para responder às mudanças do mercado, a *manufatura ágil* tem obtido considerável atenção dos gerentes da indústria.

*Agilidade*, segundo Lee (1998), é a capacidade de um sistema de manufatura fabricar uma variedade de componentes a um custo baixo e em um curto período de tempo. A *manufatura ágil* deve ser simples, flexível, reconfigurável, prática, capaz de responder rápido ao mercado. De acordo com a definição dada pelo Agile Manufacturing Enterprise Forum, *manufatura ágil* tem características principais tais como rápida introdução de produtos novos e modificados, re-configuração dinâmica dos processos de produção, produtos upgradable, etc.

Goldman et. al. (1995) afirmam que agilidade é uma resposta compreensiva e estratégica para mudanças estruturais fundamentais e irreversíveis que estão minando os fundamentos econômicos da produção baseada em massa. *Manufatura ágil* não é simplesmente concernida como sendo flexível e susceptível às demandas correntes, não obstante que isto seja uma exigência óbvia. Isto também requer uma *capability* adaptativa para poder responder às mudanças futuras. Isto tem dois elementos: desenvolvimento das *capabilities* internas, e habilidade para configurar as qualidades da companhia (recursos humanos e de capital) para assegurar vantagem de oportunidades no futuro próximo.

*Corporações ágeis* são capazes de reorganizar rapidamente e se auto reconfigurarem para poder capitalizar no imediato, e talvez somente temporário, oportunidades de mercado. Isto é realmente conhecido, contudo, que nenhuma firma terá todos os recursos necessários para encontrar cada oportunidade. *Competências centrais* da organização podem ser combinadas para reduzir o tempo de resposta ao mercado. *Corporações virtuais, reengenharia e manufatura ágil/adaptativa* são todos conceitos novos, baseados no acompanhamento da manufatura integrada da década passada. As novas empresas de manufatura são caracterizadas por uma habilidade para efeito de reconfiguração flexível de recursos, ciclos de tempo mais curto e respostas mais rápidas às demandas dos clientes. Pant *et al.* (1994), afirma que a informação é um fator chave em transcender barreiras físicas e divulgar a *agilidade* orientada à empresa e a *adaptabilidade* às organizações.

Para Gunasekaran (1998), as *manufaturas ágeis* devem responder à:

- mudanças rápidas dos mercados;
- pressões competitivas globais,
- redução do tempo de resposta de novos produtos ao mercado,
- aumento de cooperação interempresas,
- relações interativas da cadeia de valores,
- aquisição, marketing, distribuição global,
- aumento do valor da informação/serviço, e em todas as áreas da empresa de manufatura.

A diferença entre as práticas tradicionais e correntes na manufatura pode ser vista na Tab. (1), com o objetivo de demonstrar o potencial da *manufatura ágil*.

Tabela 1. Prática tradicional X prática corrente na manufatura. - Fonte: Gunasekaran (1998).

<b>Prática Tradicional</b>	<b>Prática Corrente</b>
Produtos uniformes/padronizados.	Produtos altamente variáveis/customizados.
Plataforma contida por si própria.	Plataforma Open-ended para upgrades / informações / serviços.
Expectativa para Ter um mercado de longa vida.	Expectativa para ter um mercado de curta vida.
Produzido por previsão.	Produzido por pedido.
Preço definido pelo custo unitário de fabricação + margem de lucro.	Preço definido pelo valor percebido pelo cliente.
Caracterizado por um nicho específico de mercado.	Caracterizado por múltiplos nichos de mercado.

Tabela 2. Multiface da agilidade na manufatura. - Fonte: Gunasekaran (1998).

<b>Áreas da manufatura.</b>	<b>Estratégias para manufatura ágil</b>
Marketing.	Valor individual percebido pelo cliente
Projeto e produção.	Produzir rapidamente variedades de produtos e serviços a pedidos do cliente em quantidades arbitrárias de pedido, uma metodologia que integra relações de fornecedores, processos de produção, processos de negócios, relações com clientes, e uso e eventual disposição dos produtos.
Organização.	Habilidade para sintetizar novas capabilities produtivas – facilidades e habilidades indiferentes à sua localização física.
Gerenciamento.	Liderança, motivação, apoio e negócio,
Pessoas.	Força de trabalho com total conhecimento, habilidosa, autorizada e empreendedora.

### 3. Modelagem Conceitual de Empresa Ágil

O modelo a seguir é baseado nos trabalhos de Sharifi & Zhang (1999), Gunazekaran (1999) e outros autores, que serão referenciados conforme suas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

A Figura (1) esboça o modelo baseado no Modelo de Sharifi & Zhang (1999), de acordo com tais autores, ele é constituído de três partes principais enfocando a necessidade da empresa torna-se *ágil*.

#### 3.1. Direcionadores de Agilidade

Conforme Sharifi & Zhang (1999), (*agility drivers*) *direcionadores de agilidade* são as incertezas, mudanças imprevisíveis e pressões no ambiente de negócio em que a empresa está inserida, sendo as responsáveis pelo direcionamento da companhia para uma nova posição na execução de seu negócio e buscar por vantagens competitivas. Diferentes empresas com diferentes características e em diferentes circunstâncias serão submetidas as diferentes mudanças que são específicas e talvez únicas para elas. Sob tais circunstâncias, as empresas se preparam para caminhar em direção de uma posição estável e segura, mantendo suas vantagens competitivas.

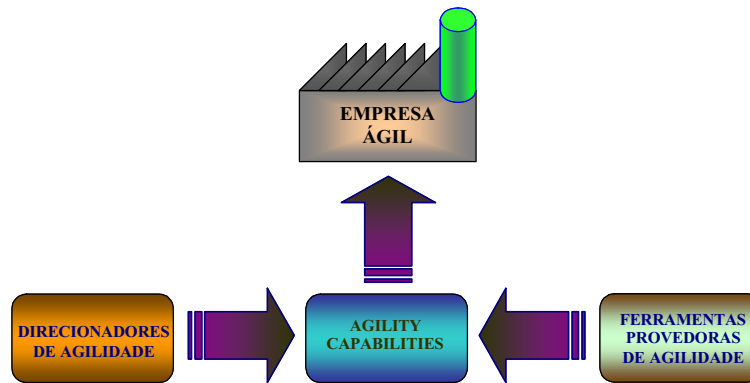


Figura 1. Modelo Conceitual de Empresa Ágil – Fonte baseada em Sharifi & Zhang (1999) e Gunasekaran (1998)

A seguir serão detalhadas as mudanças citadas como *direcionadores de agilidade* e seus subitens por Sharifi & Zhang (1999):

**Mudanças Rápidas ao Mercado:**

Hoje o mercado é altamente competitivo e diferenciado, considerando a alta volatilidade de seu ambiente. Goldman *et. al.* (1995) relata que em um ambiente ágil as limitações modificam e os clientes exigem mudanças constantes. Trata-se de um ambiente empreendedor em movimento rápido a diversas direções impulsionado por inúmeras forças de mercado.

- Crescimento do nicho de mercado;
- Mudanças políticas nacionais e internacionais;
- Aumento na taxa de mudanças nos modelos de dado produto – customização;
- Retração do tempo de vida do produto.

**Mudanças nos Critérios Competitivos:**

- Mercado altamente mutável;
- Crescente pressão sobre custo;
- Crescente taxa de inovação;
- Crescente pressão da competição de mercado global;
- Decrescente *time to market* de novos produtos;
- Sensibilidade (*Responsiveness*) dos competidores para mudanças.

**Mudanças nos Anseios dos Clientes:**

- Demandas para produtos e/ou serviços individualizados;
- Tempo de entrega e *time to market* mais rápido.
- Expectativa da qualidade crescente;
- Mudanças repentinas na especificação e quantidade do pedido.

**Mudanças na Tecnologia:**

- Introdução de recursos de produção mais eficientes, rápidos e econômicos;
- Introdução de novas tecnologias de aplicativos computacionais (software e métodos);
- Inclusão da tecnologia de informação nas novas tecnologias de equipamentos.

**Mudanças nos Fatores Sociais:**

- Pressões ambientais;
- Expectativas de força de trabalho/local de trabalho;
- Pressões políticas/legais;
- Problemas culturais;
- Mudanças no contrato social.

**Mudanças nos Relacionamentos Inter/Empresas:**

Cada vez mais as companhias estão identificando suas próprias competências centrais – *core business* -, buscando novas competências com a formação de parcerias com outras empresas e até mesmos concorrentes.

**Mudanças na Cadeia de Valores:**

Gerenciando pressões comerciais complexas rapidamente e efetivamente conduzirá á unidades autônomas de negócios bem menores com redes de tais unidades trabalhando em conjunto sobre uma base de projeto para atender encontrar as necessidades específicas dos clientes. De acordo com Owen and Kruse (1997), tais pequenas unidades de negócios necessitarão de se reconfigurarem rapidamente conforme as mudanças nas demandas do negócio. Elas deveram ser ágeis o bastante para fazerem coisas diferentes, ou faze-las diferentemente, muito mais rápido do que elas são alcançadas pelas mudanças repentinas na demanda, oferecimento de produtos competitivos ou ameaças de obsolescências tecnológicas.

### **Mudanças Relacionadas à Tecnologia da Informação:**

- Implantação de redes intranet/internet;
- Aumento de demanda de projetos via internet;
- Aumento na velocidade de implantação de comércio eletrônico pelos concorrentes.

De acordo com Owen and Kruse (1997), os padrões da tecnologia da informação - *Information Technology* (IT) -, e protocolos de conectividade estão sendo incrementados rapidamente tornando os processos de comunicação mais fáceis e práticos.

Os sistemas de IT representam, sem dúvidas, a vanguarda da agilidade externa e interna da empresa.

### **3.2. Agilidade de Superação**

*Capability* pode ser definida como habilidade e aptidão natural pertinente à empresa, desenvolvidas ao longo do tempo, e que torna esta capaz de superar seus concorrentes.

De acordo com Sharifi & Zhang (1999), as *capabilities* que uma organização deverá ter para ser capaz de responder apropriadamente às mudanças presentes em seu ambiente de negócio, são extraídas basicamente dentro de quatro categorias principais:

#### **Sensibilidade:**

É a habilidade que a empresa tem para identificar mudanças e respondê-las rapidamente, de forma reativa ou proativa, e se restabelecer.

Tal habilidade consiste em:

- Sentir, perceber e antecipar mudanças.
- Reagir de imediato a mudanças ao efetua-las dentro do sistema.
- Restabelecer-se das mudanças.

#### **Competência:**

Uma série de habilidades que proporcionam produtividade, eficiência e eficácia das atividades através dos objetivos e metas da empresa.

As habilidades a seguir formam esta capability:

- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| • Visão estratégica.                  | • Tecnologias apropriadas.                   |
| • Eficácia nos custos.                | • Cooperação interna e externa.              |
| • Gerenciamento de mudanças.          | • Pessoal alto capacitado.                   |
| • Eficiência e eficácia operacionais. | • Alta taxa de introdução de novos produtos. |
| • Integração.                         |  |

#### **Flexibilidade:**

Habilidade para processar diferentes produtos e atingir diferentes objetivos dispondo dos mesmos recursos.

Consiste em:

- Flexibilidade no volume de produção
- Flexibilidade de modelo e configuração do produto.
- Flexibilidade na estrutura organizacional.
- Flexibilidade de pessoal.

#### **Velocidade:**

É a habilidade para realizar tarefas e operações no mais curto espaço de tempo possível.

Esta habilidade é constituída de:

- Tempo de resposta ao mercado rápido para novos produtos.
- Rapidez e menor tempo para o serviço de entrega.
- Tempo operacional mais rápido.

### **3.3. Ferramentas Provedoras de Agilidade**

No modelo de Sharifi & Zhang (1999), (*agility providers*) ferramentas provedoras de agilidade são os meios pelos quais as tão chamadas *capabilities* podem ser alcançadas e supostas a serem pretendidas das quatro áreas principais do ambiente da manufatura. Tais áreas são: organização, pessoas, tecnologia e inovação.

Baseado sob análise bibliográfica, Gunasekaran (1999) desenvolveu um modelo conceitual a partir das quatro dimensões chaves incluindo: estratégias, tecnologia, pessoas e sistemas, com o objetivo principal de desenvolver um sistema de manufatura ágil – *Agile Manufacturing System AMS* – integrado, com o auxílio de estratégias e técnicas adequadas. Sharifi & Zhang (1999) relatam que todas estas áreas devem ser integradas e ter um poderoso suporte de sistema e tecnologia da informação, sendo este o principal diferencial de uma empresa de manufatura ágil comparada com sistemas tradicionais. Este trabalho é modelado considerando os trabalhos dos autores citados anteriormente. Portanto, as cinco áreas chaves da organização serão as seguintes:

- |                          |                                      |                |
|--------------------------|--------------------------------------|----------------|
| • Estratégias/Inovações. | • Organização/Sistemas.              | • Tecnologias. |
| • Pessoas.               | • Sistemas/Tecnologia da Informação. |                |

No modelo de Sharifi & Zhang (1999), as chamadas ferramentas de agilidade são estratificadas em práticas, métodos e ferramentas. Por outro lado, Gunasekaran (1998) esboça uma estrutura composta de inúmeras ferramentas e técnicas então chamadas de facilitadores de agilidade de manufatura (*enablers of agilty manufacturing*). Sendo assim, o modelo resultante a ser empregado neste trabalho pode ser visto na Fig. (2) a seguir:



Figura 2. Áreas Chaves da Organização - Fonte baseada em: Sharifi & Zhang (1999) Gunasekaran (1998)

### 3.4. Facilitadores de Manufatura Ágil

Este item baseia-se no estudo de Gunasekaran (1998), onde ele desenvolve um modelo utilizando ferramentas de gerenciamento como *facilitadores* de projeto e implementação da *manufatura ágil*.

A Figura (3) ilustra alguns destes *facilitadores*. Para poder atingir *agilidade* na manufatura, empresas fisicamente distribuídas necessitam ser integradas e gerenciadas efetivamente de tal forma que o sistema seja capaz de adaptar as mudanças das condições do mercado. Segundo o autor, isto pode ser no modelo que diferentes *facilitadores da manufatura ágil* são sobrepostos a cada outro. Portanto, todos as ferramentas/facilitadores devem estar integrados para atingir uma integração na empresa ágil.



Figura 3. Modelo conceitual ilustrativo dos conceitos e facilitadores da manufatura ágil. - Fonte baseada em: Gunasekaran (1998)

## 4. Ferramentas de Tomada de Decisão

Num ambiente de multi-atributos de tomada de decisão o desafio, segundo Meade e Sarkis (1999), é selecionar a alternativa mais poderosa da série de objetivos do grupo. Neste âmbito de tomada de decisão surgem duas ferramentas desenvolvida por Tomas L. Saaty, e que serão referenciadas neste trabalho:

### 4.1. AHP: Processo de Análise Hierárquico

AHP constitui-se de uma abordagem para tomada de decisão criada por Saaty (1980). Esta técnica prima por ser capaz de modelar situações complexas, especialmente quando fatores estratégicos desempenham um papel importante na tomada de decisão. O mesmo autor considera que o modelo de tomada de decisão deve incluir e mensurar todos os fatores importantes tangíveis ou intangíveis, qualitativos, e quantitativamente mensuráveis. Pamplona (1997) relata que

a questão central do método é identificar com que peso os fatores individuais situados em posições inferiores influenciam o seu fator principal (objetivo) na posição superior da hierarquia.

Lai et. al. (1999) descrevem um breve sumário de todos os processos envolvidos na aplicação da abordagem AHP:

1. Formular a hierarquia de decisão por especificar uma hierarquia de elementos de decisões inter-relacionadas.
2. Coletar dados de input para realizar uma comparação de elementos de decisão, dois a dois.
3. Estimar as influências relativas (pesos) dos elementos de decisões por utilizar um método de autovalor.
4. Agregar os pesos relativos até o topo da hierarquia (objetivo principal) para obter um peso composto o qual representa a opinião do tomador de decisão da importância relativa de cada alternativa de decisão.

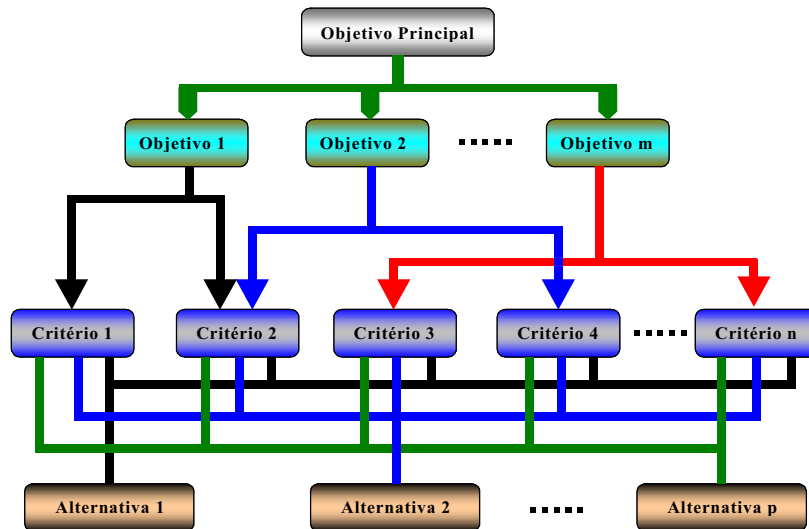


Figura 4. Hierarquia do problema de tomada de decisão pela abordagem AHP – Fonte baseada em Weck et. al. (1997)

A abordagem AHP consiste em determinar a influência dos atributos de nível inferior em relação ao seu superior. Para um dado atributo da hierarquia, compara-se os vários atributos do próximo nível inferior na hierarquia, dois a dois, avaliando a importância de um atributo sobre o outro, utilizando a escala de Saaty (1980).

A escala de Saaty (1980) tem valores de 1 a 9 quando comparados dois atributos. Um escore de valor 1 representa que os dois atributos tem o mesmo peso de influencia sobre o critério de decisão de nível superior, ao passo que um escore de valor 9 representa a total superioridade de um atributo sobre o outro. Os valores intermediários revelam dominâncias intermediárias. A matriz de comparações é construída considerando a seguinte equação:

$$a_{ij} * a_{ji} = 1 \tag{1}$$

$a_{ij}$  ,  $a_{ji}$  : representam os valores da dominância do atributo  $A_{ij}$  sobre o atributo  $A_{ji}$ .

O resultado é uma matriz de comparação de paridade entre atributos para um mesmo nível. A partir desta matriz calcula-se o valor ponderado de prioridade  $w_i$  de cada componente  $i$ , estabelecendo assim o autovetor normalizado **eVetor**, por conseguinte o autovalor **Aw** :

Saaty (1980) estabelece vários algoritmos na determinação do autovalor. Será descrito a seguir um destes algoritmo, o qual consiste em um método de dois estágios. O primeiro passo consiste em formar uma matriz quadrática  $n \times n$ , o valor é determinado dividindo cada elemento em uma coluna pelo somatório dos elementos desta coluna, repetindo este procedimento para os outros elementos desta linha e determinar as somatória da linha, e por fim dividir o resultado pelo número de elemento da linha.

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^I \left( \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^J a_{ij}} \right)}{J} \tag{2}$$

A única solução do problema de tomada de decisão é dada pela seguinte equação:

$$Aw = \lambda_{\max} w \tag{3}$$

$\lambda_{max}$  : o valor ponderado de prioridade máximo do eVetor

Matriz 1. Matriz de comparação de paridade entre atributos de um mesmo nível na hierarquia.

	$a_1$	$a_2$	$a_i$	$a_n$	eVetor: $w_i$
$a_1$	1	3		1/4	0,314
$a_2$	1/3	1		7	0,384
$a_i$			1		
$a_n$	4	7		1	0,302
$\Sigma$					1,000

**4.2. ANP: Processo de Análise com Feedback**

Meade e Sarkis (1999) afirmam que a abordagem ANP é uma ferramenta atrativa de tomada de decisão multi-critério, pois esta permite a consideração de interdependência entre e dentro dos níveis de atributos (critérios). ANP envolve representar relações hierarquicamente mas não requer uma estrita estrutura hierárquica como o AHP requer. A abordagem ANP, segundo Meade e Sarkis (1999) , modela problemas de sistemas nos quais as relações entre os níveis não são facilmente representados conforme superiores ou inferiores, controlador e subordinado. Tais sistemas são conhecidos como “sistemas com feedback” e referem-se a sistemas onde um nível pode dominar e ser dominado, direta ou indiretamente por outros atributos e níveis de decisões. Em uma representação gráfica, as dependências entre atributos podem ser representadas uma seta dupla (dois sentido) ou uma seta em arco.

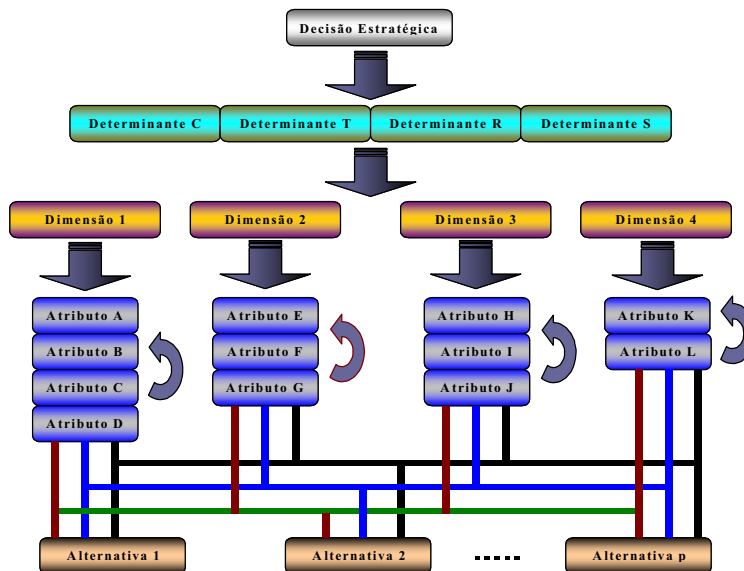


Figura 5. Hierarquia com feedback : abordagem ANP – Fonte baseada em Meade e Sarkis (1999)

A Figura (5) procura ilustrar um modelo de hierarquia com feedback. A configuração do problema de decisão necessita ser estruturado dentro de seus componentes importantes. Sendo assim, critérios (atributos) e alternativas são estruturados em forma de um controle hierárquico onde o nível superior é a decisão estratégica principal. Uma hierarquia de controle, de acordo com Saaty (1996), é simplesmente uma hierarquia de critérios e sub-critérios onde prioridades são extraídas com respeito ao objetivo completo do sistema a ser analisado. Meade and Sarkis (1999) expõe que os elementos de níveis superiores são decompostos em sub-componentes e atributos. O desenvolvimento do modelo requer a determinação de atributos para cada nível e a definição de suas relações. O objetivo final consiste em selecionar a alternativa que melhor atende a tomada de decisão.

**5. O Uso da Abordagem ANP na Análise dos Direcionadores de Agilidade**

Será apresentado neste item um esboço da análise em estudo, procurando exemplificar desta forma o uso da abordagem ANP no que tange a tomada de decisão. Por restrições de espaço, este trabalho limitará apenas em ilustrar os passos a serem seguidos na solução do problema em questão.

**O primeiro passo: definição da hierarquia de controle e objetivo principal do problema.**

Constitui-se em definir a estrutura hierárquica do problema. Neste caso, o desafio foi transpor os conceitos do modelo apresentado na Fig. (1) para os da Fig. (5). Desta forma, o objetivo principal é estabelecer o grau de agilidade que uma empresa esteja apta a responder aos direcionadores de agilidade (alternativas), através de suas ferramentas



provedoras de agilidade (atributos) inseridas nas dimensões chaves do sistema de manufatura (dimensões de agilidade). As Agility Capabilities (determinantes) constituirão cada uma em redes de hierárquicas de controle. A Figura (6) ilustra o modelo em estudo.

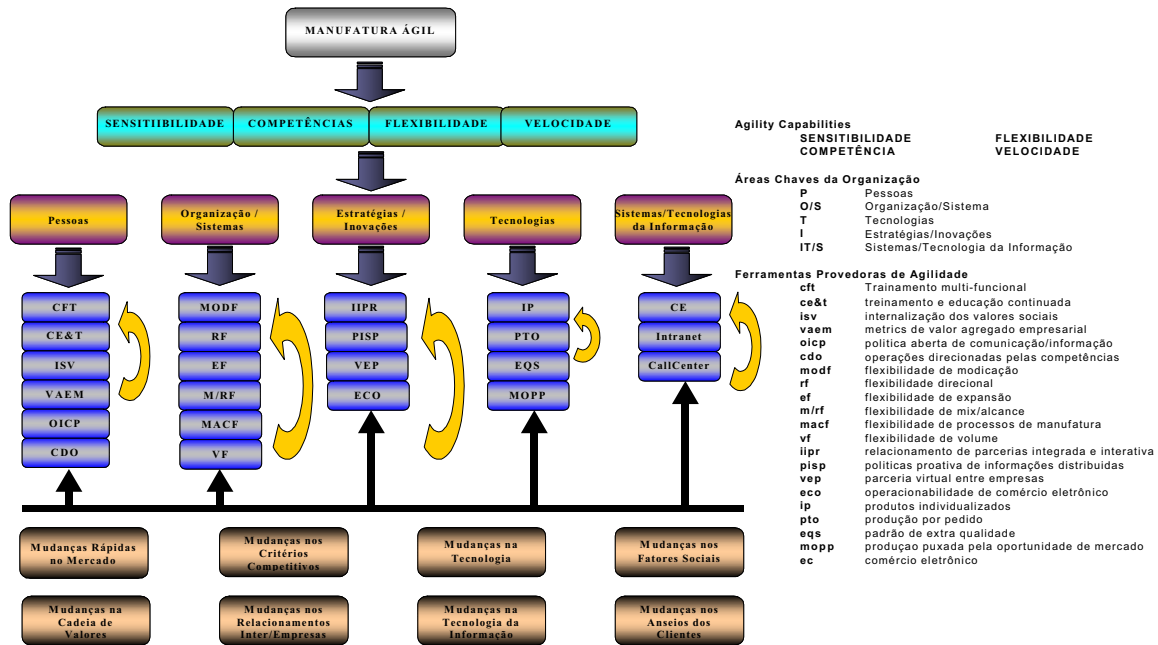


Figura 6. Análise dos Direcionadores de Agilidade pela Abordagem ANP. Adaptado de . Meade and Sarkis (1999).

**Segundo passo: determinação das matrizes de comparação par-a-par de dependências.**

Nesta fase, de acordo Meade and Sarkis (1999), os tomadores de decisão são obrigados a responder uma série de comparações par-a-par onde dois componentes (suas importâncias relativas) a um dado momento serão comparados com respeito a um critério de controle de nível superior. Utiliza-se a escala de Saaty (1980) para estabelecer o grau de dominância ou dependência de um componente sobre o outro.

A primeira pergunta a ser respondida é “qual o grau de importância relativa  $P_{ja}$  de uma dada dimensão  $j$  do sistema de manufatura ágil – AMS, sobre cada capability  $a$  na determinação do índice de agilidade da empresa em responder às mudanças quando são feitas comparações par-a-par destas dimensões  $j$ ?”. A Matriz (2) refere-se a capability velocidade. São construídas quatro matrizes de comparação par-a-par para este índice.

Matriz 2. Matriz de comparação de paridade entre dimensões chaves AMS pertinente a capability velocidades..

VELOCIDADE		Pess	Org/Si	Est/In	Tecn	Velo	$P_{ja}$
Pess	1		1/7	1/3	1/6	1/4	0,039
Org/Si	7	1		4	8	1/8	0,301
Est/In	3	1/4	1		9	2	0,259
Tecn	6	1/8	1/9	1		1/4	0,086
Sist/Te	4	8	1/2	4	1		0,314
soma	21,000	9,518	5,944	22,167	3,625		1,000

Qual é o impacto (grau de importância) relativo  $A^D_{kja}$  pelo atributo provedor de agilidade  $k$ , de uma dada dimensão AMS  $j$ , sobre a rede de hierarquia de controle de capability de agilidade  $a$ , a partir das relações de dependências  $D$  entre os elementos desta dimensão AMS  $j$ . No total são construídas 20 matrizes.

O próximo questionamento é determinar o grau de importância relativa  $S_{ikja}$  de dado direcionador de agilidade  $i$  sobre o atributo provedor de agilidade  $k$  de dimensão AMS  $j$  para a hierarquia de controle de capability  $a$ . No total são construídas 78 matrizes, sendo 21, 20, 19 e 18 matrizes de comparação para-a-par para as respectivas redes de hierarquia de controle: sensibilidade, competências, flexibilidade e velocidade.

**Terceiro passo: determinação das matrizes de comparação par-a-par de interdependências.**

Esta etapa se justifica para refletir as interdependências que ocorrem em cada rede de hierarquia de controle. A questão a ser levantada é: “quando considerado o atributo provedor de agilidade  $k_1$ , qual o grau de importância relativa  $eW_{kja}$ , da comparação par-a-par dos atributos provedores de agilidade  $k_2$  e  $k_3$ , ambos provedores da dimensão AMS  $j$ , visando a otimização da capability  $a$ ?”. São construídas 92 matrizes de comparação par-a-par, 23 matrizes para cada capability.

**Quarto passo: formação e análises da supermatriz M.**

Os valores obtidos no passo anterior  $eW_{kja}$  referente a cada atributo provedor de agilidade  $k_1$ , em cada dimensão AMS  $j$ , alimentarão a supermatriz  $M$  pertinente a cada capability  $a$ , totalizando quatro matrizes.

Cada um dos valores diferente de zero em cada supermatriz  $M$ , são índices de importância relativa associados as matrizes de comparação par-a-par de interdependências. Neste exemplo não são considerados interdependências entre os clusters de dimensões AMS  $j$  e seus componentes  $k_{ja}$ . Se existir uma interdependência entre atributos provedores de agilidade pertencentes a clusters distintos, então de acordo com Meade and Sarkis (1999), a supermatriz  $M$  terá obtido sub-matrizes de diagonal diferente de zero.

Meade and Sarkis (1999) relatam que a supermatriz resultante necessita ter colunas estocástica, ou seja, cada uma coluna da supermatriz necessita ter somatória igual a um. Caso isto não ocorra, a matriz não é coluna estocástica, em outra palavras há interdependência entre cluster. Uma abordagem recomendada é determinar a importância relativa dos cluster com a coluna cluster como elemento controlador.

É necessário que a supermatriz tenham colunas estocástica para convergir. Meade and Sarkis (1999) apontam a abordagem para que ocorra a convergência das relações de interdependências através de elevar a supermatriz  $M$  para o domínio  $2k+1$  onde  $k$  é um número arbitrário de valor elevado. Desta forma determina-se o índice  $A^I_{kja}$ , o qual refere-se ao grau de importância relativa para o atributo provedor de agilidade  $k$  de dimensão AMS  $j$  na rede de hierarquia de controle pertinente a capability  $a$  para as relações de interdependências  $I$  dentro dos nível do componente de atributo provedor de agilidade.

**Quinto passo: análise dos direcionadores de agilidade para uma rede de hierarquia de controle.**

A Equação (4) determina o índice desejável  $D_{ia}$  para cada direcionador de agilidade  $i$  pertinente a uma rede de hierarquia de controle de capability  $a$ . No total serão construídas 4 tabelas pertinentes as capabilities.

$$D_{ia} = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{K_{ja}} P_{ja} * A^D_{kja} * A^I_{kja} * S_{ikja} \tag{4}$$

**Sexto passo: determinação dos índices ponderados de agilidade.**

Este passo consiste em determinar os índices ponderados de agilidade  $AWI$  para cada direcionador de agilidade  $i$ . Através da comparação par-a-par das capabilities de agilidade  $a$  pode-se determinar o grau de importância relativa  $C_a$  em responder as mudanças no ambiente de manufatura.

O índice ponderado de agilidade  $AWI$  para um direcionador de agilidade  $i$  é simplesmente o produto dos índices desejados  $D_{ia}$  e o grau de importância relativa para cada capability  $C_a$  em responder as mudanças imposta pelo ambiente de manufatura.

$$AWI = \sum_a D_{ia} * C_a \tag{5}$$

Os resultados apresentados na Matriz (2) têm apenas o intuito ilustrativo, é através destes resultados finais aqui apresentados que os tomadores de decisões analisarão as melhores alternativas estratégicas que a empresa deverá implantar. As linhas da Matriz (2) referem-se as capabilities, ao passo que as colunas referem-se aos direcionadores de agilidade. este paper refere-se a um trabalho de tese de doutorado em desenvolvimento, o qual consiste em elaborar um modelo conceitual de empresa ágil incluindo o uso de uma metodologia de apuração de custo de produto utilizando sistemas modernos de custeio.

Matriz 2. Matriz de comparação de paridade entre dimensões chaves AMS pertinente a capability velocidades..

	Ca	MRM	MCC	MTec	MFS	MCV	MR/E	MTI	MAC
Compreensibilidade	0,465	0,023	0,086	0,048	0,041	0,099	0,135	0,045	0,037
Competências	0,341	0,037	0,118	0,068	0,017	0,294	0,015	0,093	0,004
Flexibilidade	0,104	0,032	0,122	0,081	0,245	0,001	0,039	0,327	0,256
Velocidade	0,090	0,051	0,109	0,090	0,158	0,094	0,123	0,267	0,301
AWI		0,031	0,102	0,062	0,065	0,161	0,091	0,129	0,126

**6. Conclusão**

O sistema de manufatura ágil é uma resposta as incertezas do cenário econômico em que as empresas hoje estão inseridas. A sobrevivência de uma empresa no mercado globalizado depende de sua compreensibilidade e de sua capacidade de respostas rápidas e flexíveis. A abordagem ANP usada neste paper é uma ferramenta efetiva para modelar decisões internas complexas frente às poderosas pressões externas. O foco deste modelo consiste em analisar as pressões externas e como o sistema de manufatura reage através de suas ferramentas provedoras de agilidade, bem como a necessidade de desenvolver suas capabilities.

## 7. Agradecimento

Os agradecimentos a CAPES, ao RECOPE/FINEP/BID e ao LMA/DEF/FEM/UNICAMP.

## 8. Referências

- Batocchio, A. et al., 1999, Manufatura Ágil X Sistema Holônico de Manufatura. IV SBAI – Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, Set. 08-10, São Paulo SP, Brasil.
- Goldman, S. et.al., 1995, Agile competitors and virtual organizations. New york: Van Nostrand Reinhold.
- Gunasekaran, A. et al. 1999, Agile Manufacturing: The Drivers, Concepts and Attributes. International Journal of Production Economics, Vol.62, pp 33-44.
- Gunasekaran, A., 1998, Agile manufacturing: enablers and implementation framework. International Journal of Production Research, Vol.36, No 5, pp 1233-1247.
- Hamalaine, R.P. & Seppalaine, O.T., 1986, The Analytic Network Process in Energy Policy Planning. Socio-Economic Planning Science, 20, 399-405.
- Lai, V. S. et. al., 1999, Software Selection: A Case Study of The Application of The Analytical Hierarchical Process to The Selection of Multimedia Authoring System, Information & Management, Vol. 36, pp. 221-232.
- Lee, G.H., 1998 Designs of components and manufacturing systems for agile manufacturing. International Journal of Production Research, Vol.36, No 4, pp 1023-1044.
- Mead, L.M. and Sarkis, J., 1999. Analyzing Organizational Project Alternative for Agile Manufacturing Process: An Analytical Network Approach., International Journal Production Research. Vol. 37, N<sup>o</sup> 2, pp. 241-261.
- Owen, David and Kruse, Günther, 1997, Follow the customer. *Manufacturing Engineer*, April, Vol. 76, N. 2.
- Pamplona, E. O., 1997, Contribuição para a Análise Crítica do Sistema de Custos ABC através da Avaliação de Direcionadores de Custos, Tese de Doutorado, Fundação Getúlio Vargas – Escola de Administração de Empresas de São Paulo, São Paulo – SP, Brasil.
- Pant, S. et al., 1994, Manufacturing information integration using a reference model. International Journal of Operations & Production Management, No 14, pp 52-72.
- Saaty, T. L., 1996. Decision Making with Dependence and Feedback: the Analytic Network Process. RWS Publications, Pittsburgh, USA.
- Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York – USA.
- Sharifi, H. & Zhang, Z. 1999, A Methodology for Achieving Agility in Manufacturing Organizations: An Introduction. International Journal of Production Economics, Vol.62, pp 7-22.
- Weck, M. et. al., 1997, Evaluating Alternative Production Cycles Using The Extended Fuzzy AHP Method, European Journal of Operation Research, Vol. 100, pp. 351-366.

## ANALYSIS OF THE AGILITY DRIVERS THROUGH MAKING-DECISION APPROACH: ANP – ANALYTICAL NETWORK PROCESS

### MSc. Eng. Antônio Carlos de Souza

UNICAMP/FEM/DEF – Cx.P: 6122 – CEP: 13083-970 - Campinas, SP, Brasil  
[antcarls@fem.unicamp.br](mailto:antcarls@fem.unicamp.br)

### Prof. Dr Antonio Batocchio

UNICAMP/FEM/DEF - Cx.P: 6122 – CEP: 13083-970 - Campinas, SP, Brasil  
[batocchi@fem.unicamp.br](mailto:batocchi@fem.unicamp.br)

**Abstract.** This work introduces the concepts of agile manufacturing, considering the changes in business environment that the company to a new position in running their business and searching for competitive advantage like as *agility drivers*; the abilities that would provide the required strength for responding to changes like as *agility capabilities*; and finally the *agility providers* that are the means by which the so-called capabilities could be achieved and are supposed be sought from four areas of manufacture environment: organization/system, people, technology, information technology/systems and innovation. The objective this paper is apply the ANP approach to identify that changes influence the agile manufacturing environment, and how the company can prepare to achieve success. Another objective is identify, through model, that *agility providers* the company will achieve its *agility capabilities*.

**Keywords:** *Agile Manufacturing, Agility Drivers, Making Decision, Analytical Hierarchical Process, Analytical Network Process.*

## Identificação de Custos na Cadeia de Suprimento: Fonte de Vantagem Competitiva para as Empresas

**Flávio Costa Ribeiro Lima**

UNICAMP – FEM – DEF – Cx. Postal 6162 – CEP: 13081-970

[fcrlima@fem.unicamp.br](mailto:fcrlima@fem.unicamp.br)

**Rogério Monteiro**

UNICAMP – FEM – DETF – Cx. Postal 6162 – CEP: 13081-970

[monteiro@fem.unicamp.br](mailto:monteiro@fem.unicamp.br)

**Antonio Batocchio**

UNICAMP – FEM – DEF – Cx. Postal 6162 – CEP: 13081-970

[batocchi@fem.unicamp.br](mailto:batocchi@fem.unicamp.br)

**Resumo:** *As empresas encontram nesta fase globalizada do capitalismo um ambiente altamente competitivo e hostil, onde há a necessidade de entrega mais rápida do produto/serviço que o cliente deseja, no preço estipulado por ele, com qualidade superior. Assim se faz necessário ter um bom entendimento dos processos da cadeia de suprimentos que a empresa está inserida (a gestão da aquisição, da movimentação e da armazenagem de materiais, peças e produtos acabados (e, porque não de fluxos de informações)), através da organização e de seus canais de marketing, para maximização dos lucros. Fonte de vantagem competitiva, uma boa administração da cadeia de suprimentos faz diferença. Para se lucro (ou satisfazer plenamente os objetivos esperados de acionistas), há a necessidade de se ter baixo custo, ou um produto com diferença perceptível de valor. Atualmente a tendência é uma defasagem qualitativa menor entre as empresas, ficando evidente a diferenciação entre uma empresa de sucesso e outra qualquer em como ela administra os custos que incorrem em seu produto final. O objetivo deste artigo, por meio de uma revisão bibliográfica, é identificar os custos envolvidos na cadeia de fornecimento, encontrando na literatura exemplos de aplicações práticas dos conceitos mais recentes de custeio, identificando as principais causas destes custos, e meios para reduzi-los na cadeia de fornecimento, mantendo equilíbrio com os níveis de serviços logísticos. Esse artigo é parte integrante de um estudo maior envolvendo análise do Supply Chain Management e da Logística.*

**Palavras-chave:** *Logística, Estocagem, Movimentação, Armazenagem, Distribuição.*

### 1. Introdução

O objetivo primordial de um sistema integrado de suporte logístico é desenvolver um pacote de recursos logísticos que otimizem a operação de qualquer sistema (Green, 1991). O projeto de um sistema para suporte a um bem ou serviço tem um tremendo impacto nos recursos necessários no futuro. Adequado planejamento de logística pode assegurar que isto seja conseguido com o menor custo possível, quando se pensa no ciclo de vida do produto.

No pós-venda, fornecer um Suporte Logístico Integrado (SLI) adequado incorre em custos logísticos muito altos, e estes custos são influenciados pelas decisões feitas nas fases precedentes do ciclo de vida do produto, assim o planejamento do suporte logístico tem que ser incluído nos estágios de planejamento do produto, ou serviço.

Os objetivos aqui são **(i)** influenciar o projeto para reduzir custos deste suporte e operação e simplificar a operação/manutenção de equipamentos, e **(ii)** projetar, desenvolver, testar e adquirir suporte logístico adequado para assegurar que o sistema opere.

O conceito de logística incorpora unidades físicas de produção em vários locais, transportes, estoques, manuseio e armazenamento. O que há de novo é o elemento de suporte (ou serviço pós-venda), que requererá treinamento, desenvolvimento de publicações técnicas, e aquisição de partes extras, ferramentas especiais e equipamentos de testes. Pode-se entender a logística, então, como sendo o processo de *se ter a quantidade certa do item certo no lugar certo no tempo requerido pelo cliente*. A gestão das atividades do SLI tem se tornado a tarefa de garantir que estes objetivos são alcançados com uso aceitável de recursos.

A definição dada para SLI pode ser interpretada como sendo uma parte integrante de todos os aspectos do sistema e sua operação, constituindo uma função da gestão na qual o planejamento inicial, financiamento, e controles estão estabelecidos para assegurar que o usuário final receberá um produto/serviço que estará de acordo com os requerimentos de performance, e que pode ser suportado ao longo de sua vida útil programada de uma maneira economicamente viável.

Logística, por si só, é uma função de suporte, e o produto da logística é performance. Os consumidores ficam frustrados quando os produtos que compram falham, especialmente se o produto tem um alto custo final, como

carros. Performance dentro da logística é uma função de disponibilidade, capacidade e qualidade. *Disponibilidade* é uma função de níveis satisfatórios de estoques e é medida pela probabilidade de que um item estará disponível quando necessário; *Capacidade* se refere à velocidade e consistência dos ciclos de performance logísticos, e por fim, *Qualidade*, é relativa ao número de itens incorretos, que estão faltando, ou refugados. Cada uma dessas medidas tem que ser consideradas para prever conclusões errôneas a respeito do nível de performance logístico.

O objetivo da logística é reduzir o preocupante custo logístico por meio de uma melhor gestão, organização, e utilização de todos os recursos para o máximo possível. Tem que assegurar também que o processo de aquisição de materiais inclua a disponibilidade temporal de todos os recursos logísticos necessários. Quando a logística é considerada independente do produto, a perspectiva de ciclo de vida se perde, como resultado de falta de coordenação e comunicação, compromisso de interrelacionamento pessoas-máquinas, ênfase no lugar errado, e paroquialismo (medo de mudança).

Ainda segundo Green (1991), os altos custos dos produtos tendem a tornar mais difíceis a resolução dos problemas quanto ao balanço entre capacidades atuais e futuras, complexidade e simplicidade dos sistemas, qualidade e quantidade, e custos operacionais e custos de pesquisa e desenvolvimento. Entretanto, as aquisições de produtos têm que ser direcionadas para o alcance do melhor balanceamento entre custo, agendamento, performance e suportabilidade.

Os objetivos para a aquisição de materiais incluem: manutenção de uma base tecnológica forte; assegurar adequada padronização e interoperabilidade; alcançar um balanceamento adequado entre baixo risco, desenvolvimento evolucionário, e esforços superiores para manter superioridade tecnológica; desenvolver uma estratégia de aquisição perfeita para satisfazer as necessidades e condições dos materiais específicos alternativos e suplantando os objetivos de aquisição; estabelecer no início do programa uma política de recursos humanos e de treinamento integrada ao suporte logístico para assegurar que o sistema logístico atende os objetivos; desenvolver sistemas que operem em conjunto com outros sistemas e sejam transportáveis, tenham controlado ou eliminado problemas com segurança, saúde e meio-ambiente.

## 2. Nível de Serviço ao Consumidor

A gestão do serviço ao consumidor e a habilidade de responder efetivamente às suas necessidades e expectativas são os objetivos perseguidos em todos os níveis dos canais de suprimento, conforme em Ross (1998). Atualmente, devido a expectativas dos consumidores serem cada vez mais altas, os canais de suprimento têm que se preocupar mais com relação a produtos e serviços com maior qualidade e customizados, entregas cada vez mais rápidas, e tecnologias de informação e comunicação adequadas. Antigamente a competição se dava por meio de produtos produzidos em massa, padronizados. Agora os consumidores exigem ser tratados como indivíduos únicos, e esperam que sejam tratados por seus fornecedores como tais, e que estes os entreguem produtos com combinações e configurações variadas, serviços e informação que são capazes de evoluir conforme evoluem suas necessidades.

A chave para satisfazer o consumidor é entender e continuamente aumentar o que o mesmo percebe como valor. As empresas têm que ser flexíveis o bastante para fornecer aos consumidores a mistura certa de produtos e serviços que preenchem suas necessidades ou permite que eles persigam novas oportunidades, o que difere muito da era em que se tentava persuadir o consumidor a comprar produtos pré-configurados. Embora o que possa ser considerado valor possa diferir em detalhe e escopo baseado nos produtos realmente desejados, o consumidor atual requer ao menos um, e muitas vezes muitos, dos seguintes atributos-chave de mercado: *Qualidade, Preço, Entrega, Produtos, Nível de Serviço*.

Os consumidores atualmente não requisitam somente produtos customizados de alta qualidade, mas também esperam que sua compra sejam acompanhadas com uma matriz de serviços com valores agregados ao produto. Muitos serviços tradicionais podem ser descritos como sendo *commodities* porque eles diretamente acompanham o produto. Tais serviços como qualidade, garantias, embalagem, descontos, e documentação permitem ao consumidor receber valor adicional com o recebimento do produto físico. Além disto, existem outros serviços que são extrínsecos ao produto, tais como crédito, transporte, garantia de entrega, treinamento, e outros que adicionam valor por reduzir os custos internos ao consumidor, facilitando o fluxo de informações de negócios, e aumentando a produtividade.

No passado a gestão adequada de um produto significava que os mesmos tinham que ser projetados com a capacidade de melhoria contínua nos processos e redução dos custos dos materiais. Hoje, como os ciclos de vida continuam a baixar, a habilidade dos fabricantes de diminuir o tempo que leva da concepção do produto para vendê-lo adicionou uma dimensão nova na gestão de custos do produto. Os fabricantes têm que estar aptos a reduzir os custos de projeto, o *time-to-market*, o risco e as falhas, continuamente, se quiserem sobreviver no mercado e ficar uma cabeça a frente de seus competidores, de um lado, e das expectativas de seus consumidores, de outro. Além disto, a luta pela liderança na inovação de produtos tem uma base global, pois fabricantes e distribuidores procuram aumentar suas oportunidades de compra de materiais, componentes e bens que possuam qualidade superior e possam ser levados ao mercado rapidamente, isto feito em uma escala mundial.

Segundo Alvarenga et al (2000), nível de serviço é o conjunto de variáveis que traduzem o desempenho do sistema logístico, como prazo de entrega do produto, porcentagem de avarias, número e tipo de reclamações, etc. Caso se deseje melhorar o nível de serviço é de se esperar que os custos aumentem também. Ocorre que no caso brasileiro existem situações operacionais não otimizadas com custos relativamente altos. Ao se otimizar a solução do problema muitas vezes ocorre o contrário, redução de custos ao mesmo tempo em que se melhora o nível de serviço.

Isto é possível porque o enfoque realizado para a otimização quase sempre é o sistêmico, onde se consegue uma melhor utilização dos recursos disponíveis. Assim é perfeitamente possível conseguir um custo logístico menor do que o custo inicial da operação. Nem sempre se conseguem resultados satisfatórios, mas no caso brasileiro, ainda segundo Alvarenga et al (2000), a condição de nível de serviço ruim e custos altos ocorre com frequência acima da razoável, produzindo, o enfoque sistêmico de solução logística, um benefício duplo para a empresa: melhoria do nível de serviço e redução de custos logísticos.

O enfoque sistêmico e os conceitos da Teoria dos Sistemas consistem em dos pilares básicos da Logística Aplicada. No caso da logística, os setores que se interpenetram dentro da empresa, sempre que um problema logístico importante surge, são múltiplos e de visões antagônicas. Em Alvarenga et al (2000), ainda se postula que existem sete características essenciais para o entendimento básico do assunto e para a aplicação prática deste enfoque sistêmico. São elas: O sistema é formado por componentes que interagem; Sistema otimizado; componentes idem; Todo sistema tem pelo menos um objetivo; A avaliação do desempenho de um sistema exige medidas de rendimento; Sistemas requerem planejamento; Manutenção do nível de desempenho requer controle permanente; Interação do sistema com o ambiente.

O sistema logístico inclui, na maioria dos casos, dois tipos de transporte de produtos: a transferência, envolvendo deslocamentos maciços entre dois pontos (um único ponto de partida e um único de chegada), e a distribuição propriamente dita, ou entrega, em que os veículos servem vários destinos numa única viagem, cumprindo um roteiro de entregas (Alvarenga et al, 2000).

Para que se possa medir o nível de desempenho de um sistema é necessário definir a medida de rendimento. Para os sistemas logísticos em geral define-se um conjunto de atributos comumente conhecido por nível de serviço, que é constituído pelos seguintes fatores principais: prazo de entrega; avarias e defeitos; extravios; reclamações.

Algumas das variáveis acima podem ser quantificadas, mas a questão que se coloca é: qual o nível que a empresa deve estipular para a medida de rendimento de seu sistema? Quanto mais perfeito o nível de serviço pretendido, mais caro ele será para a empresa. Colocando o nível de serviço de um lado e os custos de outro, como o custo financeiro de estoque, o custo de transporte (transferência ou distribuição), e o de armazenagem e manuseio, o que se pretende é achar um ponto de equilíbrio.

### 3. Custos Logísticos

Uma vez que o gerenciamento logístico é um conceito orientado para o fluxo, com o objetivo de integrar recursos ao longo de todo o trajeto que se estende desde os fornecedores até os clientes finais, é desejável que se tenha métodos de avaliação destes custos e do desempenho (Christopher, 1997). Uma conclusão a que se chega é sobre ser a falta de informações a respeito de custos um dos motivos mais importantes para a dificuldade que muitas empresas têm sentido para a adoção de uma abordagem mais integrada para a logística e para o gerenciamento da distribuição, como podemos denotar em Christopher (1997) e Johnson et al (1996).

Conforme em Bowersox et al (1996), os custos logísticos podem variar de 5 a 35% das vendas, dependendo do tipo de negócio, área geográfica de operação, e a razão peso/valor de produtos e materiais. A logística é responsável pelos mais altos custos do negócio, sendo seguido pelo custo de mercadorias vendidas. Apesar do que esta afirmação demonstra, e o que se desenvolverá neste artigo, o mais notável na logística não se encontra na compreensão dos custos, nem em sua redução, apesar de serem fundamentais, mas sim do entendimento de como as empresas posicionam sua competência logística para ganhar vantagem competitiva.

A missão logística seria, então, a um nível estratégico, ter que procurar alcançar um equilíbrio entre o nível de serviço prestado ao consumidor e o custo total da operação.

O problema de desenvolvimento de um sistema adequado de custeio orientado à logística pode ser considerado como uma questão de enfoque. Isto se resume à capacidade de focalizar os resultados dos sistemas de distribuição (fornecimento de serviço ao cliente), e identificar os custos específicos associados a estes resultados. Os métodos tradicionais de custeio não possuem este enfoque.

Os dois princípios básicos do custeio logístico são refletir o fluxo de materiais (custo de fornecimento de serviço ao cliente), e possibilitar análise separada de custos e receitas (por tipo de cliente, por segmento de mercado, canal de distribuição, etc). Operacionalizar estes princípios exige uma orientação para resultados, assim um sistema de custeio

logístico eficaz deve procurar determinar o custo total do sistema para a realização dos objetivos logísticos desejados e os custos dos diversos fatores envolvidos na obtenção destes resultados.

Está claro que não há uma simples cadeia logística que possa ser aplicada a todo e qualquer produto, em toda e qualquer indústria. Toda indústria tem seu próprio canal de distribuição de um produto e aquele de outro. Agora que começou a revolução logística, um número cada vez maior de companhias está examinando seus próprios problemas de logística, para determinar onde podem ser feitas economias. Ainda conforme Uelze (1974), reduzindo à simplicidade matemática, o problema de logística poderia ser descrito como:

$$L = T + A + M + O + D \quad (1)$$

O custo logístico é igual ao custo de transporte, mais o custo de armazenamento, mais manuseio, mais custo de obsolescência, mais custo do dinheiro. O problema aqui é achar a combinação de números que reduza os custos logísticos a um mínimo.

Estes custos, obviamente, não são lineares. O custo de transporte e o de armazenagem variam de acordo com a quantidade de produto embarcado; quanto maior a quantidade, menor o custo unitário. Observando-se o custo do capital necessário para manter as mercadorias em trânsito, ou na cadeia logística, chega-se a conclusão de que quanto mais rápido elas se movimentarem, mais baixo o montante de capital necessário para manter a cadeia logística. Usando-se transportes mais caros e rápidos, é possível reduzir o manuseio ao mínimo.

Apesar de serem de alta importância, os custos de obsolescência são mais difíceis de determinar, pois os custos não são estáticos, e mal uma solução foi obtida, ela já se torna obsoleta, pois inovações ocorrem e a taxa de obsolescência pode mudar.

Para Eilon et al (1971), em consideração da performance de um sistema de distribuição logística, pode-se dar conta dos custos totais incorridos no transporte e armazenamento de bens, sendo que a função custo total pode ser descrita como:

$$C = F + G + H \quad (2)$$

onde F= custo dos armazéns no sistema; G= custos de transporte das plantas industriais aos armazéns; H= custos de entrega dos bens do armazém aos consumidores

### 3.1. Custo de Transporte

As principais formas de funções de custo de transporte são, segundo Eilon (1971), são:

(1) Os custos dependem do volume (ou peso) e da distância a ser percorrida, tomando a forma:

$$G = b \sum W_i d_i \quad (3)$$

onde  $b$  = custo por unidade por distância;  $W_i$  = montante transportado da planta industrial para o armazém  $i$ ;  $d_i$  = distância da planta para o armazém  $i$ , esta distância pode ser a menor linha reta possível, ou a distância real coberta pelo meio de transporte.

(2) As transportadoras, algumas vezes, fazem cotações de custo que são dependentes do peso, mas não da distância:

$$G = \sum \gamma_i W_i \quad (4)$$

onde  $\gamma_i$  é o custo por montante unitário transportado para o armazém  $i$  e  $W_i$  é o montante transportado para o armazém. O parâmetro de custo  $\gamma_i$  pode depender da localização do armazém, então alguns lugares podem ser mais baratos para transportar bens por causa da facilidade de acesso ou porque há a possibilidade de recarregamentos. A implicação de tal função de custo é que se  $\gamma_i$  é cotado para uma dada área, então os custos de transporte para um armazém dado uma determinada quantidade de trabalho continuam os mesmos para todas as localizações possíveis do armazém naquela área, mas a função custo assumirá um novo valor quando o armazém for movido para além daquela pré-determinada área.

(3) Se o transporte é feito por containeres, cada um de uma dada capacidade, e se o custo de transportar um container permanece o mesmo seja cheio ou vazio, então os custos assumirão outra forma:

$$G = b_0 N + \sum b_i N_i d_i \quad (5)$$

onde  $b_0$  = é o custo fixo por container;  $N$  = é o número total de containeres;  $b_i$  = é o custo unitário por distância para transportar um container para o armazém  $i$ ;  $N_i$  = é o número de containeres transportados para o armazém  $i$ ;

A Equação (5) é a expressão geral para os custos de transporte. Para o caso especial de  $b_0 = 0$ , e  $b_i$  sendo constante em todas as localidades, uma equação similar à Eq. (3) é obtida. Para o caso em que  $b_0 = 0$ ; e a localização for mais importante que a distância percorrida, reduz-se a equação acima para a Eq. (4).

Os custos de transporte segundo Eilon et al (1971) são influenciados por inúmeros fatores, sendo que se podem listar alguns: o tipo de *commodity* a ser transportada, o cuidado com o qual deveria ser manuseada, dentre outros.

O último fator é particularmente importante. Se os meios de transporte são de propriedade da empresa, então além dos custos variáveis devido à operação de transporte por si mesma incorrem custos fixos, acrescidos aos variáveis; mas se a organização depende de transportadoras externas para transportar os bens para os armazéns, então é mais usual expressar os custos de transporte como diretamente relacionados ao montante transportado para as distâncias envolvidas.

Como no Brasil a maioria do transporte de cargas se dá por meio de rodovias (algo em torno de 70% em volume de cargas (Alvarenga et al, 2000)), os custos que compõem o custo de transporte rodoviário de cargas são divididos em: Custos Diretos e Indiretos, como depreciação, remuneração do capital, salário do motorista e ajudantes, etc, que respondem por 85% do total; Custos Variáveis, função da distância percorrida; e Custos Fixos.

Bowersox et al (1996) postula que além dos custos listados acima para o transporte, existem os custos de junção. Estes seriam os gastos impossíveis de prever que são criados no ato da decisão de fornecer um serviço de transporte em particular.

Ainda segundo Bowersox et al (1996), existem os custos comuns, que incluem os custos de carregamento que incorrem sobre todas as empresas transportadoras ou em alguns segmentos destas. Custos comuns, como gastos de gestão ou de terminais, são caracterizados como *overhead*. Estes são sempre alocados a empresa transportadora (que usualmente é a carregadora) de acordo com um nível de atividade como o número de carregamentos manuseados.

### 3.2. Custo de Entrega Local

Uma função geral de custo para entregas locais, vindas do armazém para o consumidor final, pode ser expressa na forma de um rearranjo da Eq. (5). É mais usual, entretanto, expressar este custo como:

$$H = a \sum w_j d_{0j} \tag{6}$$

Que é similar a Equação (3), exceto pelo fato de que:  $a$  = custos de entrega por montante por distância;  $w_j$  = montante entregue para o consumidor  $j$ ;  $d_{0j}$  = distância do armazém ao consumidor  $j$ .  $H$  é calculado para cada armazém e depois é feita uma somatória de todos os armazéns do sistema.

A distância na Equação (6) representa a distância radial entre o armazém e o consumidor, o que é relevante para o caso de quando um veículo supre um consumidor e então retorna para a base. Em muitos casos, um veículo pode suprir muitos consumidores em uma só viagem, e a soma das distâncias destas viagens, ao invés da soma das distâncias radiais, precisa ser considerada.

### 3.3. Custos de Armazenagem

O custo de manter um armazém no sistema logístico consiste, segundo Eilon et al (1971), de seguir os componentes: Depreciação das construções ou aluguel, manutenção e reparos; Taxas, eletricidade e outros serviços; Custo de equipamentos e pessoal para manuseio da mercadoria; Administração, rede de comunicação, faturamento; Custo de inventário (cobrança de juros, custo de manutenção de bens, deterioração e obsolescência).

Estes custos podem freqüentemente ser combinados para englobar o custo total para um armazém  $i$  expresso como:

$$F_i = a_i + f_i(W_i) \tag{7}$$

Onde:  $a_i$  = custos fixos para o armazém  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ );  $f_i(W_i)$  = custos variáveis os quais dependem da quantidade de trabalho gasta  $W_i$  nos produtos, e do custo de todos os armazéns no sistema.



Alguns comentários constantes em Eilon et al (1971) se fazem pertinentes. Os custos fixos podem ser dependentes da localização do armazém, mas quando os custos fixos forem os mesmos para todos os armazéns do sistema, a Eq.(7) se reduz para:

$$F = ma + \sum f_i(W_i) \quad (8)$$

Por simplicidade, os custos variáveis são expressos em termos do montante de trabalho gasto, mas em alguns casos pode ser mais conveniente usar dois outros fatores muito importantes, como a área do armazém ou o nível de inventário como indicadores para calcular custos variáveis. O uso da quantidade de trabalho gasta sugere que se espera que os custos incorram pelo fluxo e manuseio de materiais; a área é associada com custos de aluguel do espaço requerido pelo armazém; o nível de inventário tem implicações com as taxas de carregamento (incluindo juros).

Para Bowersox et al (1996), um armazém está localizado próximo às plantas de produção para servir como um ponto de montagem e consolidação de itens produzidos. A razão fundamental dos armazéns é facilitar o embarque de produtos para os consumidores. O princípio econômico básico para o posicionamento de um armazém é a consolidação do sistema de transportes.

### 3.4. Custos de Estocagem

Deve-se levar em conta, segundo Uelze (1974), não somente os estoques da própria fábrica, mas também, os armazéns gerais, regionais e locais, bem como os distribuidores e, muitas vezes, os existentes nas mãos dos varejistas, cobrindo todos os elos do canal logístico.

Os estoques são dispositivos normalizadores dos fluxos de produtos entre as fases do processo que liga produtores e consumidores, possibilitando o trabalho sem interrupção do fluxo de suprimento. Ocorre que os produtos devem ser colocados em local o mais próximo do consumidor, ou no armazém do próprio consumidor, pois o produto em estoque representa custos, que vão desde a movimentação interna, até a armazenagem, seguros, capital imobilizado, e outros; portanto, o nível de estoque de produtos deve ser reduzido a um mínimo.

Ross (1998), propõe uma gestão do estoque por toda a cadeia de suprimento, sendo o objetivo fundamental de uma gestão da cadeia de suprimentos. Garantindo o balanceamento entre o valor de se ter estoque e os custos incorridos em tê-lo requer do gestor um completo entendimento do escopo, das funções e do valor esperado dos estoques, assim que surjam ao longo da rede de suprimentos.

Os estoques podem representar de 40 a 70% de uma venda típica de um empreendimento, em dólares. Ainda segundo Ross (1998), uma empresa de consultoria gerencial pesquisou de 1975 a 1993 o peso relativo de se ter estoques como uma porcentagem dos gastos totais de distribuição de bens e serviços, e chegou a conclusão de que este número cresceu para 88,2%, enquanto que o custo de manutenção de armazéns cresceu 17,6%. Se esta tendência continuar, os gastos com estoques e armazenamento poderão chegar a 71% dos custos típicos do canal de suprimentos de uma empresa, por volta do ano 2010, nos EUA.

Em Bowersox et al (1996) estima-se que o custo de estocagem seja o componente principal dos custos operacionais da logística de um negócio. Eles são responsáveis por algo como 37% dos custos logísticos totais de um empreendimento manufatureiro médio. O custo de estocagem é obtido multiplicando-se a porcentagem do custo de manutenção pelo valor médio do estoque. Discute-se, portanto, a criação de uma porcentagem adequada de custo de manutenção e o impacto deste nas finanças do negócio.

Para Bowersox et al (1996) achar a porcentagem ideal de custo de manutenção não é simples, pois a mesma depende do julgamento da gerência, da estimativa dos níveis médios de estoque, designação dos custos relacionados ao estoque, e um grau de medidas diretas. A contabilidade tradicional inclui no custo de manutenção do estoque, o custo do capital, o custo de seguro, da obsolescência, da estocagem e os impostos. A determinação do custo de manutenção do estoque através de um grupo de produtos ou de matérias-primas requer uma análise substancial. Enquanto o custo do capital pode ser aplicado a uma média do estoque, os gastos associados com seguros, obsolescência, estocagem e com impostos podem variar de acordo com os atributos específicos de cada produto. Ter uma quantidade  $x$  em estoque implica em dizer que há menos  $x$  de capital disponível para outros usos. Bowersox et al (1996) ainda discute as diferenças de percentual de custo de manutenção de uma empresa a outra, e suas implicações no processo decisório da empresa, como políticas de estoque e armazens.

### 3.5. Gestão pelo Custo Total

Os custos operacionais crescem, as margens de lucro caem, a medida que os consumidores pedem por preços cada vez mais competitivos (Ross, 1998). Assim a logística pode adicionar significativamente mais vantagem competitiva por meio de controles melhores de custos operacionais e de processamento. Pode-se dizer que a gestão efetiva dos

custos do empreendimento começa com um funcionamento eficiente da logística, e o alcance do balanceamento ideal entre custo e nível de serviço. Identificar o impacto de decisões logísticas no custo total do canal é difícil. Uma decisão de cortar custos de estoque pode resultar em um declínio no nível de serviço ao consumidor e em um aumento nos custos de transporte.

De acordo com Ross (1998), devido a pressões econômicas centradas na inflação, altas taxas de juros, falta de materiais e de energia, altas taxas de desemprego, e sincronização das economias mundiais; bem como de desenvolvimento de tecnologias computadorizadas de informação e a aplicação de ferramentas de análise quantitativa à gestão logística; a adoção de um paradigma de sistemas totais de logística, aumento da competição no sistema de distribuição e o aumento de pressões competitivas no mercado forçaram o final do paradigma da descentralização da logística organizacional, por volta dos anos 1970.

Surge então a fase da logística conhecida como Gestão pelo Custo Total. O primeiro ponto principal deste paradigma é o esforço das empresas de manufatura e distribuição para centralizar as funções de logística dentro de um único sistema gerencial, e a fusão das atividades logísticas que foram previamente espalhadas em departamentos autônomos dentro da empresa. Assim a gerência poderia ver mais de perto as interações entre o estoque, o transporte, compras, e serviço ao consumidor; definindo como cada função seria coordenada para otimizar o sistema como um todo. As empresas começaram então a remover o controle da gestão de materiais e distribuição física dos departamentos de marketing, vendas e produção, reorganizando-os dentro de um departamento central de logística sob o comando de um corpo gerencial único.

O segundo ponto principal do paradigma está centrado no desenvolvimento do conceito de custo total. A base desta filosofia de gestão reside na premissa que porque os custos logísticos e o nível de serviço ao consumidor são recíprocos, a efetiva gestão da logística deveria se ater em calcular os *trade-offs* de custo necessários para balancear os custos totais do sistema logístico com os objetivos de vendas e *marketing*. Assumiu-se que os custos operacionais de cada função logística eram inversamente proporcionais e que a gerência deveria se ater a minimizar os custos totais da logística, ao invés de focar na redução de uma ou duas funções logísticas específicas.

Para se implementar e apresentar uma análise logística por custo total é comum praticar o foco em estoque e transporte, como os dois principais fatores no projeto da rede (Bowersox et al (1996)). Os gastos de transporte e estoque podem ser definidos num formato suficientemente largo para incluir as relações entre os custos de atividade e funcionais, para os componentes logísticos aos quais se relacionam. Em termos de estoque, os custos totais incluem todos os gastos relacionados com o custo de armazenagem do inventário e de pedido do consumidor. O custo total de transporte inclui gastos para aluguel de transportadoras e taxas mais os custos relacionados com danos causados de várias maneiras, formas legais de transporte, e gastos administrativos associados.

A lógica de se focar em transporte e estoque é que eles representam as dimensões espacial e temporal das operações logísticas (Bowersox et al, 1996). O transporte lida com a dimensão geográfica (espacial) das operações logísticas por posicionar o produto onde o consumidor que comprá-lo. O estoque envolve a taxa na qual os ativos de capital são utilizados (temporal) para atender os requisitos do consumidor por ter o produto disponível quando o consumidor que comprá-lo. Uma segunda justificativa é que estes dois fatores incluem de 80 a 90% dos gastos logísticos totais para uma empresa típica.

Considerando, portanto, que o problema do gerenciamento logístico é atender as necessidades do cliente da maneira mais eficiente, é essencial que as pessoas responsáveis disponham de dados que sejam os mais precisos e significativos possíveis. Na seqüência, apresenta-se uma breve introdução a respeito de dois tipos de sistema de custeio.

## 4. Métodos de Custeio

### 4.1. Activity Based Costing (ABC)

O custeio baseado em atividades (*Activity Based Costing*), ou ABC, é um processo de acumulação e rastreamento de custos e de performance de dados para as atividades de uma dada empresa. Fornece um *feedback* dos resultados reais, confrontando-o com os custos planejados. O ABC, desta forma, auxilia e direciona a empresa na formulação de planos estratégicos e nas decisões operacionais, identificando oportunidades de melhoria para o negócio. Tem por finalidade também determinar o custo por produto ou por processo da empresa (Di Domenico, 1994).

A abordagem de custeio ABC para a gestão dos custos é de fragmentar a organização em atividades. As atividades descrevem o que a empresa faz, mostrando como o tempo é gasto e quais os resultados dos processos, assim, as atividades convertem recursos em produtos ou serviços, mesmo que estes recursos estejam distribuídos em diferentes áreas funcionais da empresa. Sendo assim, as atividades são uma base poderosa para gerenciar o negócio.

O ABC ocorre em duas fases principais. Na primeira, denominada *Custeio do Processo Baseado em Atividades*, determinam-se os custos das atividades. Na segunda, denominada *Custeio de Objetos Baseado em Atividades*, os custos das atividades são alocados aos objetos de custo (uma forma de identificar os recursos consumidos com base nos processos).

Sinteticamente, o ABC é uma técnica que procura refletir a causalidade entre recursos, atividades e objetos de custo na alocação de custos indiretos (esta causalidade deve ser muito bem definida para cada atividade analisada). Os causadores, direcionadores ou geradores de custos, devem ser o parâmetro que reflete como os recursos são consumidos pelas atividades, na primeira fase de alocação, e como as atividades são executadas em benefício dos objetos de custo, na segunda fase de alocação.

#### 4.2. Target Costing

Em Berlinger et al (1998), o Custo Alvo, ou *Target Costing*, é definido como um custo baseado no mercado que é calculado, usando-se o preço de venda necessário para captar uma fatia predeterminada do mercado. Em indústrias competitivas o preço unitário de venda será estabelecido independentemente do custo inicial do produto. Se o custo alvo estiver abaixo da previsão inicial do custo do produto, a empresa deverá reduzir o custo unitário por determinado tempo a fim de enfrentar a competição do mercado.

Caso o custo alvo seja inicialmente inferior aos custos projetado ou padrão, reduções de custos devem ser efetuadas nos orçamentos e nos padrões, durante um período de tempo. Estas reduções de custos podem ser alcançadas de duas formas: experiência conseguida por aprendizado durante aprimoração de processo produtivo, e implementação de uma filosofia de melhoria contínua, para eliminar desperdícios. Para implementar o conceito de custo-alvo, a empresa pode desejar desenvolver sistemas de medição mais detalhados para custos e desempenho dos níveis de atividade. Tais sistemas vão ajudar a identificar o progresso alcançado na realização dos objetivos de custo-alvo.

Ainda conforme Berlinger et al (1998), segundo estudo dirigido por grupo *Computer Aided Manufacturing-International* realizado no Japão, apesar de não ter valor científico, chegou-se à conclusão que os japoneses utilizam a gestão de custos por custo-alvo. A administração decide, antes que o produto seja projetado, qual deve ser o custo do produto, baseando-se no mercado, ao invés de na manufatura (o planejamento e as reduções de custos recebem mais ênfase que o controle dos custos).

As empresas entrevistadas empregam uma técnica específica de custo-alvo para redução de custos. Antes de projetar um novo produto, o custo-alvo é estabelecido de tal forma que o produto será competitivo depois de um período introdutório a certo nível de produção. Os engenheiros projetam o produto de forma que o mesmo possa ser fabricado àquele custo. Uma vez atingido o custo-alvo para o produto, um novo e menor custo é definido como alvo. A engenharia e a fabricação, entre outros departamentos, trabalham para alcançar o novo custo-alvo revisado, e, paralelamente, as empresas japonesas podem ou não reduzir os preços para aumentar participação no mercado.

Outra característica importante que sai deste estudo é que a maioria dos investimentos dos negócios japoneses é feita para alcançar uma posição estratégica, significando que um critério-chave para se investir é a capacidade de se atingir custo-alvo de um produto. Isto torna conveniente para os gerentes justificar o investimento na base de que o projeto ajude a atingir o custo-alvo. Em outras palavras, para justificar a aquisição de uma nova tecnologia, os gerentes demonstrariam como a mesma irá capacitar a fabricação do produto ao custo-alvo.

Derivado de estimativas acerca do preço ideal de venda e do lucro que se pretender ter ao vender um produto, o custo-alvo está se tornando uma ferramenta estratégica para a sobrevivência de empresas no mercado global. Acredita-se que, em se tratando de aplicações de custo-alvo, uma redução e planejamento de custos em grande escala devem ocorrer no início do ciclo de vida do produto.

#### 5. Exemplo de Aplicação de Métodos de Custeio – Target Costing

Existe a opinião de que não há motivos para que uma metodologia de custeio não seja aplicada a produtos durante a manufatura. Em um estudo realizado nos EUA, nota-se que se os gerentes acreditarem que durante a manufatura somente mudanças incrementais são possíveis, as empresas perderão oportunidades estratégicas interessantes (Shank et al, 1999).

O estudo fora conduzido em uma planta industrial de 1890 que tem fabricado o mesmo produto por 50 anos. Ficou mostrado a relevância de se considerar o custo de manufatura comparativamente ao custo-alvo, ao invés do custo atual. As técnicas de custo-alvo forçaram os gerentes a reescrever as regras de como fornecer valor ao cliente.

Em outro estudo realizado tendo como base sete empresas japonesas distintas, chegou-se a um programa passo-a-passo para implementar o custo-alvo.

Primeiro, a empresa que desejar implantar estas técnicas deve fixar os objetivos a longo prazo para lucros e vendas, estruturando as linhas de produção para alcançar lucratividade máxima, estabelecendo o preço-alvo de venda do produto. Para novos produtos, deve-se fixar uma meta de lucro marginal consistente com os objetivos de lucratividade de longo prazo da empresa, e descobrir o custo *aceitável* para o produto (subtraindo o preço-alvo de venda da margem de lucro-alvo).

Deve-se impor disciplina no processo de desenvolvimento do produto para se chegar ao custo-alvo, sem, no entanto, sacrificar funcionalidade e qualidade do produto. Também é de suma importância fixar custo-alvo para os componentes e peças do produto, gerindo de forma adequada a cadeia de suprimentos. A regra básica que emerge do estudo é nunca exceder o custo-alvo. Os japoneses reforçam esta idéia diluindo os acréscimos de custo em alguma área do projeto por economias em outras áreas do projeto; não lançando o produto no mercado, caso o custo-alvo não tiver sido atingido; e por gerir cuidadosamente a transição do projeto à manufatura.

Ocorre que não se encontrou, salvo um estudo desenvolvido em Figueiredo (2000), onde se discute a lucratividade das empresas ligadas à Internet, um trabalho científico que tenha a mesma preocupação do visto em Klen et al (1998) para as empresas virtuais, e em Bueno (2000), onde se estuda a implantação do modelo ABC para o setor de logística de uma empresa de bebidas, com resultados considerados bons (utilizou o *Target Costing* como fonte de informação). Daí a importância do prosseguimento deste estudo na determinação de custos da cadeia logística de empresas, no presente momento, virtuais.

## 6. Conclusões

Segundo Uelze (1974), um grande número de indústrias produtoras de bens de consumo viveu situações de espiral crescente de custos, devido a uma orientação desbalanceada na relação cliente-serviço, o que, guardadas as devidas proporções, pode-se corroborar ainda hoje, com mais nitidez ainda no mercado brasileiro. Isto acarreta custos ascendentes de distribuição. Por outro lado, inúmeras indústrias extrativas e de processos básicos defrontam-se com o decréscimo de lucro, devido ao elevado custo de transporte de matérias-primas.

Em Martos (2000) encontra-se o redesenho logístico de uma indústria petroquímica, com preocupação clara quanto a localização e o tamanho das fábricas e centros de distribuição; as atividades logísticas nestas instalações, e as atividades da cadeia de suprimentos.

Na configuração de uma rede logística, no nível estratégico do planejamento da cadeia de suprimentos, tomam-se decisões para horizontes de longo prazo e utilizam-se dados mais agregados. Assim, como em Martos (2000), o modal de transporte e o número, tamanho e localização das instalações estão no nível estratégico, e são necessários para o desenho da rede logística.

Quanto ao cenário externo, o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Social), em seu planejamento estratégico para o período de 2000-2005, planeja investir um total de R\$75 bilhões na economia brasileira. Já o JBIC (*Japan Bank for International Cooperation*), antigo Eximbank, afirma que possui US\$25 bilhões para investir em projetos no Brasil, a juros variando de 1,8% a 2,5%a.a., com retorno de 3 a 15 anos (Gradilone, 2000).

Abundância de recursos (estatais e privados; nacionais e estrangeiros), ainda que muito mais seletivos, e mercado com tendência para altos retornos. Neste contexto, onde a competição será cada vez mais acirrada, há um consenso de que a empresa deva se concentrar nos processos em que ela pode ser classificada como *world class*, e que ela deve identificar e entender todos os custos que incidem em sua cadeia logística, pois isto afeta o preço final do serviço/produto ofertado no mercado. Para tanto, a empresa deve possuir uma ferramenta de alocação de custos que propicie identificar quais são seus processos-chave, formadores de custo, o que poderia ser obtido por uma implantação do conceito do Custeio Baseado em Atividades; ou ainda partir do preço final, que é determinado pelo mercado, e buscar o Custo Alvo para que seus processos possam ser reengenheirados a fim de se tornar referência para o consumidor, e alvo de *benchmarking* de seus competidores. Assim, na busca de melhores processos, possibilitam-se tomadas de decisão mais acuradas e estratégias mais afinadas com o objetivo principal da empresa que é a lucratividade.

## 7 - Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo suporte técnico financeiro dado a este estudo.

## 8 – Referências

Alvarenga, A. C.; Novaes, A. G., 2000, “Logística Aplicada: Suprimento e Distribuição Física”, Editora Edgard Blücher, 3ª Edição.

- Banco Nacional de Desenvolvimento Social – BNDES – [www.bndes.org.br](http://www.bndes.org.br), 11/10/2000.
- Berlinger, C.; Brimson, J. A., 1998, “Gerenciamento de Custos em Indústrias Avançadas – Base Conceitual CAM-I”, Editor T. A. Querioz Ltda.
- Bowersox, D. J.; Closs, D. J., 1996, “Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process”, Editora McGraw-Hill.
- Bueno, C. R., Maio, 2000, “Utilização do ABC como Apoio ao Processo de Tomada de Decisões na Logística de Distribuição: um Caso da Indústria de Bebidas da Região de Sorocaba”, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, USP.
- Christopher, M., 1997, “Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégias para a Redução de Custos e Melhoria dos Serviços”, Editora Pioneira, 1ª Edição.
- Di Domenico, G. B.; Outubro, 1994, “Implementação de Um Sistema de Custos Baseado em Atividades em um Ambiente Industrial”, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia de Fabricação, Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp.
- Eilon, S.; Watson-Gandy, C. D. T.; Christofides, N., 1971, “Distribution Management: Mathematical Modelling and Practical Analysis”, Ed. Charles Griffin&Co. Ltd.
- Figueiredo, J. M., 2000, “Finding Sustainable Profitability in Electronic Commerce”, Sloan Management Review, Volume 41, número 4, páginas 41 a 52.
- Gradilone, C., Novembro/2000, “Dinheiro Garantido”, Revista Exame, Edição 726, número 22, ano 34, páginas 108 a 109, Editora Abril.
- Green, L.; 1991, “Logistics Engineering, New Dimensions in Engineering”, John Wiley & Sons, Inc.
- Johnson, H. T.; Kaplan, R. S., 1996, “A Relevância da Contabilidade de Custos”, Editora Campus, 2ª Edição.
- Klen, A. A. P.; Rabelo, R. J.; Spinosa, L.M.; Ferreira, A. C., 1998, “Integrated Logistics in the Virtual Enterprise: The Prodnnet-II Approach”, IFAC.
- Martos, A. C., 2000, “Projeto de Redes Logísticas em Consideração de Estoques e Modais: Aplicação de Programação Linear Inteira Mista à Indústria Petroquímica”, Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, USP, São Paulo.
- Ross, D. F., 1998, “Competing Through Supply Chain Management: Creating Market-Winning Strategies Through Supply Chain Partnerships”, Chapman & Hall.
- Shank, J.K.; Fisher, J., 1999, “Case Study: Target Costing as a Strategic Tool”, Sloan Management Review, Volume 41, número 1.
- Uelze, R., 1974, “Logística Empresarial: Uma Introdução à Administração dos Transportes”, Editora Pioneira.

### Supply Chain Management Costing Identification: A Source for Enterprise’s Competitive Advantage

**Flávio Costa Ribeiro Lima**

UNICAMP – FEM – DEF – P.O. Box: 6162 – CEP: 13081-970

[ferlima@fem.unicamp.br](mailto:ferlima@fem.unicamp.br)

**Rogério Monteiro**

UNICAMP – FEM – DETF – P.O. Box: 6162 – CEP: 13081-970

[monteiro@fem.unicamp.br](mailto:monteiro@fem.unicamp.br)

**Antonio Batocchio**

UNICAMP – FEM – DEF – P.O. Box: 6162 – CEP: 13081-970

[batocchio@fem.unicamp.br](mailto:batocchio@fem.unicamp.br)

**Abstract:** *The enterprises find in this era of global capitalism an extreme hostile and competitive environment, where there is the necessity of delivering to the consumer the product/service s/he wants in the fastest way possible, in the pré-determined price, with high quality. So it’s necessary to have a good understanding of the enterprise’s Supply Chain Processes (such as acquisition management, distribution management, materials, parts and finished goods warehousing (and information flow)) through the entire organization and its marketing channels, as the profitability increases. The well managed supply chain is a source of competitive advantage. The enterprise must have low costs, or a value-added product, in the search to be profitable. Nowadays, as a tendency, there isn’t a high distance in quality among two companies, and the way enterprise manages its product’s incurred costs will distinguish the successful one from another. The goal for this article is to identify the supply chain costs, and to find some examples of recent and real applications of the concepts achieved, concerning to the recent trends in costing management, using the literature; and it’s also a goal to find the main causes for these costs, with methods to reduce them in the supply chain, sustaining the logistical service level. This article is an extract from a major study in the Logistics and Supply Chain Management analysis.*

**Key-words:** *Logistics, Inventory Storage, Handling, Warehousing, Distribution.*

## SEMI AUTONOMOUS TEAM FOR AMAZON PROGRAM

**Prof. Dr. Antônio Batocchio** is professor at University of Campinas and Post Graduation Coordinator in Manufacturing and Process Engineering. He is Mechanical Engineering Master in Science at University of São Paulo (EESC – USP), 1987. And he got his Doctor degree at University of Campinas (UNICAMP), 1991. He also got his Post Doctor Degree at University of Minnesota - USA, 1996.  
UNICAMP – Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo – Faculdade de Engenharia Mecânica – C.P. 6122 – CEP 13083-970 - Campinas – SP (Brazil)  
batocchi@fem.unicamp.br

**Amauri Lopreto** is Human Resources Supervisor. He is responsible for Labor Relation, Services, Wage Structure, Benefits policy and Work Group development in the Amazon Program.  
FORD MOTOR COMPANY BRASIL LTDA – R. dos Polímeros, 2000 – Área Industrial Leste – CEP 42810-000 – CPI 2908 – Camaçari – BA (Brazil)  
alopreto@ford.com

**Rogério Nakamura** is Ford Production System coordinator for the Amazon Program. Actually, he is FPS IT Enablers (Plant Floor Systems) coordinator at Manufacturing Engineering for the same program. He has a MBA degree, *Lato Sensus*, at FAAP College, 1998, and he is developing a master degree, *Stricto Sensus*, in Manufacturing Production Systems, emphasis in Automation, Mechanical Engineering, University of Campinas (UNICAMP).  
FORD MOTOR COMPANY BRASIL LTDA – R. dos Polímeros, 2000 – Área Industrial Leste – CEP 42810-000 – CPI 2908 – Camaçari – BA (Brazil)  
rnakamur@ford.com

***Abstract.** This article focus is based on the team organization structure, which is being strategically developed for the Amazon Program by the Brazilian Ford Production System (FPS) Area at Ford Motor Company Brasil Ltda, launching in 2002. It describes the challenges in implementing the peculiarly Semiautonomous approach to a typical Brazilian regional culture among 16 main different work culture partners inside the Manufacturing Plant (most of them in Final Assembly), called as “condominium” system. This also brings the regional barrier due to the automotive work inexperience from the local people hired at this Program, differences between the team types from 2 existent Brazilian Ford Plants (Sao Bernardo do Campo and Taubaté) and finally, the article aims to emphasize this challenge as a mindset change.*

***Keywords.** Ford, Semi autonomous team, Lean Manufacturing, Amazon Program, Work Group.*

### 1. Introduction

In the fall of 1973, the Oil Crisis opened Ohno’s eyes and reinforced him to implement the Toyota Production System (TPS) and its philosophy. Mr. Ohno also criticized Ford’s successors in not following the market changes, making Henry Ford’s mass production system obsolete. He also emphasized that Henry Ford’s production system was a great revolutionary idea that gave Mr. Ohno basis to implement the TPS [Ohno, Taiichi. 1988].

If we compare the economic situation at that time and face ours economy fluctuation in the emergent market from South America nowadays, we must need a flexible (reliable) production system, making many types of vehicle models (B-Cars niche) with an outstanding quality to accomplish order demand and time. Since Ford Motor Company Brasil Ltda follows the FPS and its lean philosophy, Amazon launching team tries to capture Ohno’s critical above and joints it to the local Brazilian culture for this vehicle Program, using Semiautonomous team (Self Direct Work team – SDWT) to achieve the flexibility and agility requirements.

As far as Ford Motor Company raises 3 challenges to this new age, called as triumvirate programs (Heritage – Rouge, Millenium – Chicago and Amazon – Camaçari, State of Bahia, Brazil), the Amazon Program backs to Henry Ford’s idea, however diminishing Frederick W. Taylor’s vestige and aligning the human-centred approach [Corbett, J. Martin & at al. 1991] as one of the strategies. And the major challenge as states before for this program is not also the development of semiautonomous concept, but also integrate this philosophy within 16 main partners (16 different working cultures). These partners are located inside the Ford Plant, which is called as Camaçari Industrial Complex, delivering the vehicle modules assembled at the point of usage by Ford Assembly Line. These modules are described in Table 1.

Tabel 1. Amazon Module Partner 1

<i>Module Partners</i>	<i>Module Description</i>
<i>VISTEON</i>	Instrument Panel
<i>LEAR</i>	Seat
<i>ALLIANCE BENTELEER</i>	Rear & Front Suspension + Engine & Transmission deck
<i>ABB</i>	Maintenance (Integrated Service Provider)
<i>KAUTEX</i>	Fuel System
<i>VALEO</i>	Front Panel
<i>BSB</i>	Stamping Parts (Body Shop Area)
<i>PELZER</i>	Carpets and Wires
<i>ARVIN</i>	Exhaust System
<i>LLL</i>	Logistics (Integrated Service Provider)
<i>INTERTRIM</i>	Soft Trim
<i>MAPRI</i>	Fasteners
<i>PIRELI</i>	Tire & Wheel
<i>DDOC</i>	Painting (Paint Shop – Ford Joint Venture)
<i>SAS</i>	Door
<i>SIEBE</i>	Rubbers & Sealing

This new enterprise culture must follow the seven key components of effective teams as described by [Huszczo, Gregory E. 1996]: Clear Sense of Direction, Talented Members, Clear and Enticing Responsibilities, Reasonable and Efficient operating Procedures, Constructive Interpersonal Relations, Active Reinforcement Systems and Constructive External Relations.

In fact, Ford is leading these keys components implementation within the partners (Tier I and II). And due to the implementation effort complexity, Amazon is supported by local universities (Bahia Federal University and University of São Paulo) and consultants to achieve those seven components integration within just one and single local culture.

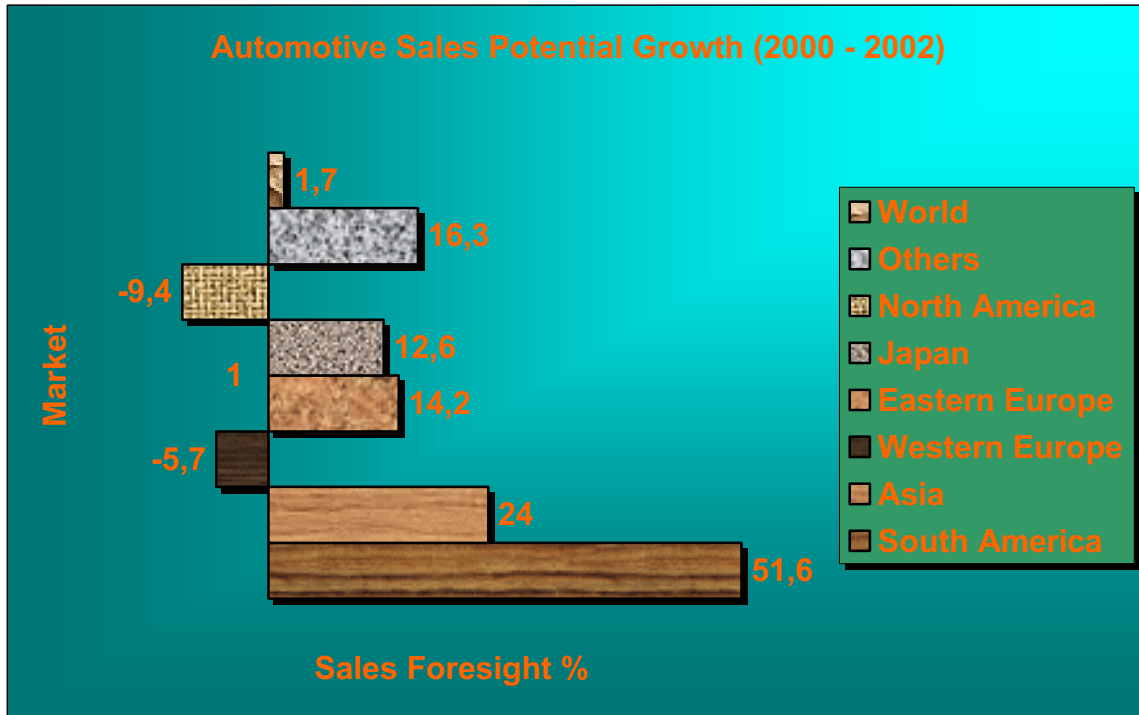
The following topics will discuss the steps for these 7 keys components implementation as:

- “The regional culture from Bahia, Brazil”: Adapt to the local and regional culture, establishing the human centered parameters to develop the Semiautonomous team;
- Team Organizational types approaches;
- Team Type Comparison within the 2 Ford Brazilian Plants to Amazon Plant;
- Implementation Plan and Strategy;
- Conclusion: failure fears and positive expectation.

## 2. The regional culture from Bahia, Brazil

Four Automotive Industries (General Motor, Fiat, Volkswagen and Ford) led the small/medium vehicles market in 1980s. Nowadays, we still have these 4 plus 7 (Renault-Nissan, Peugeot, Chrysler, Mercedes Benz, Toyota, Honda, and Audi-VW) new Automotive Plants installed in 1990s, struggling to the same market. And there is a reason for these boom stated by A. T. Kearney Consultant firm in their South America forecast report for the best worldwide automotive market growth from 2000 - 2001 described at [FORBES Brasil. Pages 36 – 41, October 25, 2000] in table 2.

Tabel 2. A. T. Kearney Report 1



All of these industries, including the new ones, are strategic installed at Southeast and South of Brazil due to Logistics items (Roads, existing Ports, etc), MERCOSUR (South America Economic Group), human resources with technical expertise and so on.

Ford Motor Company Brasil Ltda keeps its fourth position for Volume Sales in Brazil, however Renault and Peugeot, the two newest vehicle companies in the country, wishes to take this 4<sup>th</sup> position as a business strategy (See table 3). While Ford tries to keep its position, it aims the top 3 with an ambitious strategy installing its new Plant in a region where there is no automotive background, the Northeast of Brazil.

Tabel 3. Brazilian Automotive Rank 1

Position	Automotive Companies (Vehicle Sales Volume at Brazilian Market: 1996 - 2000)
1	Volkswagen
2	Fiat
3	General Motors
4	Ford
5	Renault
6	Peugeot

This new region brings one of the competitiveness parameter among all of the others advantages (political, economical and social aspects), which is the local culture high adaptability and flexibility. However, Ford will face the lack of automotive knowledge and low education level compared to the Southeast region.



Prof. Dr. (Mrs.) Tânia Fischer from Federal University of Bahia, Business and Administration Areas, raised the following objectives for the Amazon program stated at the workshop done on February, 2000 [Fischer, Tania. 2000]:

- Identify the main issues from culture, behaviors, values and attitudes at the local (Baiana Culture) and their relationship at Amazon working style;
- Define a management model, which covers the local culture diversity in order to keep the social and working relationship harmony, and focusing to the best work group synergy and local resource productivity optimization.

It was raised the demographic composition, social classes types, beliefs, faiths, style of professional life and future trends to evaluate the Management model for the Complex at this workshop, reinforcing the dexterity in learning.

This research and its implementation align to Ford Cultural Diversity strategy, which is being strongly divulged among Ford Motor Company Brasil Ltda Corporation. "Despite the extremely diversified cultural context in which Brazilian enterprises operate, the issue of cultural diversity is new in their agenda. The emergence of this theme is much more related to the need to create competitive advantages by developing diversified competencies, media (market) advertising, instead of attending to legal procedures, as in the USA and Canada." [Fleury, Maria Tereza Leme. 2000].

Therefore, Ford Motor Company Brasil Ltda will try to capture the Baiana strength wishes in valorizing their own diversified ancestry, including African roots (noticed on songs, food and religious syncretism) and multi racial mixture; however, it is a stratified society, in which the access to educational opportunities and to work ascending status is pre-defined by their economical and racial ancestry. And to solve this kind of difference, Ford Motor Company Brasil Ltda will try to get the diversity approach related to employee individuality respect and recognize it; managing the diversity implies in developing the necessary competences to achieve the business success.

### 3. Team Organization Types Approaches

After looking at this diversity population, the right key to success will be choosing and matching the right team type for the Plant. And that's the challenge among the five-team types as follow:

- Informal sense of a team;
- Traditional work units with a supervisor;
- Problem-solving task forces, committees, and circles;
- Leadership teams, steering committees, and advisory councils;
- Self - directed work teams (SDWT) [Huszczko, Gregory E. 1996].

It is very common that we have the mixture from all of them, combining in just one team characteristic for the Plant. And it is very usual that one characteristic surpasses others.

In the Amazon Program, this predominant characteristic falls in the semi autonomous team (SDWT) approach, which is following the definition as "an intact group of employees who are responsible for a whole work process or segment that delivers a product or service to an internal or external customer" [Huszczko, Gregory E. 1996]. In most of the examples raised at several technical documentation shows the difficulty in getting a fully autonomous team with an acephalous team approach. Although the researches indicate that these kind of team will be a future trend, manager and supervisors will be phased out from the day by day at Production Line, changing to a coach or facilitator approach. It means that it must take care in not just change the designation, but also the meaning as support, assist, coordination and leadership.

The team needs to elect a coordinator, experts, and distribute leadership among them. The team will interface their needs with support areas (Human Resources, Maintenance, Engineering, Management, etc) as well as resources recognition. One struggle, which is being challenged, will be managing a team size of 12 people, because it is stated that a team size above ten members is difficult in managing itself as [Huszczko, Gregory E. 1996]. In order to solve this issue, the high training load on Production System (Lean Principles) and Practical Exercises, 500 hours for each employee, guarantee the autonomous empowerment decision that it is required to manage the team and production. Meanwhile, the high ratio (11:1, as 11 operators and 1 facilitator) can also guarantee the speed response for any problems detected at the production line.

At those 12 operators, we call 6 experts (Maintenance Coordinator, Human Resources Coordinator, Logistics Coordinator, Quality Coordinator, Safety Coordinator and Training Coordinator) who have the same level of training as the others. These experts are periodically changed through election and performance evaluation. And they are allowed to change with another work groups at the same production line. This approach was chosen for leveling the work groups.

As stated at [Salerno, Mario S. 1998], in automotive industries, final assembly lines depend on mass production, production volume, and so, the workload and line speed based on conveyors line, workstations, constrain the flexibility in changing the line production way, turning into rigid process, diminishing the autonomous tasks. At other hand, the semiautonomous team holds the work division (horizontally and vertically) contraction, control function incorporation, work rhythm and trying to enrich their roles and responsibilities in order to optimize the production.

Basically, it is expected that ideally semiautonomous teams need to:

- Be collectively responsible for an identifiable piece of the company's business;
- Have clear, measurable daily evidence with which they can verify whether they are succeeding;
- Have members with varying skills, abilities, and problem-solving strategies;
- Have little or no status differences among members;
- Have opportunities for members to interact and meet easily / frequently;
- Be structured to have interdependent job responsibilities;
- Engage in cross-training or at least cross-education on all of the jobs on the team;
- Have the authority to make decisions about how to get the work done;
- Be given a mixture of individual and group rewards;
- Be provided frequent offers of assistance and encouragement from external coaches and resources people. [Huszczko, Gregory E. 1996].

#### **4. Team Types Comparison Within 2 Ford Brazilian Plants to Amazon Plant**

At the two Ford Plants, São Bernardo do Campo (SBC) and Taubaté (TBT), can be characterized in two predominant characteristics as *traditional work units with a supervisor (foreman)* and *leadership teams* respectively.

The first one is far away from Amazon concept, because SBC Plant has no team leader, it has a foreman charged in distributing the tasks among the work units (without leadership distribution). However, this plant has been changing to a leadership team type, which will follow the same team strategy as the Amazon Program. And for this leadership implementation, Ford tries to overpass the following barriers: a strong union and a traditional work mindset.

And regarding to TBT Plant, it is very close to Amazon Work Group concept. There are workgroups, called as Integrated Manufacturing Teams (IMT), with an average size of 10 people each one, including the team leader as well as leadership rotation in a period of 6 months. This leader is proposed in an election process and this team has no supervisor charged in distributing tasks or activities. The team is able to analyze its situation to achieve the productivity objectives. Even though that this is close to semiautonomous team, this maturity has been growing up for five years since the program launching on 1995. In addition to this barrier is the different level of technical knowledge and salary.

Anyway, both Plants are still considered as the Best in Class (BIC) of team group development within Ford Motor Company worldwide.

Amazon tries to capture the lessons learned from both Plants, improving the team autonomy and flexibility from Ford employees. By the way, it is very uncomfortable when Amazon team is forced to find a solution in just at Ford portion, but also at 16 partners, which will live together at Ford Community.

This is the most important challenge in bringing just one society through the automotive industry complex. A huge work is being done to analyze these 16 partners, called as tier one, as follows:

- Raise each partner's understanding regarding to this team approach and workgroup concept for the established objectives in the Amazon Program;
- Raise data matrix (Name of the Company, Activity, Work Group/ Team types, Leadership type; Expertise; Training Methods; Number of layers – hierarchy, Number of supervisors / superintendents, Recognition System, Metrics, etc) in order to get the best in class from each one;

Manufacturing, Human Resources, Training, Engineering and Management Ford Areas strategically handle the information above in order to find out the best solution, fitting for the local manpower characteristics.

## **5. Implementation Plan and Strategy**

This best solution is being tracked at the implementation plan described at three phases: Information grouping (raising the necessary information), operational brainstorm (How does it work?) and Birth Experience. After that there is the implementation as itself.

The two first steps are very common in an ordinary Implementation plan. However, our Birth Experience Phase is a new strategy phase, which Ford can validate its concept / theory in an experimental automotive training center, called as Technical Center. This place take the operator practical training, where it can prove all the theories and design concepts at this initial application area (IAA). And it gives Ford expertise in getting the results and a time relief to correct the wrong strategies at launching phase. This Technical Center is similar to a real Automotive Plant, including the three cores manufacturing areas (Body Shop, Painting and Final Assembly) in a same building, improving Ford practical analysis. This training center is also a proud of Bahia Government, who sponsored this Training Building Implementation. And for future strategy, this training center will be used to validate new management process, as it would be required.

## **6. Conclusion: Failure fears and expectations**

As mentioned in this article, several new strategies and actions implies in a huge risk to the program. This article affects 80% from the manufacturing heart, which is based at the labor. These human resources have a tough and sensible complexity who can change all of the expectations rose at the design phase by our Management, putting on risk the fourth Brazilian market place from Ford Motor Company Brasil Ltda.

At the other hand, if Ford captures the magic raised from his founder, we can prove that enterprises are still based on human centered machinery concept. Ford will get the right flexibility, which cannot be given from its machinery latest technology at most of the time. Agility and quick response depends on manpower decision and that is the main effort in getting the optimized solution in our operator's creativity. At this moment, all of the expectations is being achieved at the training phase and Birth Experience Phase.

## 7. References

- Corbett, J.M., Rasmussen, L. B. & Rauner, F. 1991, "CROSSING THE BORDER: The Social and Engineering Design of Computer Integrated Manufacturing Systems", Springer-Verlag. 135 p.
- Fischer, Tânia. January 2000, "WORKSHOP DE PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE TRABALHO EM GRUPOS NA PRODUÇÃO", Ford Motor Company Brasil Ltda. São Bernardo do Campo.
- Fleury, Maria Tereza Leme. July /September 2000, "GERENCIANDO A DIVERSIDADE CULTURAL: experiências de empresas brasileiras", ERA – Revista de Administração de Empresas. São Paulo, v. 40, p. 18 – 25.
- Huczcz, Gregory E. 1996, "TOOLS FOR TEAM EXCELLENCE: Getting Your Team Into High Gear and Keeping It There", Davies – Black Publishing. Palo Alto, California. 230 p.
- Lima, Marli. October 25, 2000, "ARRANCADA À FRANCESA", FORBES Brasil, p. 36 – 41, Ano I, nº3.
- Ohno, Taiichi. 1998 (English Translation), "TOYOTA PRODUCTION SYSTEM: Beyond Large – Scale Production", Productivity Press, 143 p.
- Salerno, Mario Sergio. 1998, "PROJETO ORGANIZACIONAL DE PRODUÇÃO INTEGRADA, FLEXÍVEL E DE GESTÃO DEMOCRÁTICA: Processos, Grupos e Espaços de Comunicação – Negociação", Tese de Livre Docência. Engenharia de Produção. Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Taylor, Frederick Wiinslow. 1970 (Portuguese Translation), "PRINCÍPIOS DE ADMNISTRAÇÃO CIENTÍFICA", Editora Atlas S.A. v. XIII. 7ª Ed.

# APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO E ANÁLISE DE EXPERIMENTOS NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PRODUTOS PLÁSTICOS

**Edwin V. C. Galdámez**

Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos. Av. Trabalhador São Carlense, n. 400. Centro. São Carlos. SP. CEP 13566-590.

E-mail: [edwin@sc.usp.br](mailto:edwin@sc.usp.br)

**Luiz C. R. Carpinetti**

Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos. Av. Trabalhador São Carlense, n. 400. Centro. São Carlos. SP. CEP 13566-590.

E-mail: [carpinet@prod.eesc.sc.usp.br](mailto:carpinet@prod.eesc.sc.usp.br)

**Resumo.** O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados da aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos no processo de fabricação de produtos por moldagem plástica. São utilizadas principalmente as técnicas de fatorial fracionado em uma empresa do Estado de São Paulo. A finalidade do estudo de caso é identificar os parâmetros do processo de fabricação que mais ocasionam problemas de qualidade aos produtos, assim como, determinar os melhores valores de ajustagem desses parâmetros para a minimização dos problemas, garantindo desta forma a robustez dos produtos que são comercializados no mercado. Ainda, o trabalho pretende colaborar com a inserção de novas informações no meio acadêmico, visto que no Brasil existem poucas informações quanto a implantação e difusão destas técnicas.

**Palavras-chave:** Planejamento de experimentos, Fatorial fracionado e Qualidade robusta.

## 1. Introdução

Um estudo realizado recentemente pela ASQ (*American Society for Quality*), sobre o futuro da qualidade para as primeiras duas décadas do século XXI ressalta que “a busca da qualidade deve mudar, tornar-se mais inovativa, flexível e rápida na implementação das soluções eficazes que conduzam a resultados nos negócios e reflitam os desejos do consumidor” (AQC, 2000). Tal pesquisa descreve que a inovação, flexibilidade e velocidade serão os fatores críticos para o sucesso das empresas em adquirir uma vantagem competitiva. Ainda, ressalta que a empresa terá um desafio maior ao adotar esses novos valores, porque os consumidores têm uma visão diferente e quase incomum desses conceitos. Do mesmo modo, Moura e Taguchi (1999) descrevem que fatores críticos no desenvolvimento de produtos ou processos serão os parâmetros que criarão uma vantagem competitiva na empresa.

Uma das formas de alcançar as características de competitividade ou fatores críticos e atender as necessidades e expectativas dos consumidores é com a utilização das Técnicas de Planejamento e Análise de Experimentos (DOE - *Design of Experiments*) no desenvolvimento de produtos ou nos processos de fabricação. Os conceitos de DOE são utilizados pelas empresas que buscam melhorar a qualidade dos produtos de forma contínua e estão efetivamente comprometidas em assegurar a satisfação do cliente, de maneira pró-ativa.

O experimento projetado ou planejado é um teste ou uma série de testes nos quais se induzem mudanças deliberadas nas variáveis de entrada do processo ou sistema, de maneira que seja possível observar e identificar as causas das mudanças nas respostas ou variáveis de saída - Fig. (1). Ao identificar as causas que provocam as falhas ou as perdas de qualidade nos produtos ou nos processos de fabricação, ações de melhoria mais eficazes poderão ser praticadas pelas empresas.

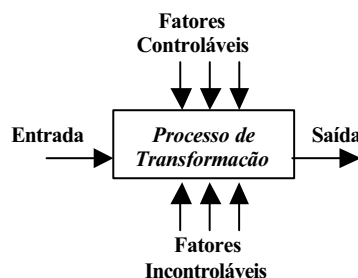


Figura 1. Modelo geral de um processo ou sistema. (Montgomery, 1991)

Entre as diversas técnicas de planejamento de experimentos, a técnica de planejamento fatorial fracionário  $2^{k-p}$  ( $k$  é o número de fatores de controle do experimento e  $p$  é o número de colunas inseridas na matriz experimental) tem

grande potencial de aplicação em problemas industriais, já que, com essa técnica, consegue-se, com uma pequena quantidade de experimentação, analisar a influência de um número grande de fatores.

Este artigo apresenta os resultados de uma série de experimentos realizados utilizando-se a técnica mencionada acima, com o objetivo de melhorar alguns parâmetros de qualidade de um componente plástico, fabricado por moldagem por injeção. O planejamento e a análise dos resultados dos experimentos tem como objetivo principal determinar os fatores de controle do processo que mais influenciam no resultado, ou seja, na qualidade do componente fabricado. O trabalho foi desenvolvido em uma indústria de produtos plásticos localizada no Estado de São Paulo, como parte de um projeto de mestrado.

No artigo são descritos alguns conceitos importantes utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. No decorrer do estudo são expostas algumas das considerações sobre o planejamento dos experimentos, considerações essas discutidas com os responsáveis, na empresa, pelo processo de fabricação e controle de qualidade. Em seguida, os experimentos realizados são brevemente descritos e a análise estatística dos resultados dos experimentos, realizada com a ferramenta ANOVA (*Analysis of variance*) é apresentada. Finalmente, a influência provocada pela variabilidade dos fatores nas respostas do experimento e as conclusões dos experimentos são discutidas.

O trabalho procura contribuir no processo de integração das universidades e das empresas. Visto que, no Brasil, a integração universidade-empresa permanece em um estágio muito incipiente, sendo um problema, muitas vezes atribuído ao distanciamento das atividades acadêmicas e empresariais.

## 2. Técnicas de planejamento e análise de experimentos

O planejamento de experimentos deve-se a Ronald A. Fisher, que durante alguns anos foi responsável pela estatística e análise de dados na estação agrícola experimental em Londres. Fisher foi quem desenvolveu e usou pela primeira vez a técnica da variância como ferramenta primária para a análise estatística do projeto experimental. Apesar dele ser o pioneiro, existem muitos outros autores que contribuíram de maneira significativa nas publicações sobre o projeto de experimentos. Entre eles encontram-se: F. Yates; G. E. P. Box; R. C. Bose; O. Kempthorne e W. G. Cochran (Montgomery, 1991).

Segundo Montgomery (1991) antes de se iniciar a experimentação, é importante estabelecer o planejamento dos experimentos. O autor ressalta a importância do domínio do problema por todas as pessoas envolvidas e recomenda que durante os experimentos, o processo seja cuidadosamente monitorado, para garantir que tudo seja feito de acordo com os planos, pois erro no procedimento experimental muito provavelmente invalidará o resultado do experimento. Ainda, Com a aplicação das técnicas de planejamento de experimentos e análise estatística de dados, procura-se obter a maior precisão das conclusões tiradas a partir da análise dos resultados, reduzir o número de testes e reduzir os custos da experimentação.

Entretanto, antes de realizar qualquer experimento é necessário que todas as pessoas que participam da equipe estejam familiarizadas com a terminologia utilizada em experimentação e alguns conceitos fundamentais, conforme segue:

- **Variáveis de resposta:** são as variáveis que sofrem algum efeito no experimento, quando mudanças, provocadas propositalmente, são produzidas nos fatores que regulam ou ajustam as máquinas no processo de fabricação. Nos testes, podem existir uma ou mais variáveis de resposta que sejam importantes de avaliar.
- **Fatores de Controle:** são os fatores alterados deliberadamente no experimento, com a finalidade de avaliar o efeito produzido nas variáveis de resposta e assim, poder determinar os principais fatores do processo.
- **Fatores de Ruído:** são os fatores, conhecidos ou não, que influenciam nas variáveis de resposta do experimento. Alguns podem ser controlados, outros não. Neste caso, cuidados devem ser tomados na hora de realizar os testes. Este processo evita que os efeitos produzidos pelos fatores de controle, que estão sendo avaliados no experimento, fiquem misturados ou mascarados com os efeitos dos fatores de ruído.
- **Níveis dos fatores:** são as condições de operação dos fatores de controle do processo ou sistema. Ao realizar os experimentos procura-se determinar os níveis ótimos do fator de controle ou o valor mais próximo do definido pelos projetistas.
- **Tratamentos:** são as combinações específicas dos níveis dos fatores de controle no experimento. Isto é, cada uma das corridas do experimento representará um tratamento.
- **Efeito principal:** é a mudança da variável resposta produzida pela mudança no nível do fator de controle.
- **Aleatorização:** é o processo de definir a ordem dos tratamentos no experimento. Podendo ser através de sorteio ou por limitações específicas do experimento.
- **Repetição:** é o processo de repetir cada um dos tratamentos no experimento. Segundo Montgomery (1991), este conceito permite encontrar uma estimativa do erro experimental, que se transforma em uma unidade básica

que determina se as diferenças observadas entre os dados são estatisticamente significativas.

- **Blocos:** é a técnica utilizada para eliminar o efeito de um ou mais fatores nos resultados dos experimentos. Com esta técnica se procura criar um experimento mais homogêneo e aumentar a precisão das variáveis de resposta que são analisadas.

Nos experimentos que são realizados nas indústrias é comum encontrar a necessidade de estudar o efeito de um ou mais fatores. Com isso, observa-se que o número de testes do experimento tende a crescer à medida que os fatores vão aumentando, tornando-se inviável em termos de custo para as empresas. Por outro lado, existe a necessidade de analisar todas as possíveis combinações dos níveis dos fatores do experimento para poder realizar as conclusões.

Segundo Montgomery, (1991) uma das soluções para este tipo de experimento é aplicar a técnica de planejamento fatorial fracionado  $2^{k-p}$ . Com essa técnica, é possível analisar os efeitos sobre uma resposta de interesse, de  $2^k$  fatores em  $2^{k-p}$  combinações de teste. Ou seja, com essa técnica, realiza-se apenas parte do experimento, sem comprometer significativamente a precisão das conclusões decorrentes da análise de resultados. Simultaneamente, os custos e o tempo de duração dos testes são significativamente reduzidos.

Na análise dos resultados dos experimentos, busca-se identificar o efeito produzido na resposta quando da variação dos níveis dos fatores de controle do experimento. Os efeitos são classificados como principal, que representa a variação média da resposta resultante da mudança de nível de um fator, mantendo-se os outros fatores fixos, ou de interação, quando a variação da resposta é decorrente da mudança combinada dos níveis de dois ou mais fatores.

Segundo Abraham et all (1999), quando são utilizadas as técnicas de experimentos fatoriais  $2^{k-p}$ , a equipe responsável assume que os efeitos de interação de ordem superior são desprezíveis. Nesse sentido, Box & Liu (1999) descrevem um estudo sobre as técnicas fatoriais fracionados  $2^{k-p}$  e ressaltam a eficiência de obter informações confiáveis com esses métodos.

Para a análise dos resultados, gráficos lineares podem ser usados para representar e analisar os efeitos principais e os das interações dos fatores. Entretanto, segundo Montgomery (1991), para se analisar os resultados técnicas estatísticas devem ser usadas, em especial, a Análise de Variância. Com a análise de variância, é possível avaliar, com confiança estatística, se os efeitos são significativamente diferentes de zero, e com isso concluir quais dos fatores que de fato, quando alterados, interferem na resposta.

Com os dados analisados matematicamente e com os testes planejados corretamente é possível rejeitar ou aceitar as hipóteses formuladas pela equipe responsável pelo experimento industrial. Barker (1985) denomina esse processo de inferência estatística.

Baseados nos conceitos discutidos acima, iniciou-se a parte prática do trabalho, que incluiu o planejamento e condução dos experimentos e análise dos resultados, conforme descritos a seguir.

### 3. Aplicação das Técnicas de planejamento de experimentos no processo de moldagem plástica por injeção

No processo de moldagem plástica por injeção, o material aquecido em estado líquido é injetado no molde por um pistão, conforme ilustrado na Figura (2).

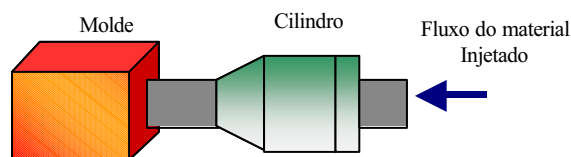


Figura 2. Processo de moldagem por injeção plástica.

Segundo Cominatto (1997) e estudos realizados por Engel & Huele (1996) os principais fatores do processo de moldagem plástica são:

1. **Tempo de ciclo:** é o tempo necessário para completar todas as etapas de um ciclo de moldagem de uma máquina injetora.
2. **Velocidade de injeção:** é a velocidade de avanço do pistão ou da rosca no instante que o material é injetado.
3. **Tempo de injeção:** é o tempo estabelecido no painel da máquina injetora, para realizar a operação de injeção e eventualmente o recalque da peça injetada. Tem controle independente e normalmente é dado em segundos.
4. **Tempo de recalque:** é o tempo estabelecido no painel da máquina injetora para que a rosca continue fazendo pressão sobre os componentes injetados.
5. **Tempo de resfriamento:** fator que controla o tempo que o produto permanece no molde. Ao iniciar o tempo de resfriamento, inicia-se também a dosagem do próximo ciclo de injeção.

6. **Temperatura do molde:** fator controlado (termômetro) através da temperatura da água industrial ou gelada que circula pelos moldes.
7. **Temperatura da máquina:** fator ajustado automaticamente pelo processo e influência a temperatura do material. Essa temperatura é dividida no cilindro em quatro zonas que aquecem o material de transformação.
8. **Dosagem:** é a quantidade de material utilizada para realizar o ciclo completo do processo. O material é escoado através da rotação do parafuso (rosca) que fica dentro do cilindro de aquecimento.
9. **Pressão de Injeção:** é a pressão com que o material é injetado no molde, controlado automaticamente pela máquina e através de um manômetro instalado no cilindro da máquina.
10. **Pressão de recalque:** é a pressão que atua dentro do tempo de recalque. Essa operação é realizada no processo de moldagem plástica para garantir que todas as cavidades do molde (espessura do componente) sejam completamente preenchidas.

Neste processo existem vários problemas decorrentes dos fatores de ajustagem da máquina ou mesmo ruídos. Consequentemente, defeitos, rebarbas ou falhas ocorrem nos componentes injetados. Além disso, o componente, também influenciado pela ajustagem da máquina, pode sofrer deformações, que afetam o dimensional e a forma geométrica, conforme ilustrado na Figura (3).



Figura 3. Problemas no processo de fabricação

Antes de o produto ser produzido, o gerente do processo constrói uma “ficha técnica” para cada máquina e cada produto fabricado na empresa. A ficha técnica determina quais são os valores dos parâmetros (temperatura do molde, pressão de injeção, velocidade de injeção, tempo de injeção, temperatura da máquina, etc) que os operários devem utilizar na hora de regular a máquina, durante o funcionamento ou na etapa de preparação (*set-up* da máquina). Entretanto, quando os problemas aparecem, o responsável pelo setor da manufatura muda os valores dos fatores de controle, previamente definidos pelos gerentes do processo e fabricantes das máquinas utilizadas, até se obter resultados com qualidade satisfatória. Porém, ainda que os operadores de máquina e supervisores tenham grande conhecimento e experiência nos processos, eles gastam muito tempo e material para encontrar as regulagens “ideais” das máquinas.

Sendo esse o contexto da empresa em questão, observou-se que existia a oportunidade de poder aplicar as técnicas de planejamento e análise de experimentos. E, dessa forma, poder contribuir na redução das falhas dos produtos e na integração universidade-empresa. No estudo, foram designados os gerentes de processo, inspeção e qualidade como as pessoas que estariam envolvidas no planejamento dos experimentos, assim como, os pesquisadores. As reuniões eram realizadas semanalmente, nas quais eram discutidos os conceitos e o processo de organizar e planejar os experimento industriais.

### 3.1 Seleção dos fatores de controle e os níveis do processo de moldagem plástica por injeção

Na fase inicial foi selecionado o processo de fabricação de um dos componentes considerado crítico para a empresa. Nessa etapa definiu-se que, os fatores *Tempo de injeção*, *Tempo de resfriamento*, *Temperatura do molde*, *Temperatura da máquina*, *Velocidade de injeção* e *Pressão de injeção*, seriam analisados. Segundo os estudos realizados por Cominatto (1997) e Engel & Huele (1996), entre os fatores citados anteriormente esses são os que mais influenciam nas características de qualidade do processo de moldagem plástica por injeção.

Nesse processo, os valores de regulagem da máquina adotados pela empresa ou a ficha técnica construída para o componente plástico fabricado são: tempo de injeção - 3 seg; tempo de resfriamento - 7seg; temperatura do molde - água gelada ou água industrial - normal, temperatura da máquina/cilindro -  $Z_{1:bico}= 190^{\circ}C$ ,  $Z_2=180^{\circ}C$ ,  $Z_3=175^{\circ}C$  e  $Z_4=170^{\circ}C$ , pressão de injeção - 20 BAR e a velocidade de injeção - 50 % da pressão hidráulica total da máquina. Ao realizar os experimentos industriais, todas as zonas de temperatura da máquina foram consideradas como um único fator do processo e com isso o número de fatores de controle foi reduzido, o que facilitou o planejamento do experimento. É importante ressaltar que esse foi o fator que definiu a seqüência dos testes, visto que o tempo de estabilização da temperatura da máquina é muito alto, fato que inviabilizaria a realização dos experimentos em um só dia.

Em seguida, definiu-se que os níveis de ajustagem desses fatores para a experimentação, seriam conforme



apresentados na Quadro (1).

Quadro 1. Níveis dos fatores controláveis - Primeiro experimento

Níveis	Tempo injeção	Tempo resfriamento	Temperatura molde	Temperatura Máquina		Velocidade injeção	Pressão Injeção
				Z <sub>1</sub> : 190°C	Z <sub>3</sub> : 165°C		
-1	2 (s)	6 (s)	Água industrial	Z <sub>2</sub> : 170°C	Z <sub>4</sub> : 160°C	40 %	18 BAR
				Z <sub>1</sub> : 190°C	Z <sub>3</sub> : 230°C		
+1	10 (s)	15 (s)	Água normal	Z <sub>2</sub> : 240°C	Z <sub>4</sub> : 220°C	100 %	30 BAR
				Z <sub>1</sub> : 190°C	Z <sub>3</sub> : 230°C		

### 3.2 Seleção das variáveis de resposta do experimento

No processo de moldagem plástica por injeção as variáveis de resposta que deveriam ser analisadas eram: Falha ou Rebarba, Dimensional e Deformação da peça - Fig. (3). Algumas características de cada uma delas são descritas a seguir (Cominato, 1997):

A falha é decorrente de pouco material injetado no molde. Isso pode acontecer, quando a pressão é insuficiente, ou o tempo de injeção é pequeno, ou mesmo quando o material não está suficientemente fundido. De outro modo, quando muito material é injetado no molde, ocorre a rebarba.

No caso das variáveis de deformação e dimensional não existia uma visão clara de quais eram as influências dos fatores de controle e de ruído. Porém, através dos testes aleatórios realizados durante muitos anos de trabalho, com os parâmetros do processo, os problemas, quando aparecem são resolvidos.

Ao estabelecer os fatores de controle, os níveis e as variáveis de resposta, a próxima etapa é definir como as variáveis de resposta serão avaliadas depois de realizar os experimentos. No estudo são construídas escalas numéricas, com a finalidade de transformar as respostas subjetivas do experimento em números que possam ser utilizados na análise estatística. Para avaliar a falha e a rebarba do componente foi construída uma escala que varia de -10 a 10, neste caso, as extremidades representam as reprovações das peças e quanto mais próximo de zero melhor é à qualidade do produto. Para, os problemas de deformação e dimensional a escala varia entre 0 e 10, onde, a nota 10, é dada quando o produto é reprovado pelo sistema de controle da qualidade da empresa e zero quando é aprovado. Ainda, nas escalas existiam valores intermediários (-1,-5 e 1,5) para as peças que tem uma qualidade tolerável.

Definindo as etapas anteriormente mencionadas, é construída a matriz da primeira roda de experimentos. Para construir a matriz foram considerados 6 fatores, cada um deles com 2 níveis, resultando 64 combinações. Observou-se, que neste caso era inviável executar o experimento completamente. E, decidiu-se executar apenas 1/4 do experimento.

O Quadro (2) representa o arranjo físico ou a matriz de este experimento, onde, as linhas representam as combinações dos fatores que estão sendo testadas e as colunas os fatores de controle do experimento.

Quadro 2. Matriz fatorial fracionado 2<sup>6-2</sup> (1/4) - Resolução IV

Teste	Tempo Injeção	Tempo Resfriamento	Temperatura Molde	Temperatura Máquina		Velocidade Injeção	Pressão Injeção
				Z <sub>1</sub> :190°C	Z <sub>3</sub> :165°C		
1	2	6	Água industrial	Z <sub>2</sub> :170°C	Z <sub>4</sub> :160°C	40	18
				Z <sub>1</sub> :190°C	Z <sub>3</sub> :165°C		
2	10	6	Água industrial	“		100	18
3	2	15	Água industrial	“		100	30
4	10	15	Água industrial	“		40	30
5	2	6	Água Normal	“		100	30
6	10	6	Água Normal	“		40	30
7	2	15	Água Normal	“		40	18
8	10	15	Água Normal	“		100	18
9	2	6	Água industrial	Z <sub>2</sub> : 240°C	Z <sub>4</sub> :220°C	40	30
				Z <sub>1</sub> :190°C	Z <sub>3</sub> :230°C		
10	10	6	Água industrial	“		100	30
11	2	15	Água industrial	“		100	18
12	10	15	Água industrial	“		40	18
13	2	6	Água Normal	“		100	18
14	10	6	Água Normal	“		40	18
15	2	15	Água Normal	“		40	30
16	10	15	Água Normal	“		100	30

Ao realizar os experimentos, os dados foram analisados através da ferramenta estatística ANOVA e os gráficos

lineares. E, as conclusões da primeira rodada de experimentos são:

Com a análise estatística dos experimentos, foi possível identificar-se que os principais fatores que interferem nas variáveis de resposta são: Pressão de Injeção e a Temperatura da Máquina. Por outro lado, os efeitos principais das interações produzidas pela combinação dos fatores Tempo de Resfriamento x Temperatura do Molde, Tempo de Injeção x Velocidade de Injeção e Temperatura da Máquina e Pressão de Injeção, estavam confundidas, tornando-se difícil determinar qual era a mais importante. Porém, quando os resultados foram discutidos com as pessoas envolvidas da empresa, determinou-se, que a principal interação do processo é a produzida pela Pressão de Injeção x Temperatura da Máquina. Sendo, portanto importante analisá-la, e com isso novos experimentos eram necessários para validar ou rejeitar essa informação.

Ainda, através dos gráficos lineares e o quadro ANOVA, identificou-se que a Velocidade de Injeção do material pouco interfere no processo e decidiu-se por eliminá-la do experimento.

Na fase final desse experimento, discutiu-se a utilização de novos valores de ajustagem para os fatores de controle, visto que, percebeu-se nos experimentos, que alguns dos níveis estavam muito distantes das condições normais (valores da ficha técnica) de funcionamento da máquina. Segundo as recomendações dos fabricantes do material de transformação e dos equipamentos utilizados pela empresa a variação da faixa dos níveis dos parâmetros com relação as condições normais de trabalho não deveriam estar acima do aceitável (40%). Os novos valores de ajustagem são mostrados no Quadro (3).

Quadro 3. Níveis dos fatores controláveis – Segundo experimento

Níveis	Tempo injeção	Tempo resfriamento	Temperatura Molde	Temperatura Máquina		Pressão Injeção
-1	2 (s)	6 (s)	Água gelada	Z <sub>1</sub> : 190°C	Z <sub>3</sub> : 165°C	18 BAR
				Z <sub>2</sub> : 170°C	Z <sub>4</sub> : 160°C	
+1	5 (s)	10 (s)	Água normal	Z <sub>1</sub> : 190°C	Z <sub>3</sub> : 210°C	26 BAR
				Z <sub>2</sub> : 220°C	Z <sub>4</sub> : 200°C	

Nas próximas seções são expostos os resultados da segunda rodada dos experimentos realizados na empresa. As condições de experimentação permanecem praticamente iguais - material, equipamento, horário de realização do experimento. As principais diferenças do primeiro experimento para o segundo, consistem na redução do número de fatores, nas regulagens dos fatores de controle e no arranjo físico utilizado na matriz.

### 3.3 Seleção do experimento fatorial fracionado 2<sup>k-p</sup>

Definindo as etapas anteriormente mencionadas, é construída a matriz do segundo experimento. Para construir a matriz foram considerados cinco (5) fatores, cada um deles com 2 níveis, resultando 32 combinações. Observou-se, que neste caso era inviável executar o experimento completamente. E, se decidiu executar apenas a metade do experimento – Quadro (4), sem comprometer a precisão das conclusões decorrentes da análise dos resultados.

Quadro 4. Matriz fatorial fracionado 2<sup>5-1</sup> (1/2) - Resolução V

Teste	Tempo Injeção	Tempo Resfriamento	Temperatura Molde	Temperatura Máquina		Pressão Injeção
1	2	6	Água industrial	Z <sub>1</sub> : 190°C	Z <sub>3</sub> : 165°C	26
				Z <sub>2</sub> : 170°C	Z <sub>4</sub> : 160°C	
2	5	6	Água industrial	“		18
3	2	10	Água industrial	“		18
4	5	10	Água industrial	“		26
5	2	6	Água Normal	“		18
6	5	6	Água Normal	“		26
7	2	10	Água Normal	“		26
8	5	10	Água Normal	“		18
9	2	6	Água industrial	Z <sub>1</sub> : 190°C	Z <sub>3</sub> : 210°C	18
				Z <sub>2</sub> : 220°C	Z <sub>4</sub> : 200°C	
10	5	6	Água industrial	“		26
11	2	10	Água industrial	“		26
12	5	10	Água industrial	“		18
13	2	6	Água Normal	“		26
14	5	6	Água Normal	“		18
15	2	10	Água Normal	“		18
16	5	10	Água Normal	“		26

### 3.4 Análise dos resultados do processo de moldagem por injeção plástica

Depois de realizar os experimentos industriais, as respostas foram avaliadas. Nessa etapa foram utilizadas novamente as escalas numéricas definidas para o primeiro experimento - Tab. (1).

Tabela 1. Resultados do segundo experimento

n°	Falha/Rebarba (média)	Deformação (média)	Dimensional (média)
1	3,5	0,95	0,45
2	-10	10	10
3	-10	10	10
4	0	5	0
5	-10	10	10
6	0	0,9	0
7	0	0,9	0
8	-10	10	10
9	5,5	0,3	3,55
10	5	0	2,2
11	4,75	0,7	2,9
12	1	3	0,05
13	8	0,65	7,3
14	3,5	0,65	1,15
15	2,25	1,95	1,25
16	5,5	0,55	3,2

Na Tabela (2) são calculados os efeitos principais dos fatores de controle do experimento e o efeito da principal interação do experimento. Nessa tabela os fatores Temperatura da Máquina e Pressão de injeção são novamente identificados como os fatores que mais produzem efeito nas variáveis de resposta. E, observa-se que o confundimento do efeito produzido pelas interações no primeiro experimento é eliminado, ficando claro que a principal interação dos fatores é produzida pela Temperatura da Máquina e a Pressão de Injeção. Entretanto, estas conclusões não apenas utilizam como base o valor dos efeitos principais, foram também utilizados os gráficos lineares e a técnica estatística ANOVA (*Analysis of variance*).

Tabela 2. Efeitos principais

Fatores	Falha Rebarba	Deformação	Dimensional
1. Tempo Injeção	-1,12	0,58	-1,10
2. Tempo Resfriamento	-1,50	1,08	-0,90
3. Temperatura Molde	-0,06	-0,54	0,46
4. Temperatura Máquina	9,00	-4,99	-2,35
5. Pressão Injeção	6,81	-4,53	-3,74
4,5 Interação: Tem. Máq.Pres. Inj.	-4,06	3,53	6,14

A Figura (4) descreve, através de gráficos lineares, os principais efeitos produzidos nas variáveis de resposta, quando mudanças deliberadas ocorrem nas regulagens dos principais fatores de controle do processo. Isto é, quando o nível dos fatores muda do nível (-1) para o nível (+1) ou vice-versa.

Assumindo, que os efeitos produzidos pelos fatores, tempo de resfriamento, temperatura do molde e tempo de injeção são desprezíveis. Pode-se, através dos gráficos lineares - Fig. (4) - confirmar que os efeitos significativamente diferentes de zero são a temperatura da máquina e a pressão de injeção. Ainda, os quadros construídos com a ferramenta ANOVA - Tab. (3) - demonstram que de fato os fatores tempo de injeção, temperatura do molde e tempo de resfriamento não são significativos para o processo de moldagem plástica por injeção.

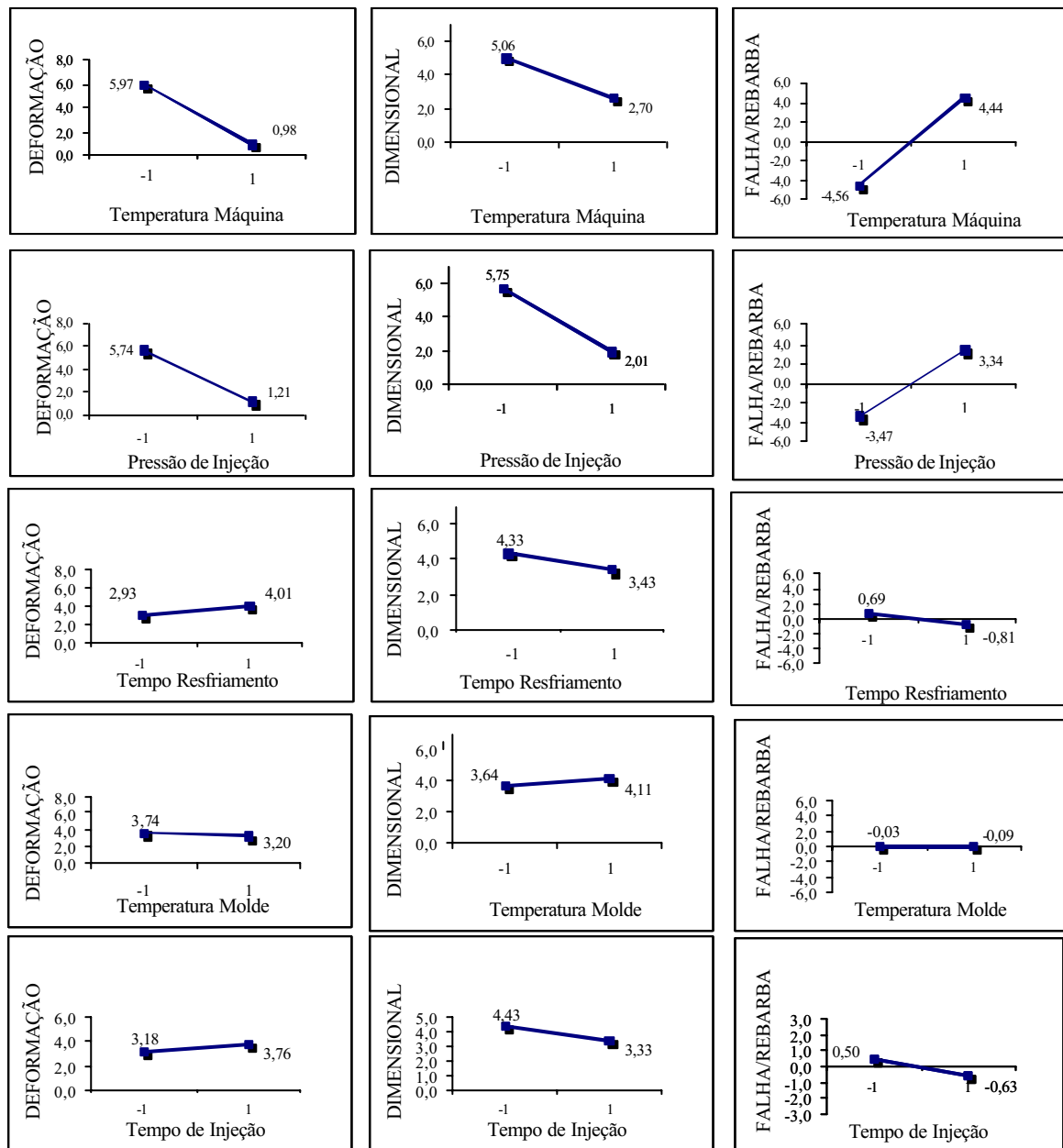


Figura 4. Gráficos lineares

Tabela 3. Análise de variância,  $F_{0,1, v1:1;v2:10} = 3,29$

Variável resposta: Dimensional					
Fonte de Variação	Soma Quadrado	g.l.	Quadrado médio	F	Valor p
1. Tempo Injeção	4,90	1	4,90	0,30	0,60
2. Tempo Resfriamento	3,29	1	3,29	0,20	0,66
3. Temperatura Molde	0,88	1	0,88	0,05	0,82
4. Temperatura Máquina	22,21	1	22,21	1,35	0,27
5. Pressão Injeção	56,06	1	56,06	3,41	0,09
Erro	164,51	10	16,45		

Tabela 3. Análise de variância,  $F_{0,1, v1:1, v2:10} = 3,29$  (continuação)

<b>Variável resposta: Falha / Rebarba</b>					
<i>Fonte de Variação</i>	<i>Soma Quadrado</i>	<i>g.l.</i>	<i>Quadrado médio</i>	<i>F</i>	<i>Valor p</i>
1. Tempo Injeção	5,06	1	5,06	0,64	0,44
2. Tempo Resfriamento	9,00	1	9,00	1,14	0,31
3. Temperatura Molde	0,02	1	0,02	0,00	0,97
4. Temperatura Máquina	324,00	1	324,00	41,09	0,00
5. Pressão Injeção	185,64	1	185,64	23,55	0,00
Erro	78,84	10	7,88		

<b>Variável resposta: Deformação</b>					
<i>Fonte de Variação</i>	<i>Soma Quadrado</i>	<i>g.l.</i>	<i>Quadrado médio</i>	<i>F</i>	<i>Valor p</i>
1. Tempo Injeção	1,35	1	1,35	0,22	0,65
2. Tempo Resfriamento	4,68	1	4,68	0,78	0,40
3. Temperatura Molde	1,18	1	1,18	0,20	0,67
4. Temperatura Máquina	99,75	1	99,75	16,60	0,00
5. Pressão Injeção	82,13	1	82,13	13,67	0,00
Erro	60,10	10	6,01		

#### 4. Considerações finais

Os experimentos industriais conduzidos já trouxeram resultados bastante significativos. Primeiramente, pode-se mostrar aos responsáveis pela engenharia do processo que, diferentemente do que eles afirmavam, nem todos os fatores de ajustagem do processo, inicialmente considerados, afetam a qualidade do resultado do processo. Ou seja, para as faixas de ajustagem consideradas, apenas dois fatores (pressão de injeção e temperatura da máquina) apresentaram um efeito significativo sobre as características de qualidade do componente. Para os outros fatores, pode-se afirmar que não existe necessidade de se definir, na ficha técnica do processo, um valor específico de ajustagem da máquina, mas sim uma faixa de valores, dentro da qual o processo terá bom desempenho.

Por outro lado, para os outros dois parâmetros (pressão de injeção e temperatura da máquina) não foi possível ainda identificar a melhor condição de ajustagem para minimizar os problemas de qualidade do produto. Com esse objetivo, um terceiro experimento será planejado. Nesse experimento será utilizada a técnica de experimentação fatorial  $2^2$ , completo, com cinco pontos centrais. E, na análise estatística se utilizará a metodologia de superfície de resposta (MSR), para poder determinar, os valores ótimos dos fatores de controle e assim ajustar a regulagem da máquina. E, finalmente serão utilizados os conceitos propostos pela metodologia Taguchi, principalmente o projeto de parâmetros e Razão Sinal/Ruído com multi-respostas, para validar as conclusões finais da aplicação.

Finalmente, ainda um outro resultado bastante importante deste trabalho foi o de mostrar às pessoas envolvidas no estudo a validade de analisar cientificamente o processo de transformação e, com isso não só fomentar o uso dessas técnicas junto à empresa em questão, mas também promover a aproximação universidade-empresa.

#### 5. Agradecimentos

Agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo suporte a este projeto e aos diretores e funcionários da empresa estudada, pela colaboração na condução deste projeto.

#### 6. Referências bibliográficas

- ABRAHAM, B.; CHIPMAN, H.; VIJAYAN, K. (1999). Some risks in the construction and analysis of supersaturated designs. *Technometrics*, Vol. 41, N° 2, pp. 135-141, May.
- AQC - Annual Quality Congress., 2000, *Foresight XXI*. Disponível na Internet via [www.asq.org](http://www.asq.org). Capturado 10 de junho.
- BARKER, T. B. (1985). *Quality by experimental design*. Marcel Dekker. Cap.1-2, p.1-22.
- BOX, G. E. P.; LIU, P. Y. T. (1999). Statistics as a catalyst to learning by scientific method part I an example. *Journal of Quality Technology*, v.31, n.1, p.1-15, Jan.

- COMINATTO, A. C. (1997). *Influências das variáveis do ciclo no produto final*. São Paulo, Apostila.ASTRA S/A Industria e comércio.
- ENGEL, J.; HUELE, A. F. (1996). A generalized linear modeling approach to robust design. *Technometrics*,. Vol. 38, N° 4, pp. 365-373.
- Montgomery, D. C., 1991, *Diseño y Análisis de Experimentos*, Grupo Ed. Iberoamérica, Traduzido por Lic. Jaime Delgado Saldivar, Mexico, DF
- Moura, E. C.; Taguchi, S., 1999, Aplicação Prática da Engenharia Robusta, Ed. Banas, *Controle da Qualidade*, Ano VIII, N° 81, pp.82-86, fev

## APPLICATION OF THE EXPERIMENTAL DESIGNS IN THE PROCESS OF MANUFACTURE OF PLASTIC PRODUCTS

### **Edwin V. C. Galdámez**

University of São Paulo - São Carlos Engineering School. Av. Trabalhador São Carlense, n. 400. Centro. São Carlos. SP. CEP. 13566-590.

E-mail: [edwin@sc.usp.br](mailto:edwin@sc.usp.br)

### **Luiz C. Ribeiro Carpinetti**

University of São Paulo - São Carlos Engineering School. Av. Trabalhador São Carlense, n. 400. Centro. São Carlos. SP. CEP. 13566-590.

E-mail: [carpinet@prod.eesc.sc.usp.br](mailto:carpinet@prod.eesc.sc.usp.br)

**Abstract.** *The objective of this work is to apply the experimental designs and analysis of variance in the process of manufacture of products for plastic molding. Mainly it is used the technique of fractional factorial a company of the plastic sector of the State of São Paulo. The purpose of this case study is to identify the parameters of the manufacture process that cause more quality problems to the products, as well as, to determine the best values of adjustment of these parameters to minimize the problems, ensuring by this way the robustness of the products that are commercialized at the market. Still, the work intends to collaborate with the insertion of new information in the milieu academic, since in Brazil exist few information's as regards to introduction and diffusion of these techniques.*

**Keywords:** *Experiment of designs, Factorial fractional and Robust quality*

# INTEGRANDO OS RECURSOS HUMANOS COM ENGENHARIA SIMULTÂNEA

**Edwin Vladimir Cardoza Galdámez**

**Simone de A. Ramos Branício**

**Emerson Bond**

Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, Depto. de Eng. Mecânica – Área de Eng. de Produção. Av. Trabalhador São Carlense, 400. São Carlos, SP. CEP. 13566-190

E-mail: edwin@sc.usp.br, simonear@sc.usp.br, bond@sc.usp.br

**Resumo.** *O presente trabalho propõe integrar os aspectos teóricos que envolvem a Engenharia Simultânea (ES) às dimensões competitivas da estratégia de recursos humanos que são apresentadas na literatura da área de engenharia de produção (constituição de rede de trabalho baseadas em equipes, aprendizagem organizacional e a gestão da cultura organizacional). Tal integração deve apontar os principais pontos, ligados à administração de recursos humanos, a serem discutidos quando da implantação de um ambiente de ES nas empresas. Para isso, são introduzidos os conceitos e elementos relativos ao desenvolvimento de projetos de produtos, uma vez que esse desenvolvimento constitui o contexto principal para a aplicação da ES, ao mesmo tempo em que são descritas as principais características da ES. As dimensões competitivas da estratégia de recursos humanos são focadas, de maneira a entender a sua importância e a validade de se estar incorporando seus conceitos ao cenário da ES. Alguns fatores relacionados ao trabalho em equipe são expostos, considerando-se que tal trabalho constitui-se na dimensão competitiva da estratégia de recursos humanos mais importante para a ES.*

**Palavras-chave:** *Recursos humanos, Engenharia simultânea, Rede de trabalho baseadas em equipes.*

## 1. Introdução

A OMC - Organização Mundial do Comércio relata que o Brasil é o país da América Latina onde mais empresas estrangeiras se instalaram nos últimos dez anos. Este fato é atribuído aos índices nacionais de estabilidade econômica, ao incentivo fiscal que algumas empresas receberam de governos estaduais e principalmente pelo potencial de consumo que o mercado brasileiro representa no mundo. A globalização e a formação de blocos econômicos também contribuíram neste fenômeno.

Neste contexto, as empresas instaladas no país, neste início de século XXI, estão sendo cada vez mais pressionadas pelos consumidores, pela concorrência, pela facilidade e velocidade com que as informações estão disponíveis no mercado e por projetos de produtos mais complexos. Estes e outros fatores provocam problemas principalmente no *lead time* de desenvolvimento de produtos e nos custos de fabricação. No entanto, para se manterem competitivas, as empresas precisam lançar novos produtos em espaços de tempo e custos cada vez menores, além de procurar metodologias, ferramentas e técnicas que ajudem a reduzir o ciclo de desenvolvimento de produtos, os custos e a aumentar a qualidade dos produtos ou serviços oferecidos.

Entre as soluções que as empresas japonesas utilizaram no início dos anos 70 está o desenvolvimento de atividades paralelas, principalmente nas etapas iniciais dos projetos. Assim, as atividades que eram realizadas somente após o término e aprovação das atividades anteriores são antecipadas, de forma que seu início não dependa dos demorados ciclos de aprovação (Carter e Baker, 1992), surgindo daí o conceito de Engenharia Simultânea (ES).

Pesquisas realizadas por Kruglianskas (1993) descrevem como a ES é praticada pelas empresas no Brasil. Observa-se que na época já se discutia sobre a importância de alguns fatores que devem ser considerados na implantação da ES na empresa, entre os quais estão: treinamento de pessoal, comunicação, trabalho em equipe, criação de um sistema que avalie o desempenho dos participantes, resistências às mudanças na estrutura da empresa e principalmente a importância da confiança e do gerenciamento dos conflitos entre as partes ou pessoas que estão envolvidas, promovendo assim a integração. Outras pesquisas sobre essa metodologia são desenvolvidas pelo CEFET - PR (Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná), que estuda a importância dos fatores mencionados por Kruglianskas (1993) nas áreas de engenharia mecânica, elétrica e eletrônica, ensino, indústrias, etc.

Ainda, o setor espacial do Brasil, gerenciado pela Agência Espacial Brasileira (AEB), vem utilizando os fatores mencionados anteriormente, principalmente no desenvolvimento de projetos complexos da área de veículos lançadores e foguetes (Correa Jr, et al, 1997). Nas pesquisas realizadas pela AEB, percebe-se a importância de se tomar as decisões corretas e rápidas na fase inicial do projeto. Portanto, no Brasil existem várias empresas, universidades e centros de pesquisas renomados que vêm estudando o tema. Porém, observa-se que nestas pesquisas há falta de definição de fatores, como dimensões competitivas, que podem ser utilizadas em uma estratégia voltada para os recursos humanos da empresa.

Deste modo, este trabalho tem como objetivo principal integrar os aspectos teóricos que envolvem a ES às dimensões competitivas da estratégia de recursos humanos que são propostas por Santos (1999). Tal integração deve apontar os principais pontos, ligados à administração de recursos humanos, a serem discutidos quando da implantação

de um ambiente de ES nas empresas. Para isso, são apresentados primeiramente, os conceitos e elementos relativos ao desenvolvimento de projetos de produtos, uma vez que esse desenvolvimento constitui o contexto principal para a aplicação da ES, ao mesmo tempo em que são descritas as principais características da ES. A seguir, são focadas as dimensões competitivas da estratégia de recursos humanos, de maneira a entender a sua importância e a validade de se estar incorporando seus conceitos ao cenário da ES. Finalmente, é dada uma atenção especial aos fatores relacionados ao trabalho em equipe, considerando-se este trabalho como a dimensão competitiva da estratégia de recursos humanos mais importante para a ES.

## 2. Desenvolvimento de projetos de produtos

Para Slack et al. (1997), o desenvolvimento de produtos que tem como principal objetivo satisfazer as necessidades atuais e futuras dos consumidores. O bom desenvolvimento do projeto do produto será caracterizado pelo seu bom desempenho durante o ciclo de produção, assim como pela ausência de defeitos dos produtos quando adquiridos pelos consumidores.

O processo de desenvolvimento de produtos envolve diferentes áreas da empresa, tendo o departamento de marketing um papel importante na captação das necessidades dos consumidores (*input*) e no repasse dessas necessidades aos projetistas. Os projetistas, por sua vez, têm a função de processá-las ou transformá-las em informações, materiais, ou os próprios consumidores em produtos e/ou serviços (*output*) – Fig. (1). Portanto, um fator importante para a redução do tempo no desenvolvimento das atividades das áreas envolvidas será a velocidade com que estas são elaboradas pelas equipes que participam do projeto.

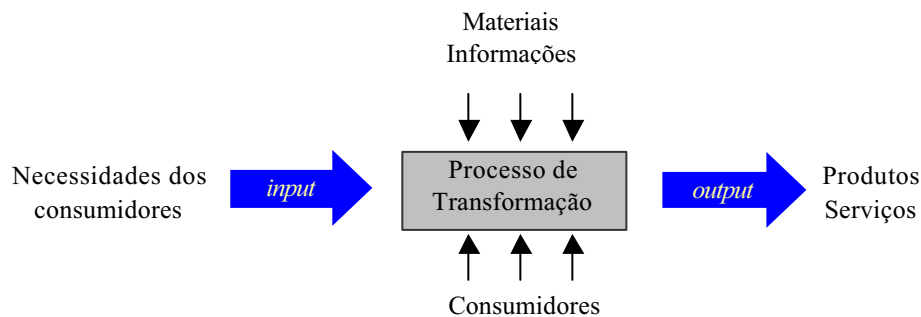


Figura 1. Modelo geral de um processo ou sistema.

Atualmente, o desenvolvimento de novos projetos pelas indústrias é uma tarefa difícil e complexa, uma vez que vários parâmetros (avanços da concorrência, relação com os funcionários, exigências dos consumidores, integração da cadeia de suprimentos, surgimento de novos materiais de fabricação e novas tecnologias) interferem, direta ou indiretamente, nas informações que são utilizadas. A influência desses parâmetros gera uma sobrecarga de informações na tomada de decisão das equipes envolvidas no projeto e ainda, torna difícil e demorada a seleção das informações necessárias para o desenvolvimento do projeto. Por outro lado, a ausência de dados relevantes leva à perda de tempo em sua busca e quando maior a complexidade de cada projeto, potencialmente maior o tempo demandado para que seja encontrada a informação desejada. Para Evbuomwan et al (1995a) a essência da ES é o desenvolvimento das atividades paralelas, integradas aos sistemas de informação, sendo as suas características principais (Evans et al, 1995):

**Aprender como trabalhar:** remoção de todas as atividades que não agregam valor para o processo de desenvolvimento de produto.

**Equipes multidisciplinares:** a forma mais efetiva de atingir integração nas atividades de desenvolvimento de novos produtos. As equipes, com representantes de todas as funções relevantes (recursos humanos, desenvolvimento de produtos, marketing, etc), são formadas e configuradas durante o desenvolvimento do produto e são relacionadas com a manufatura.

**Utilizar os métodos certos:** pode-se abranger uma grande variedade de técnicas e tecnologias que ajudam a considerar várias restrições *Design for Assembly* -DFA e *Quality Function Deployment* - QFD), além de comunicar e manipular informações de *design* (*Computer Aided Design* - CAD).

**Considerar continuamente todas as restrições:** considerar o impacto de decisões de *design*, por exemplo, na manufatura, manutenção e confiança do produto. O objetivo é maximizar o número de restrições consideradas no início do processo de desenvolvimento do produto.

Estas características requerem que as informações do projeto estejam disponíveis em tempo real, isto é, os dados inseridos devem ser processados *on-line*, permitindo que as informações estejam disponíveis em outros terminais de um mesmo sistema *on-line*. Também requerem um bom planejamento e controle das diferentes atividades que estão envolvidas dentro da organização, assim como a integração do projeto com as outras partes funcionais da empresa torna-se necessária (Smith, 1997). O uso adequado das técnicas ou metodologias de apoio ao desenvolvimento do projeto e a utilização de ferramentas computacionais (*softwares* que apóiam as técnicas) são igualmente importantes para Evbuomwan et al (1995b). Mas, deve-se ter atenção especial a respeito dos novos programas computacionais e



técnicas que prometem ser revolucionárias, solucionando os problemas de produtividade. É freqüente que se crie uma expectativa muita grande sobre estas ferramentas e que se confundam com os conceitos da ES nas empresas (Corrêa Jr, et all, 1997).

A Figura (2) apresenta o modelo concêntrico da ES construído por Rawcliffe et all, citado por Corrêa Jr et all (1997). No modelo são selecionados os elementos que constituem a ES e que são subdivididos em três partes: tecnologias de suporte, ações de engenharia de processo e métodos formais. Segundo Corrêa Jr et all (1997) tal modelo facilita a ilustração e a classificação dos conceitos que são utilizados pela metodologia.

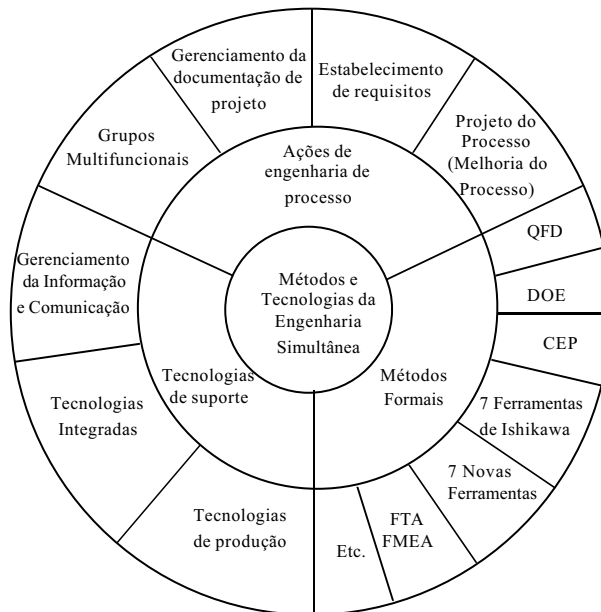


Figura 2. Modelo Concêntrico da Engenharia Simultânea.

A ES procura antecipadamente estudar todas as possíveis mudanças ou interferências que possam afetar o projeto, já que modificações na fase inicial representam menores custos que futuras. A Figura (3) apresenta, paralelamente, a forma tradicional de abordar o desenvolvimento de projetos e a abordagem pela ES. São várias as melhorias associadas ao uso dos conceitos da ES. Segundo Corrêa Jr et all (1997) mudanças ocorrem na fase inicial da implantação e os benefícios obtidos são descritos como: melhoria na comunicação, melhor visualização do projeto, maior participação das pessoas de diferentes áreas nas decisões e aumento no número de alternativas de configurações analisadas. Outros benefícios são observados nas pesquisas realizadas por diversos autores (Kruglianskas, 1993; Corrêa Jr et all 1997; Evtuomwan, et all 1995a e 1995b).

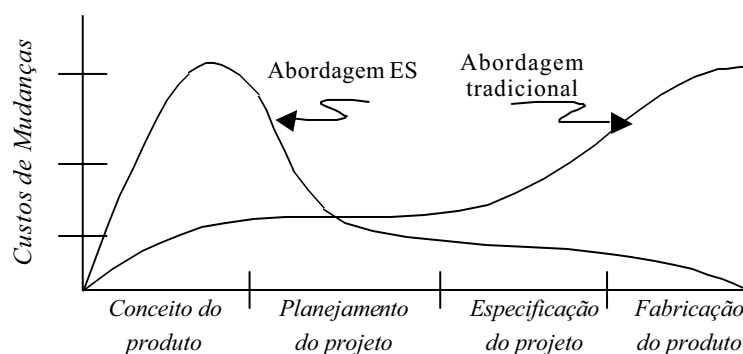


Figura 3. Ciclo de vida do Projeto de Produto. Adaptado de Hartley (1992)

Ainda, nas pesquisas realizadas por Womack, et al. (1992), conclui-se que existem quatro diferenças básicas entre essas abordagens: desenvolvimento simultâneo, trabalho em equipe, comunicação e diferenças nas lideranças.

Nesse contexto, para que o desenvolvimento de projeto de produto possa realmente ter sucesso no ambiente de ES torna-se necessário que haja uma correta administração dos elementos que interferem direta ou indiretamente na obtenção dos objetivos propostos pelas equipes que participam do processo. Assim, o gerenciamento profissional dos recursos humanos impõe-se como estratégico na implementação de ES. Segundo Santos (1998), diante da crescente diferenciação dos produtos e a conseqüente criação de divisões, faz-se necessário gerenciar os recursos humanos

distintamente em cada divisão. Ainda, o autor coloca que a organização precisa desenvolver sistemas de planejamento e métodos de integração eficazes para as suas várias atividades.

### 3. Estratégias de recursos humanos e suas dimensões competitivas

A competitividade crescente no ambiente em que as empresas atuam tem feito com que as organizações procurem formas de sobrevivência ou de expansão de seus negócios. Santos (1999) afirma que “para a obtenção de vantagem competitiva em seus mercados, as empresas diferenciam-se da concorrência por meio do estabelecimento de prioridades ou dimensões competitivas para cada uma das áreas funcionais”. Especificamente para a área de recursos humanos, tal autor propõe três dimensões competitivas, descritas no Quadro (1):

Quadro 1. Dimensões competitivas da estratégia de recursos humanos. (Santos, 1999).

<b>Constituição de rede de trabalho baseada em equipes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formação de equipes <i>ad-hoc</i> com base em objetivos e propósitos estratégicos;</li> <li>• Necessidade de interfuncionalidade;</li> <li>• Agrupamento funcional e por mercado das unidades organizacionais;</li> <li>• Horizontalização organizacional;</li> <li>• Formação de equipes voltadas para competências essenciais;</li> <li>• Reformulação contínua dos processos de trabalho das equipes.</li> </ul>
<b>Aprendizagem organizacional</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compreensão do ambiente competitivo e da empresa com base no raciocínio sistêmico;</li> <li>• Aumento da capacidade decisória dos funcionários;</li> <li>• Renovação contínua dos modelos mentais, individuais e de grupos;</li> <li>• Compartilhamento de visão e de informação;</li> <li>• Renovação contínua do domínio pessoal dos especialistas profissionais;</li> <li>• Relacionamento profissional baseado na confiança mútua;</li> <li>• Experiência concreta e vivência ativa nos processos de negócios;</li> <li>• Nivelamento da importância das áreas funcionais;</li> <li>• Adequação de teorias, conceitos e modelos à prática organizacional.</li> </ul>
<b>Gestão da cultura organizacional</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valores essenciais ligados às vantagens competitivas;</li> <li>• Negociação dos valores essenciais pelos funcionários;</li> <li>• Adaptabilidade das culturas organizacionais;</li> <li>• Ajustamento mútuo como forma de coordenação do trabalho baseado em valores organizacionais;</li> <li>• Necessidade de monitoração da cultura por meio de pesquisas de clima organizacional.</li> </ul>

As prioridades ou dimensões competitivas referem-se a um conjunto de opções que uma unidade de negócios, independentemente do setor econômico em que esteja inserida, tem para competir no mercado, durante um certo horizonte de tempo (Santos, 1998). Cabe ressaltar que o autor coloca que uma ou mais prioridades competitivas podem ser adotadas simultaneamente, uma vez que a distinção entre as estratégias adotadas por diferentes empresas reside na importância que se atribui a cada uma dessas prioridades. Desta forma, abordar os conceitos da estratégia de recursos humanos, visando a exploração das oportunidades de mercado, leva principalmente a organizar (formar) equipes que sejam capazes de lidar com um ambiente em constante mudança e cada vez mais complexo.

### 4. Constituindo equipes para a engenharia simultânea

A formação de redes de trabalho baseadas em equipes para a implementação da ES nas empresas pode facilitar o desenvolvimento de produtos ou processos de maior qualidade, a menor custo e com menor *lead time*, na medida em que permite uma maior integração das pessoas e conseqüentemente um melhor resultado do trabalho. Alguns pontos considerados como importantes para a constituição de redes de trabalho baseadas em equipes são explorados a seguir, pois se mostram importantes para o sucesso da implantação da ES nas empresas.

#### Comunicação

A comunicação é o elemento imprescindível para a interação entre as pessoas e para o trabalho coordenado da equipe. O estabelecimento de canais e regras de comunicação permite que o contexto do projeto a ser desenvolvido fique claro e bem distribuído, além de permitir que as informações circulem rapidamente, de forma eficaz e eficiente, fazendo com que as atividades fiquem bem sincronizadas.

A comunicação entre as equipes pode ocorrer de duas maneiras: em sentido único, quando somente a informação

relativa a um empreendimento é repassada sem que haja discussão sobre as *causas* e os *porquês* dos problemas ocorridos e, em dois sentidos, quando permite que uma equipe use as informações relacionadas às experiências anteriores de outras equipes, com dados completos sobre os problemas encontrados, suas causas, como estes foram superados, etc. (Chudek, *et all*, 2000)

Outro aspecto importante relacionado à comunicação é o apoio que a tecnologia pode proporcionar às equipes que participam do projeto, por meio de sistemas de informação que facilitam a troca de dados (*DFD, CAD, QFD, DOE, FMEA*, etc). Tais ferramentas permitem a consulta sobre os estágios adiantados do projeto e como este está sendo executado.

### **Integração**

Uma vez que as equipes envolvidas no desenvolvimento simultâneo das etapas do projeto são formadas por pessoas das diferentes áreas funcionais da empresa, é necessário que haja uma forma de integrá-las, para que a tomada de decisão seja efetiva na busca dos resultados propostos pela ES. A partir do momento que a integração multifuncional é reconhecida, reporta-se à um difícil desafio gerencial para o acompanhamento desta integração. Chudek, *et all* (2000) ressaltam que quando as equipes passam a trabalhar unidas surgem divergências de opiniões, objetivos, interesses e prioridades diferentes. Estes acontecimentos são inevitáveis em relações entre equipes, e devem ser resolvidos e gerenciados logo que surgem para que não haja propagação de problemas (Prasad, 1997). Ainda, tais acontecimentos não devem ser vistos como negativos para a constituição de rede de trabalho, porque de acordo com o estágio de integração das equipes, visões diferentes surgem e podem ser transformadas em pontos positivos no projeto.

Entre os métodos organizacionais, que buscam reduzir esses conflitos e principalmente procuram incentivar a colaboração das partes interessadas, estão: aprovações vinculadas a outros departamentos, criação de um departamento de ligação que será responsável pela coordenação das atividades de outros departamentos, formação de todas as partes interessadas em uma equipe multifuncional para reafirmar esta integração e o uso de rotação de atividades para que esta multifuncionalidade ocorra (Chudek, *et all*, 2000).

O gerenciamento da integração das equipes permitirá sintetizar as necessidades dos clientes, otimizar os processos produtivos e coordenar as pessoas (Capucho *et all*, 2000). Ainda, permite criar novos produtos de uma forma mais rápida, diminuir a probabilidade de interpretação errada de dados e principalmente exigir das pessoas a responsabilidade e autonomia nas decisões que foram tomadas para os diferentes estágios do projeto. Santos (1998) diz que para integrar os especialistas profissionais às prioridades competitivas da estratégia empresarial, a organização deve integrá-los em equipes *ad-hoc* ou de processo de negócio. Isto facilita a integração dos conhecimentos e das habilidades dos vários especialistas às tecnologias usadas pela empresa, com o objetivo de constituir as competências essenciais.

### **Co-locação**

Para Kahn e McDonough (1997), a co-locação durante o desenvolvimento de novos produtos é o ato de colocar as pessoas de diferentes departamentos juntas em um mesmo espaço físico. A determinação de quais os membros a serem alocados no mesmo espaço varia consideravelmente e em alguns casos, todas as pessoas são colocadas juntas e em outros, apenas elementos chaves são co-locadas. Em algumas empresas, membros de alguns departamentos são alocados no mesmo prédio ou no mesmo andar, ao passo que em outras companhias pessoas da mesma área são colocadas na mesma sala.

O que se pretende com essa proximidade física também possui diversas causas, mas o uso da co-locação tem o objetivo de tornar mais fácil e freqüente a interação entre estas pessoas de diferentes departamentos. O que está implícito nesta suposição é que colocando as pessoas juntas, algumas barreiras funcionais que separam os departamentos são quebradas, além de promover uma interação próxima e freqüente, que é tão necessária nas atividades de desenvolvimento de novos produtos (Kahn e McDonough, 1997).

As equipes formadas pela ES são normalmente constituídas por pessoas de projeto do produto, manufatura, marketing, compras, finanças, além de vendedores de equipamentos e componentes dos produtos (Hartley, 1992). Comumente, as equipes multifuncionais permanecem formadas durante o tempo de desenvolvimento do projeto, porém, alguns membros entram e saem de acordo com o estágio do processo. Deste modo, a co-locação torna-se importante à medida que as pessoas contribuem com suas habilidades e conhecimentos para a execução do projeto.

### **Cooperação**

O desenvolvimento de produtos e serviços produzidos pelas empresas é cada vez mais complexo e difícil, tornando praticamente impossível que uma equipe domine todo o conhecimento ou tecnologia que é necessária para o desenvolvimento do projeto.

Smith (1997) coloca que a cooperação entre as pessoas que participam das diferentes áreas que estão envolvidas no projeto torna-se essencial para a obtenção dos melhores resultados das etapas que serão executadas. Para Chudek *et all* (2000) o trabalho simultâneo de equipes leva seus integrantes a um intercâmbio de conhecimento expressivo, mesmo se as tarefas executadas forem semelhantes e faz com que os profissionais das equipes passem a ter um maior conhecimento do contexto ao qual estão inseridos.

Segundo Prasad (1997) alguns elementos essenciais à cooperação são: o desenvolvimento da consciência de

trabalho cooperativo, o desenvolvimento de um sistema que permite a circulação da informação entre os membros, criando a oportunidade de todos envolvidos aprendam novos conceitos e a determinação detalhada do trabalho da equipe nas principais etapas do projeto.

### Coordenação

O trabalho em equipe não se constitui em uma tarefa fácil de ser implementada, pois há uma grande quantidade de opiniões, informações, pessoas, etc, para serem administradas. Entretanto, é necessário que todos esses elementos sejam coordenados, a fim de que os conflitos sejam diminuídos ou controlados, os canais de comunicação tornem-se mais eficientes, etc. Para o sucesso desta coordenação torna-se então imprescindível o papel do líder da equipe. Basicamente, as funções do *líder* nas equipes da ES são: coordenar as atividades de cada uma das pessoas que participam do projeto, permitir o compartilhamento da informação e principalmente transmitir confiança para as pessoas.

### Confiança

O nível de relacionamento encontrado em uma equipe pode interferir substancialmente para o alcance das propostas da ES. A confiança pode ser considerada um fator preponderante para que haja um alto nível de cooperação entre os membros da equipe e para que a comunicação seja eficiente. Nesse sentido, a organização que pretende implementar um ambiente de ES precisa estar alerta à necessidade de se criar uma cultura voltada para o estabelecimento de confiança entre os membros. Essa necessidade se impõe pois no trabalho em equipe, a certeza de que as outras pessoas estão trabalhando de maneira correta, respeitando os valores culturais da organização e tendo uma visão comum dos objetivos definidos, torna o trabalho mais produtivo e integrado. É preciso também que haja confiança entre as equipes e sua gerência, de forma que durante o processo de desenvolvimento do projeto, as pessoas tenham autonomia para realizar seu trabalho de maneira mais criativa e independente. Uma boa argumentação sobre isso é dada por Randolph citado por Santos (1999) quando lembra que os empregados somente assumirão riscos em uma cultura de confiança.

### 5. Considerações finais

O projeto de produto é um processo que requer que as informações fluam com agilidade. Portanto, é necessário que todas as partes estejam completamente integradas, tornando assim o projeto do produto mais robusto às mudanças que ocorrem em termos tecnológicos e de mercado.

Desta maneira, a adoção de um cenário de Engenharia Simultânea nas empresas requer que vários fatores sejam considerados e avaliados pelos responsáveis da implementação. A orientação, a supervisão e o acompanhamento dos recursos humanos da organização são muito importantes para que essa implementação obtenha sucesso. As pessoas que deverão trabalhar nas equipes de ES devem estar prontas para executar as atividades simultâneas de forma coordenada, integrada, com um bom nível de comunicação e cooperação, facilitando assim o aprendizado contínuo.

Não se pode esquecer, porém, que o modelo de gestão, construído com os conceitos da engenharia simultânea, provoca mudanças na estrutura da empresa, podendo surgir, conseqüentemente, resistências e conflitos por partes das pessoas. Por isso, recomenda-se que alguns procedimentos sejam realizados antecipadamente, tais como treinamentos e reuniões com os envolvidos no processo.

### 6. Referências

- Capucho, M. J. O.; Silva, M. P. da; Rubira, L. H., 2000, *Engenharia simultânea e metodologia de projeto*, Núcleo de pesquisa em engenharia simultânea, Capturado da internet em 15/04/2000. Disponível no site: [www.nupes.cefetpr.br](http://www.nupes.cefetpr.br)
- Carter, D. E.; Baker, B. S., 1992, *Concurrent engineering: the product development environment for the 1990s*, Reading, Mass, Addison-Wesley.
- Chudek, C. A. S.; Garib, G.; Tsumanuma, C. S., 2000, *Interação entre equipes*, NuPES-Núcleo de pesquisa em engenharia simultânea, Capturado da internet em 15/04/2000. Disponível no site: [www.nupes.cefetpr.br](http://www.nupes.cefetpr.br)
- Correa Jr., F. de A.; Trabasso, L. G.; Kruglianskas, I. 1997. Engenharia Concorrente: Perspectivas para o setor espacial., *Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. CD-ROM*, Bauru - SP, agos
- Evans, S. Lettice, F. Smart, P, 1995, A faster, cheaper and safe route to CE, *World Class Design to Manufacturing*, vol.2, n.2, pp.10-16.
- Evbuomwan, N. F. O., Sivaloganathan, S., Jebb, A., 1995a, Concurrent material and manufacturing process selection in design function deployment, *Concurrent Engineering*, vol.3, n.2, pp.135-144
- Evbuomwan, N. F. O., Sivaloganathan, S., Jebb, A., 1995b, The development of a desing system for concurrent engineering, *Concurrent Engineering*, vol.3, n. 4, pp. 257-270
- Hartley, J.R., 1992, *Concurrent engineering*, Portland, Productivity Press.
- Kahn, K. B., Mcdonough, E. F., 1997, An empirical study of the relationship among Co-location, integration, performance and satisfaction, *Journal of Production and Innovation Management*, pp. 161-178.
- Kruglianskas, I. 1993. Engenharia Simultânea: organização e implantação em empresas brasileiras. *Revista de Administração*. vol.28, n.4, pp. 104-110, out/dez

- Prasad, B., 1997, *Concurrent engineering fundamentals, integrate product development*, Prentice Hall PTR, New Jersey vol.2
- Santos, F. C. A., 1998, *Dimensões competitivas da estratégia de recursos humanos: importância para a gestão de negócios em empresas manufatureiras*, FGV, São Paulo (tese de doutorado).
- Santos, F. C. A., 1999, *Estratégia de recursos humanos: dimensões competitivas*, Atlas, São Paulo.
- Slack, N., et all, 1997, *Administração da produção*, Atlas, São Paulo.
- Smith, R. P., 1997, The historical roots of concurrent engineering fundamentals, *IEEE Transaction Engineering Management Review*, vol. 44, n.1
- Womack, J. P.; Jones, D. T.; Roos, D., 1992, *A máquina que mudou o mundo*, Campus, Rio de Janeiro.

## INTEGRATING HUMAN RESOURCES WITH CONCURRENT ENGINEERING

**Edwin Vladimir Cardoza Galdámez**

**Simone de A. Ramos Branício**

**Emerson Bond**

Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, Depto. de Eng. Mecânica – Área de Eng. de Produção. Av. trabalhador São Carlense, 400. São Carlos, SP. CEP. 13566-190  
E-mail: edwin@sc.usp.br, simonear@sc.usp.br, bond@sc.usp.br

**Abstract.** *This paper proposes to integrate the theoretical aspects of the concurrent engineering (CE) concepts linked with competitive dimensions of the human resources strategy that are proposed in the literature of the industrial engineering (the formation of a network based on teams, organization learning and the organizational culture management). Such integration must indicate the main factors, related with human resources management, to be discussed during the CE implementation process. For that, concepts and the elements related to the project of the products must be introduced, once this development is the main context to the CE application. The competitive dimensions of the human resources strategy are focused in a way to understand its importance and validate the concepts of the CE scenario. Some factors related to the work group are exposed, considering that such work constitute the main competitive dimension of the human resource strategy related to the CE.*

**Keywords:** *Human resources, Concurrent engineering, Team networking*

## DIAGNÓSTICO DE SOLVÊNCIA DE EMPRESAS: UMA APLICAÇÃO DE LÓGICA FUZZY PARA ANÁLISE FINANCEIRA

### João Eduardo Borelli

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Departamento de Engenharia Mecânica, CTA,12228-901, São José dos Campos - SP, Brasil  
[jborelli@mec.ita.br](mailto:jborelli@mec.ita.br)

### Marcus Vinícius Pereira de Souza

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Departamento de Engenharia Mecânica, CTA,12228-901, São José dos Campos - SP, Brasil  
[mvinic@mec.ita.br](mailto:mvinic@mec.ita.br)

### Rodrigo Arnaldo Scarpel

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Departamento de Engenharia Mecânica, CTA,12228-901, São José dos Campos - SP, Brasil  
[rodrigo@mec.ita.br](mailto:rodrigo@mec.ita.br)

### Armando Zeferino Milioni

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Departamento de Engenharia Mecânica, CTA,12228-901, São José dos Campos - SP, Brasil  
[milioni@mec.ita.br](mailto:milioni@mec.ita.br)

### Luis Gonzaga Trabasso

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Departamento de Engenharia Mecânica, CTA,12228-901, São José dos Campos - SP, Brasil  
[gonzaga@mec.ita.br](mailto:gonzaga@mec.ita.br)

**Resumo.** A solvabilidade é uma característica de grande importância para a tomada de decisões financeiras na avaliação de empresas que recorrem a crédito e a investimentos. O grau de solvabilidade pode ser avaliado pela análise de índices calculados a partir de demonstrações financeiras. Para este fim, fez-se o estudo das demonstrações financeiras de 60 empresas com níveis de solvência conhecidos tendo-se identificado os índices de maior relevância: liquidez, endividamento, atividade e lucratividade. Com base nesse estudo montou-se um sistema de diagnóstico auxiliado por computador baseado em lógica fuzzy. O sistema tem como entradas fuzzy sets correspondentes aos índices obtidos através de cálculos e fornece no fuzzy set saída um índice correspondente ao grau de solvência da empresa. As regras de inferência foram baseadas em estudos de casos conhecidos. O algoritmo foi testado em 39 empresas e comparado com outros modelos tendo-se mostrado eficaz no diagnóstico da solvabilidade e para automação da tomada de decisões.

**Palavras chave:** solvência de empresas, diagnóstico auxiliado por computador, lógica fuzzy.

### 1. Introdução

A solvabilidade é uma característica de grande importância para a tomada de decisões financeiras na avaliação de empresas que recorrem a crédito e a investimentos.

Vários trabalhos foram feitos para investigação da solvabilidade, tendo-se chegado a excelentes resultados (Scarpel, 2000; Almeida 2000).

Este trabalho apresenta um sistema de diagnóstico da solvabilidade de empresas baseado na lógica fuzzy. Essa abordagem foi escolhida visto que a ferramenta fuzzy é adequada para desenvolvimento de sistemas onde são envolvidos conhecimentos de especialistas, conceitos subjetivos dentre outros.

O conjunto fuzzy foi inicialmente proposto por Zadeh, (1965) para ser uma extensão dos conjuntos clássicos. A utilidade desse conjunto reside na sua habilidade de modelar dados incertos ou ambíguos encontrados freqüentemente na vida real (Pal & Mitra, 1992). Na teoria clássica um elemento pertence ou não a um determinado conjunto, na teoria fuzzy o elemento pode pertencer, não pertencer ou estar parcialmente presente em um determinado conjunto (França, 1999), com um grau de inclusão ou um grau de pertinência (*membership degree*) que pode assumir valores entre 0 e 1. A representação do conjunto fuzzy depende não somente do conceito, mas também do contexto no qual é utilizado (Klir & Yuan, 1995).

O sistema desenvolvido neste trabalho, mostrado na Fig.(1), é composto por 3 módulos: aquisição de dados, extração de características, e o módulo de interpretação e decisão. As entradas do sistema são os dados provenientes de demonstradores financeiros e a saída é um índice que corresponde ao grau de solvabilidade da empresa.



Figura 1. Desenvolvimento do sistema de diagnóstico da solvabilidade de empresas.

### 1.1. Aquisição dos dados

Neste trabalho foi feito o estudo de 60 casos de empresas com níveis de solvência conhecidos. As empresas foram escolhidas e classificadas segundo o critério: empresas solventes são aquelas que desfrutam de crédito amplo pelo sistema bancário, sem restrições ou objeções a financiamentos ou empréstimos, enquanto que empresas insolventes são aquelas que tiveram processos de concordata, requerida e/ou diferida, e/ou falência decretada (Matias, 1978).

As empresas concordatárias negociadas na bolsa de valores foram identificadas através das edições de agosto/95 a fevereiro/99 do suplemento de orientação ao investidor editado semanalmente pela Bolsa de valores de São Paulo (BOVESPA). Fez-se também um levantamento, com auxílio da Comissão de Valores Mobiliários (CVM), das empresas de capital aberto que faliram nos anos de 1996, 1997 e 1998. Através desses critérios foram selecionadas 28 empresas como sendo insolventes.

No caso das empresas solventes, a seleção foi feita com o auxílio das revistas Conjuntura Econômica (edições de agosto de 1996 e 1997) e Exame (edição Maiores e Melhores de 1997 e 1998). Foram selecionadas 32 empresas como solventes.

Não foram consideradas as empresas estatais já que as mesmas poderiam deixar o estudo tendencioso, uma vez que, mesmo em situação financeira altamente desfavorável, tais empresas não entram em concordata e tampouco vão à falência.

### 1.2. Extração de características

Através da análise dos demonstradores financeiros dos dois grupos de empresas: solventes e insolventes, procurou-se por características que pudessem discriminar / descrever os modelos de entrada classificando-os em solventes e insolventes respectivamente. Dentro deste contexto, foram identificados índices de relevância relacionados a análise de liquidez, eficiência, endividamento e lucratividade. A Fig. (2) mostra o esquema adotado para a extração de características.

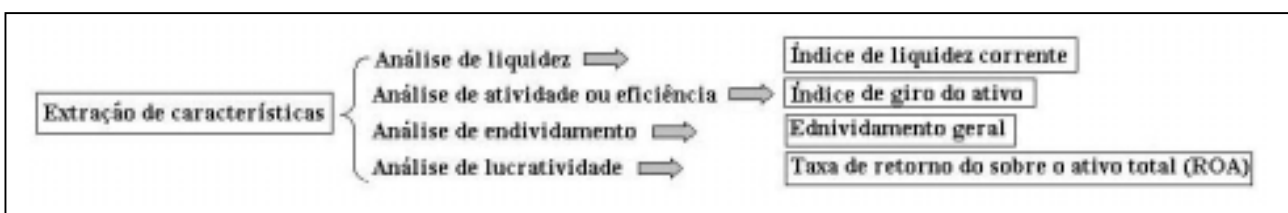


Figura 2. Extração de características.

### 1.3. Interpretação e decisão

A interpretação dos valores das características vindos da etapa de extração de características depende da interpretação de especialistas da área financeira. Nesse caso, o algoritmo *fuzzy* é utilizado para transformar o conhecimento de especialistas desta área específica em um conjunto de regras e funções conhecidas. A obtenção dessas funções e a elaboração dessas regras dependem da etapa de extração do conhecimento.

Para a elaboração de um sistema de inferência baseado em lógica *fuzzy* é necessário implementar os 5 passos seguintes (Fig. 3) (Borelli, 2000 1):

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificação dos fuzzy sets de entrada;</li> <li>2. Identificação das membership functions dos fuzzy sets de entrada;</li> <li>3. Identificação dos fuzzy sets de saída;</li> <li>4. Identificação das membership functions dos fuzzy sets de saída;</li> <li>5. Elaboração das regras de inferência</li> </ol> |
|--|

Figura 3. Elaboração de um sistema de inferência baseado em lógica *fuzzy*.

O que se pretende é a aplicação dos algoritmos *fuzzy* para a tomada de decisões. A automação da tomada de decisões está no nível mais alto de automação (Borelli, 1999).

## 2. Desenvolvimento do sistema de diagnóstico

A eficácia de um sistema de diagnóstico seja ele voltado para área financeira, médica ou manufatura depende da eficiência de cada etapa do processo de desenvolvimento, que se estende desde a aquisição de dados até a obtenção do índice correspondente a solvabilidade.

### 2.1. Escolha e extração de características

As quatro características escolhidas foram: índice de liquidez corrente, índice de giro do ativo, endividamento geral e taxa de retorno sobre o ativo total (ver Fig. 2).

O índice de liquidez corrente é calculado dividindo-se o ativo circulante pelo passivo circulante, relacionando-se de forma inversamente proporcional ao risco de curto prazo da empresa.

O índice de giro do ativo está relacionado com a eficiência da empresa na utilização do ativo total para a geração de receita. Esse índice é calculado dividindo-se a receita (ou vendas) total pelo ativo total.

O índice de endividamento geral é calculado pela razão entre o exigível total e o ativo total. Esse índice mede a proporção dos ativos totais da empresa financiada por credores, indicando também, em caso de liquidação da empresa, se esta conseguiria honrar suas dívidas.

O índice de endividamento geral está relacionado de forma diretamente proporcional ao risco da empresa, taxa de retorno sobre o ativo total (ROA). Esse índice é calculado dividindo-se o lucro líquido pelo ativo total, medindo a eficiência global da administração na geração de lucros a partir de seus ativos.

A escolha das características é condição necessária para a elaboração do módulo de interpretação e decisão, pois a determinação dos *fuzzy sets* de entrada, funções de pertinência e elaboração das regras de inferência depende do estudo do comportamento das características encontradas para os dois conjuntos de empresas em questão.

### 2.2. Elaboração do módulo de interpretação e decisão

#### 2.2.1. Determinação dos *fuzzy sets* e funções de pertinência

A determinação dos *fuzzy sets* e funções de pertinência depende do estudo do comportamento das características escolhidas como entrada do sistema, uma vez que essas características devem ser capazes de separar os padrões de interesse: empresas solventes e insolventes.

Neste trabalho, o grau de discriminação das características foi feito usando-se a distribuição de frequência acumulada. Dependendo do problema e da natureza das características, ainda podem ser usadas, distribuição de frequência de Gauss e métodos estatísticos dentre outros (Beale & Jackson, 1990).

Os gráficos usados para a análise dos índices de liquidez corrente, giro do ativo, endividamento geral e taxa de retorno sobre o ativo total (ROA) estão mostrados nas Figs. (4), (5), (6) e (7) a seguir.



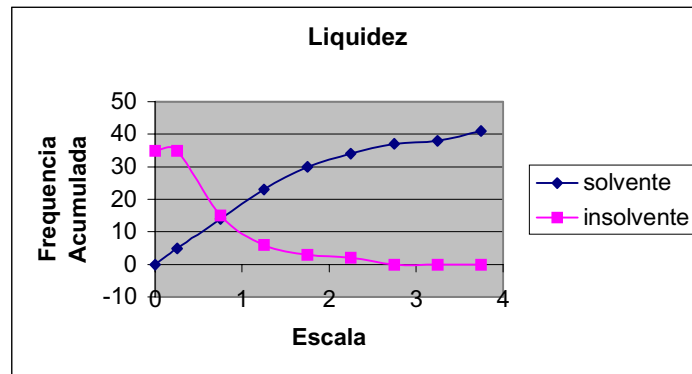


Figura 4. Frequência acumulada em função da escala: liquidez.

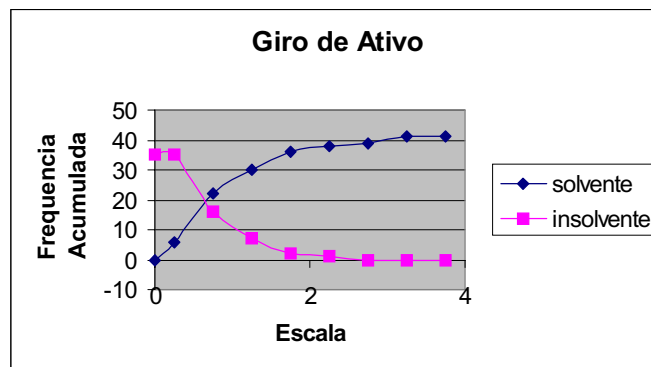


Figura 5. Frequência acumulada em função da escala: giro do ativo.

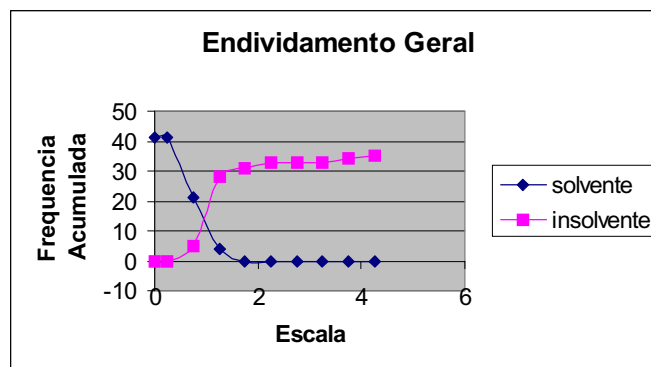


Figura 6. Frequência acumulada em função da escala: endividamento geral.

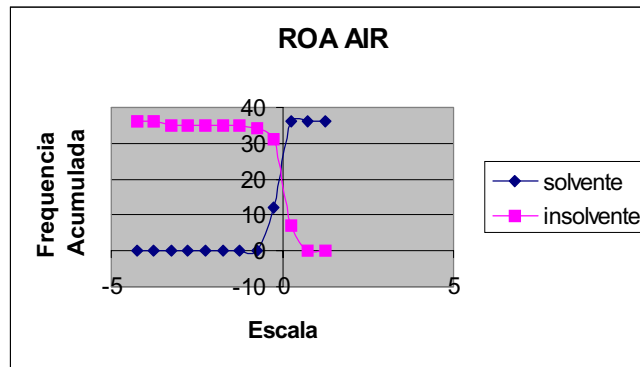


Figura 7. Frequência acumulada em função da escala: ROA AIR.

Através da análise dos gráficos, pode-se concluir que empresas solventes e insolventes podem ser separadas umas das outras através de procedimentos de seleção.

A partir desses gráficos foram montados os *fuzzy sets* e respectivas funções de pertinência representados na Tab.(1) a seguir.

Tabela 1. *Fuzzy sets* e respectivas funções de pertinência.

<i>Fuzzy sets</i> de Entrada	<i>Membership functions</i>
<b>Liquidez corrente</b>	Baixa – função trapézio
	Alta – função trapézio
<b>Giro do ativo</b>	Baixa – função trapézio
	Alta – função trapézio
<b>Endividamento geral</b>	Baixa – função trapézio
	Alta – função trapézio
<b>Taxa de retorno sobre o ativo total</b>	Baixa – função trapézio
	Alta – função trapézio

Através do critério de semelhança (Borelli, 2000 1,2) e do uso da função trapézio dada pela equação 1 a seguir, pode-se determinar os *fuzzy sets* e *membership functions* de entrada do sistema, Tab.(1).

$$\text{Pertinência} = F(x) = \begin{cases} \frac{x - a1}{a1' - a1} & a1 \leq x \leq a1' \\ 1 & a1' \leq x \leq a2' \\ \frac{x - a2}{a2' - a2} & a2' \leq x \leq a2 \end{cases} \tag{1}$$

A Função de pertinência dada pela equação 1 é mostrada no gráfico da Fig. (8).

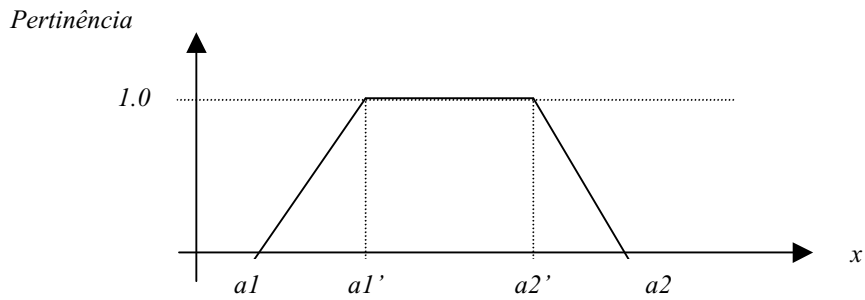


Figura 8. Função Trapézio para representação das *Membership Functions*..

Os *fuzzy sets* e respectivas *membership functions* de entradas estão representados nos gráficos representados nas Figs. (9), (10), (11) e (12) a seguir.

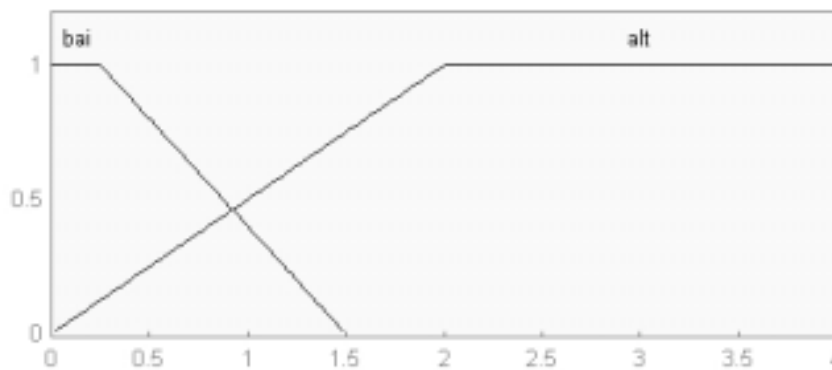


Figura 9. *Fuzzy set* liquidez corrente e respectivas *membership functions*.

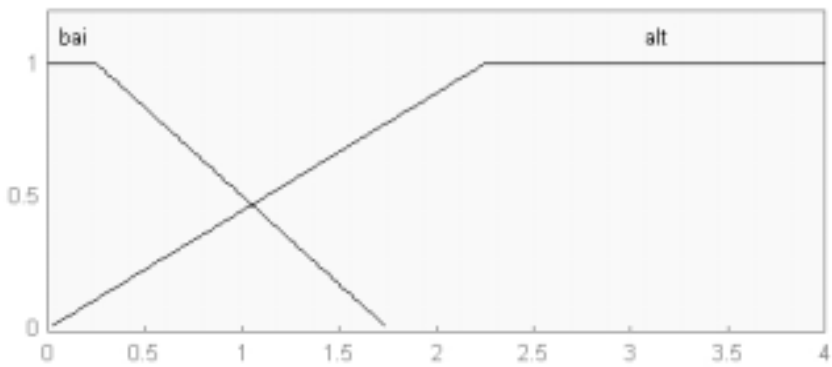


Figura 10. *Fuzzy set* giro do ativo e respectivas *membership functions*.

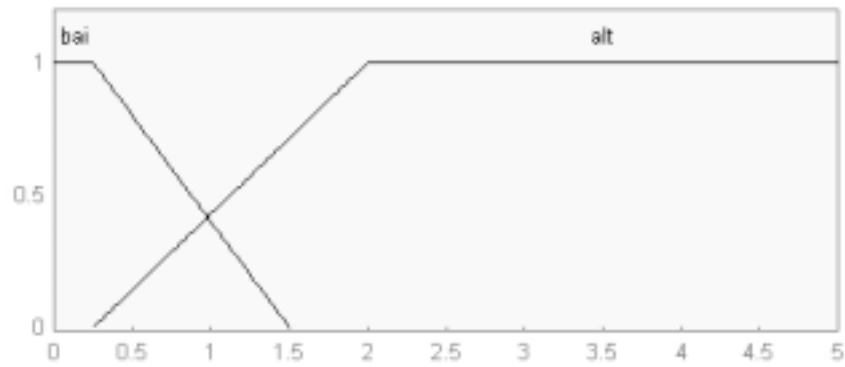


Figura 11. *Fuzzy set* endividamento geral e respectivas *membership functions*.

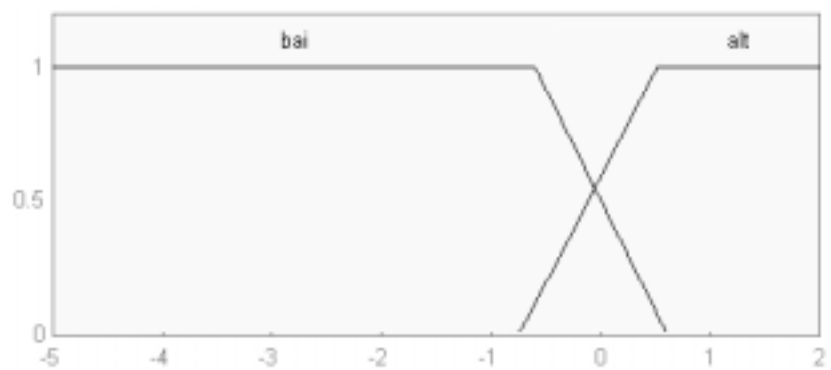


Figura 12. *Fuzzy set* taxa de retorno sobre o ativo total (ROA) e respectivas *membership functions*.

**2.2.2. Determinação do fuzzy set de saída e funções de pertinência**

O *fuzzy set* de saída é representado pela variável “solvabilidade” dado pela Fig.(13) a seguir.

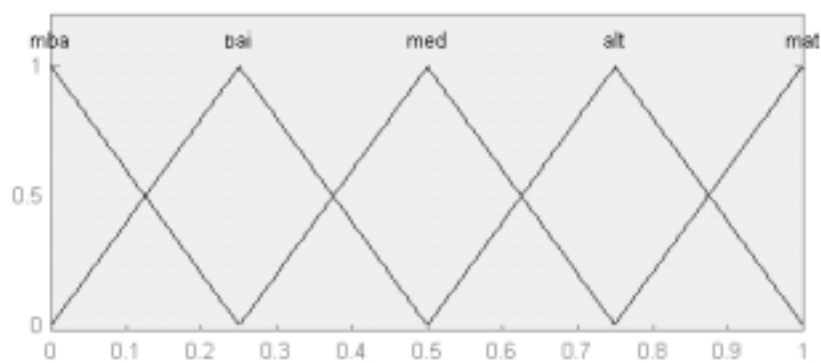


Figura 13. *Fuzzy set* taxa de retorno sobre o ativo total (ROA) e respectivas *membership functions*.

A função predominante é do tipo triângulo e é modelada pela equação 2 a seguir.

$$\text{Pertinência} = F(x) = \begin{cases} \frac{x - a1}{aM - a1} & a1 \leq x \leq aM \\ \frac{x - a2}{aM - a2} & aM \leq x \leq a2 \\ 0 & \text{se outros valores} \\ \text{modo} & \end{cases} \quad (2)$$

A Função triângulo é descrita pelo gráfico da Fig. (14).

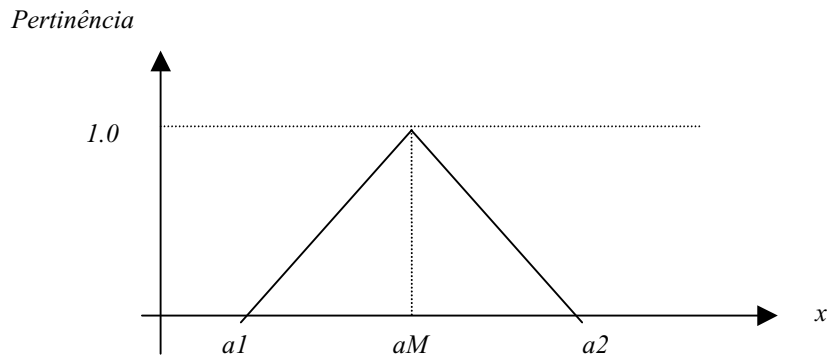


Figura 14. Função Triângulo para representação das *Membership Functions*..

**2.2.3. Elaboração das regras de inferência fuzzy**

As regras de inferência foram baseadas no conhecimento de especialistas da área financeira. A extração do conhecimento foi feita por intermédio de questionários.

As regras de inferência utilizadas estão identificadas na Fig. (15).

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se (liquidez é baixa) e (giro é baixo) e (endividamento é alto) e (ROA é baixo) então (solvabilidade é muito baixa)</li> <li>2. Se (liquidez é baixa) e (giro é baixo) e (endividamento é alto) e (ROA é alto) então (solvabilidade é baixa)</li> <li>3. Se (liquidez é baixa) e (giro é alto) e (endividamento é alto) e (ROA é baixo) então (solvabilidade é baixa)</li> <li>4. Se (liquidez é baixa) e (giro é alto) e (endividamento é alto) e (ROA é alto) então (solvabilidade é média)</li> <li>5. Se (liquidez é alta) e (giro é baixo) e (endividamento é baixo) e (ROA é baixo) então (solvabilidade é média)</li> <li>6. Se (liquidez é alta) e (giro é baixo) e (endividamento é baixo) e (ROA é alto) então (solvabilidade é alta)</li> <li>7. Se (liquidez é alta) e (giro é alto) e (endividamento é baixo) e (ROA é baixo) então (solvabilidade é alta)</li> <li>8. Se (liquidez é alta) e (giro é alto) e (endividamento é baixo) e (ROA é alto) então (solvabilidade é muito alta)</li> </ol> |
|---|

Figura 15. Regras de inferência *Fuzzy*.

**2.3. Extração do conhecimento**

Dentro do módulo de tomada de decisões, a extração do conhecimento está implícito em todas as etapas do processo. A extração do conhecimento do fenômeno “solvência” foi feita através do estudo de casos, com base no estudo das características. A extração do conhecimento dos especialistas foi feito por intermédio de questionários.

### 3. Resultados

A etapa de desenvolvimento resultou no sistema de diagnóstico mostrado na Fig. (16) a seguir.

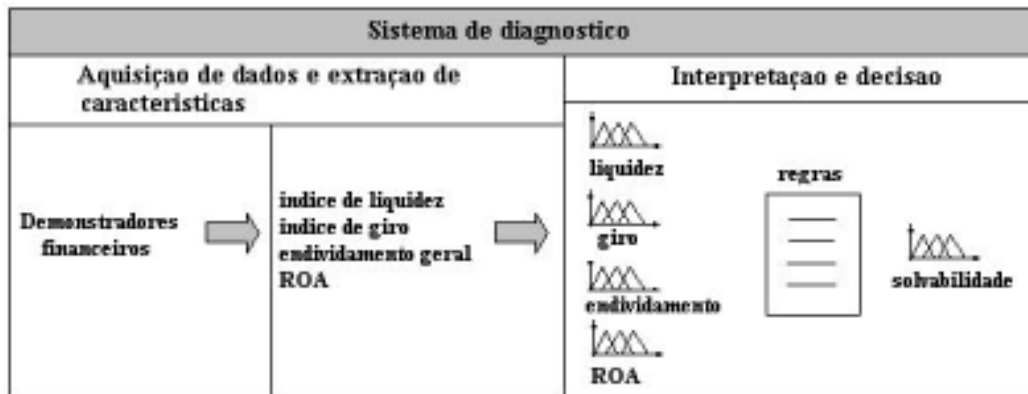


Figura 16. Sistema de diagnóstico desenvolvido.

Para a validação do sistema foram testadas 39 empresas tendo-se obtido em primeira instância um acerto de 82 %, baseado nas informações de solvência divulgadas. Há que se registrar, todavia, que há casos de empresas operacionalmente falidas que não tem sua falência decretada por questões burocráticas ou de ordens diversas. Os erros cometidos pelo algoritmo dizem respeito a avaliação dessas empresas.

### 4. Conclusões

Diante do exposto no item anterior, pode-se concluir que o sistema apresentou um índice de acerto superior a 82%.

O sistema desenvolvido foi baseado no conhecimento de especialistas e no estudo de casos de empresas de solvabilidade conhecida.

O algoritmo *fuzzy* fornece um índice de solvabilidade que varia de 0 a 100% possibilitando ao investidor classificar as melhores empresas susceptíveis ao investimento.

O algoritmo *fuzzy* funcionou conforme as expectativas, mostrando-se eficaz no diagnóstico da solvabilidade e de grande capacidade para a automação da tomada de decisões nos sistemas financeiros.

### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES (Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e à FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio concedido, tornando viável o desenvolvimento do presente trabalho.

### Referência bibliográfica

- Almeida, H. R., 2000. "Análise envoltória de dados na tomada de decisão para concessão de crédito", *Dissertação de mestrado apresentado no Instituto de Tecnologia de Aeronáutica*, São José dos Campos, SP.
- Beale, R., Jackson, T., 1990. "Neural Computing: An Introduction", Adam Hilger. Bristol,
- Bojadziev, G., Bojadziev, M., 1995. "Fuzzy sets, fuzzy logic, applications", Singapore, *World Cientific*, Vol. 5, 282p, ISBN: 981-02-2606-3.
- Borelli, J.E., 1999. "Automação da inferência humana com o uso de lógica nebulosa: uma aplicação", *Apostila*, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Elétrica.
- Borelli, J.E., 2000, 1. "Diagnóstico do estado de desgaste ferramentas para o monitoramento de condições de usinagem de alto desempenho", *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos São Carlos, SP.
- Borelli, J.E., Branghini Jr., A., Coelho, R.T., Gonzaga, A., 2000, 2. "Diagnóstico do Estado da Ferramenta nos Processos de Usinagem de Alto Desempenho com o Uso de Lógica Fuzzy e Imagens de Infravermelho", *Revista Máquinas e Metais*, Editora Aranda, Marco, São Paulo, SP.
- Borelli, J.E., Monaco, F.J., Neves, E.A., Gonzaga, A., 2000, 3. "Telediagnóstico Auxiliado por Computador para Automação do Monitoramento à Distância de Patologias de Pele: uma aplicação voltada ao estudo da reparação tecidual de úlceras tróficas de perna", *XVII Congresso Nacional de Engenharia Biomédica, CBEB2000*, Florianópolis, SC.

- França, C. A.,1999. “Avaliação da qualidade de placas de madeira através de um sistema de inferência nebuloso baseado em redes adaptativas”. São Carlos, EESC – USP. *Tese de Doutorado*.
- Klir,G.J., Yuan,B.,1995. “Fuzzy sets and Pattern Recognition”.  
<http://www-wngr.sjsu.edu/~Knapp/HCIFUZZY/fuzzy.htm>.
- Matias, A.B.,1978. “Contribuição às técnicas de análise financeira: um modelo de concessão de crédito”, *Trabalho apresentado ao Depto. De Administração da Faculdade de Economia e Administração da USP*, São Paulo – SP.
- Pal, S.K, Mitra,S.,1992. “Multilayer Perceptron, Fuzzy Sets and Classification”, *IEEE Transactions on Neural Networks*,. Vol.3, No.5. pp.683-697.
- Scarpel, R. A., 2000. Modelos matemáticos em análise financeira de empresas de setores industriais e de credito. *Dissertação de mestrado apresentado no Instituto de Tecnologia de Aeronáutica*, São José dos Campos – SP.
- Zadeh, L.A.,1965. “Fuzzy Sets”. *Information and Control*. Vol.8, pp.338-353.

## ENTERPRISE SOLVABILITY DIAGNOSIS USING FUZZY LOGIC

**João Eduardo Borelli**

**Marcus Vinícius Pereira de Souza**

**Rodrigo Arnaldo Scarpel**

**Armando Zeferino Milioni**

**Luis Gonzaga Trabasso**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Departamento de Engenharia Mecânica, CTA,12228-901, São José dos Campos - SP, Brasil  
[jborelli@mec.ita.br](mailto:jborelli@mec.ita.br), [mvinic@mec.ita.br](mailto:mvinic@mec.ita.br), [rodrigo@mec.ita.br](mailto:rodrigo@mec.ita.br), [milioni@mec.ita.br](mailto:milioni@mec.ita.br), [gonzaga@mec.ita.br](mailto:gonzaga@mec.ita.br)

**Abstract:** *Evaluation of a company solvability is of great importance for financial decisions such as credit concession. The solvability degree can be evaluated by the analysis of indexes calculated from financial demonstrations. Within this purpose, we studied the financial demonstrations of 60 companies with different and known levels of solvability and identified the indexes that are more relevant in terms of discriminating these companies according to their degree of solvability. These indexes are liquidity, debt level, activity and profitability. We then developed a Fuzzy logic computer aided diagnosis system. As its entrance, the system has Fuzzy sets corresponding to computations obtained using above-mentioned indexes. As its exit, the system has a Fuzzy set corresponding to an index associated to the degree of solvency of the company. The inference rules were based on studies of known cases. The algorithm was tested in 39 companies and the solution obtained was compared with other models. The conclusion was that the algorithm is effective in the diagnosis of the solvability and so it is appropriate to be used as a decision support system.*

*Key Words:* solvency of companies, Fuzzy Logic.

## TÉCNICAS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS APLICADAS À GESTÃO DA CADEIA DE FORNECIMENTO (SUPPLY CHAIN MANGEMENT).

### Rogério Monteiro

Universidade Estadual de Campinas / Faculdade de Engenharia Mecânica / Departamento de Engenharia de Fabricação  
- Caixa Postal 6162 - Cidade Universitária Zeferino Vaz - 13.083-970 - Campinas - SP, [monteiro@fem.unicamp.br](mailto:monteiro@fem.unicamp.br)

### Flávio Costa Ribeiro Lima

Universidade Estadual de Campinas / Faculdade de Engenharia Mecânica / Departamento de Engenharia de Fabricação  
- Caixa Postal 6162 - Cidade Universitária Zeferino Vaz - 13.083-970 - Campinas - SP, [fcrlima@fem.unicamp.br](mailto:fcrlima@fem.unicamp.br)

### Antonio Batocchio

Universidade Estadual de Campinas/Faculdade de Engenharia Mecânica / Departamento de Engenharia de Fabricação  
- Caixa Postal 6162 - Cidade Universitária Zeferino Vaz - 13.083-970 - Campinas - SP, [batocchi@fem.unicamp.br](mailto:batocchi@fem.unicamp.br)

**Resumo.** Com a disseminação da micro-informática e sua adoção na maioria dos ramos de negócios em nossa atualidade, o fluxo de informações e produtos dentro da cadeia de fornecimento da empresa ganhou, nos últimos anos, maior eficácia. Essa maior eficácia reflete-se em todos os processos empresariais, desde o desenvolvimento de fornecedores até no serviço pós-venda prestado pela empresa aos clientes. Com essa nova realidade, torna-se impensável a efetivação de qualquer investimento sem que a empresa obtenha o máximo de informação a respeito da empreitada. Este artigo tem por objetivo analisar o processo de tomada de decisão empresarial para a efetivação de investimentos voltados para a melhoria da cadeia de fornecimento (Supply Chain). O estudo abrange os três principais tópicos da gestão da cadeia de fornecedores como processamento de pedidos, manutenção de estoques e transporte, os quais são citados por Ronald H. Ballou em seu livro *Business Logistics Management*. Neste artigo, confrontaremos diferentes técnicas de análise de investimentos tais como Valor Presente Líquido, Período de Payback Descontado, entre outras, buscando encontrar os principais aspectos que regem o processo decisório empresarial voltado para o Supply Chain Management. Esse artigo é parte integrante de um estudo maior que abrange a gestão da cadeia integrada de suprimentos.

**Palavras-chaves:** Análise de Investimentos, Valor Presente Líquido, Supply Chain Management

## 1. Introdução

O objetivo deste artigo é identificar, através de um levantamento bibliográfico, os principais vetores que direcionam a decisão de investimentos dentro de uma Cadeia de Fornecimento. Define-se Cadeia de Fornecimento, ou Supply Chain, como sendo a integração dos diversos processos de negócios e organizações, desde o usuário final até os fornecedores originais, que proporcionam os produtos, serviços e informações que agregam valor para o cliente (Yosshizaki, 2001).

Assim como no parágrafo anterior, Yosshizaki (2001) referencia o Council of Logistics Management de 1998 na definição do termo Logística, ou seja, a parcela do processo da cadeia de suprimentos que planeja, implanta e controla o fluxo consciente e eficaz de matérias-primas, estoque em processo, produtos acabados e informações relacionadas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender aos requisitos do cliente. Outra definição para logística pode ser encontrada em Christopher (1997): Logística é o processo de gerenciar estrategicamente a aquisição, movimentação e armazenagem de materiais, peças e produtos acabados (e os fluxos de informações correlatas) através da organização e seus canais de marketing, de modo a poder maximizar as lucratividades presente e futura através do atendimento dos pedidos a baixo custo.

Segundo BALLOU (1995), existem três atividades primárias no processo logístico, as quais são responsáveis pelo alcance dos objetivos logísticos de custos e nível de serviço aos clientes. São elas: Processamento de Pedidos, Manutenção de Estoques e Transporte.

### Processamento de Pedidos

**Definição:** É um elemento crítico em termos do tempo necessário para levar bens e serviços aos clientes. A partir dessa atividade que se inicia a movimentação de produtos e a entrega de serviços.

**Tendências:** Adequar-se às novas tecnologias, através do compartilhamento de informações entre empresas, comunicação direta entre máquinas (clientes e fornecedores da cadeia produtiva), sem a interferência humana.

### Manutenção de Estoques

**Definição:** O estoque tem como principal função agir como amortecedores entre a oferta e a demanda. Devido seu alto custo, é uma atividade chave dentro da logística.

**Tendências:** Difusão de sistemas cada vez mais precisos, os quais poderão originar-se do sistema *pull*, de evoluções do MRP II ou sistemas híbridos de produção, os quais serão capazes de minimizar as oscilações e ruídos cumulativos de demanda sofridos pelas cadeias produtivas atuais.



## Transporte

**Definição:** É responsável pela movimentação de matérias-primas e produtos acabados da empresas. Caracteriza-se por ser uma das atividades de maior custo dentro do processo logístico.

**Tendências:** Maior utilização de rastreamento via satélite, roteamento à distância, além de toda tecnologia embarcada na frota. Essa tecnologia seria capaz de monitorar o ambiente interno e externo ao veículo de transporte utilizado. Nesse item, cabe também a preocupação com a infraestrutura das vias, sejam elas térreas, aéreas ou fluviais.

Raftery (1996) considera que para cada investimento há um risco específico. A escolha da técnica para análise de investimento depende do tamanho, tipo e natureza do projeto ou do problema que está sendo modelado, da confiabilidade das informações avaliadas e do nível de resposta requerida na saída. O nível de resposta requerida dependerá dos tipos de decisões a serem tomadas em relação às necessidades particulares dos clientes envolvidos.

## 2. Práticas de Tomadas de Decisões de Investimentos

A análise financeira tem sido bastante utilizada nas decisões de investimentos. Métodos como Período de Payback, Valor Presente Líquido, entre outros, são de grande disseminação no meio empresarial. É importante ressaltar que além desses métodos, os métodos não financeiros estão ganhando maior importância nos últimos anos, isso porque fatores intangíveis, de difícil mensuração passaram a ter maior peso na composição do valor dos produtos / serviços oferecidos. Diz-se então, que uma cadeia produtiva deve trabalhar objetivada para adicionar valor ao cliente. O objetivo deste item é apresentar diversas técnicas de análise de investimento, sejam elas financeiras ou não. Trata-se de um *overview* que abrange as práticas utilizadas em âmbito industrial durante o processo decisório empresarial. A apresentação será dividida em dois tópicos, são eles: (1) Técnicas financeiras, (2) Técnicas híbridas.

### 2.1 Técnicas Financeiras de Análise de Investimento

Apesar das inúmeras mudanças ocorridas recentemente no ambiente industrial, seja em âmbito interno ou externo à empresa, algumas técnicas financeiras clássicas mantêm-se em uso constante no dia a dia das corporações. Neste tópico, citaremos algumas delas, apresentando suas vantagens e desvantagens.

2.1.1 Valor Presente Líquido (VPL) – Em Ross (1995), encontramos os princípios fundamentais de finanças voltados para a técnica do Valor Presente Líquido. Essa técnica contribui para o processo decisório de investimento e na tomada de decisão. Baseia-se em um teste comparativo entre as alternativas oferecidas pelo mercado financeiro e o investimento em estudo. Se alguma alternativa de investimento no mercado financeiro proporcionar maior expectativa de retorno, o projeto em questão será rejeitado. A fórmula algébrica do valor presente líquido de um projeto de T períodos é dada por:

$$VPL = -C_0 + \frac{C_1}{1+r} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

Que resulta:

$$VPL = -C_0 + \sum_{i=1}^T \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad (2)$$

Onde:  $C_0$  = Fluxo de caixa inicial (Negativo por ser o capital investido)

$i$  = Tempo decorrido, que varia de 1 a T (dia, mês ou ano)

$C_i$  = Capital a receber no instante de tempo  $i$  (fluxos de caixa positivos)

$r$  = Taxa de juros incidentes no investimento

Resumidamente, se o VPL for positivo, o projeto deveria ser aceito, o que beneficiaria os acionistas. Caso o VPL seja negativo, o projeto deveria ser rejeitado pois demonstra a existência de melhores alternativas para a aplicação do recurso financeiro.

2.1.2 Período de Payback – Trata-se de uma das alternativas mais populares ao VPL. A regra é bastante simples. Considera-se um projeto com seu respectivo investimento (valor negativo) e os respectivos fluxos de caixa (provavelmente positivos) no período de tempo adotado. O período de Payback (retorno do capital) equivale ao tempo necessário para se igualar os fluxos dos capitais de caixa ao capital inicialmente investido. Dessa maneira, todo o projeto que possuir período de *payback* maior de 2 anos (por exemplo), seria rejeitado. Esse método simples é muito utilizado em decisões de investimento relativamente pouco importantes, freqüentemente em tomadas por níveis administrativos inferiores que, apesar de não representarem grandes somas financeiras, representam grandes volumes de decisões. Ross (1995) apresenta três principais problemas desse método, são eles:

- (1) A distribuição dos fluxos de caixa dentro do período de recuperação
- (2) Fluxos de caixa posteriores ao período de recuperação e
- (3) Padrões arbitrários no período de Feedback.

- 2.1.3 Período de Payback Descontado – Este método visa suprir as deficiências encontradas na regra do payback. Neste enfoque, descontamos primeiro os fluxos de caixa. Em seguida perguntamos quanto tempo seria necessário para que os fluxos de caixa descontados se iguallassem ao investimento inicial.
- 2.1.4 Taxa Média de Retorno Contábil (ou Retorno Contábil Médio – RCM) – Dado pelo quociente entre lucro do projeto, depois do imposto de renda e da despesa de depreciação, e o valor contábil médio do investimento por toda sua vida útil. Esse método, assim como o payback, apresenta deficiências, porém é muito utilizado na prática, dividindo-se em três etapas: (1) Determinação do lucro líquido médio; (2) Determinação do investimento médio e (3) Determinação do RCM. Dentre as deficiências encontradas nesse método encontra-se a utilização dos dados de lucro líquido e valor contábil do investimento para determinar se o investimento deve ser efetuado, enquanto no VPL recorre-se aos fluxos de caixa; O RCM não considera a distribuição dos fluxos de caixa no tempo e, assim como o Período de Payback, o método requer a escolha arbitrária de uma data-limite, não oferecendo qualquer orientação a respeito da determinação da taxa desejada de retorno apropriada.
- 2.1.5 Taxa Interna de Retorno (TIR) – Resumidamente, a TIR busca encontrar um número que sintetize os méritos de um projeto. Esse número não depende de taxa de juros vigente no mercado de capitais, sendo um número intrínseco ao projeto, dependendo apenas dos fluxos de caixa do projeto. Na prática, a TIR equivale à taxa que faz com que o VPL do projeto seja nulo. Segue a regra geral do TIR: Aceitar o projeto se a TIR for superior à taxa de desconto. Rejeitar o projeto se a TIR for menor do que a taxa de desconto.
- 2.1.6 Índice de Rentabilidade (IR) – Este método é largamente utilizado para avaliar projetos. Trata-se do quociente entre o valor presente dos fluxos de caixa futuros esperados, após o investimento inicial e o valor do investimento inicial.

Além dos métodos apresentados anteriormente, Machline (1987) menciona o Método de Depreciação Linear mais Juros Médios, o qual presta-se para tratar de casos mais elementares, proporcionando soluções aproximadas.

## 2.2 Técnicas Híbridas

Assumimos essa nomenclatura por tratarem-se de técnicas que ultrapassam a visão puramente financeira do investimento. Essas técnicas consideram fatores intangíveis da cadeia produtiva como a satisfação do cliente, competição baseada no tempo, desempenho de funcionários, níveis de flexibilidade da empresa, sincronismo na cadeia de fornecimento, entre outros aspectos.

- 2.2.1 Segundo Kaplan (1997), as empresas da era da informação estão baseadas em um novo conjunto de premissas operacionais:

*Processos Interfuncionais:* Integração dos processos de negócios abrangendo todas as funções tradicionais, combinando os benefícios da especialização funcional com a agilidade, eficiência e qualidade da integração dos processos.

*Ligação dos Clientes e Fornecedores:* Possibilidade da integração dos processos de suprimentos, produção e entregas, de modo que as operações sejam “puxadas” pelos pedidos dos clientes. Um sistema integrado, desde os pedidos dos clientes até fornecedores de matérias-primas, permite que todas as unidades organizacionais formadoras da cadeia de valores obtenham grandes melhorias no que diz respeito a custo, qualidade e tempos de resposta.

*Segmentação de Clientes:* Oferecer produtos e serviços customizados a seus diversos segmentos de clientes, sem serem penalizadas nos custos por operações de alta variedade e baixo volume.

*Escala Global:* As fronteiras nacionais deixam de ser um obstáculo à concorrência de empresas estrangeiras mais eficientes e ágeis.

*Inovação:* Com a constante redução do ciclo de vida dos produtos de alta tecnologia, faz-se necessário dominar a arte de prever as necessidades futuras dos clientes.

*Trabalhadores de Conhecimento:* Os funcionários devem agregar valor pelo que sabem e pelas informações que podem fornecer.

O Balanced Scorecard (BSC) complementa as medidas financeiras do desempenho passado com medidas dos vetores que impulsionam o desempenho futuro. Os objetivos e medidas do scorecard derivam da visão e estratégia da empresa. Os objetivos e medidas focalizam o desempenho organizacional sob quatro perspectivas: Financeira, do Cliente, dos Processos Internos e de Aprendizado e Crescimento. Empresas inovadoras estão utilizando o scorecard como um sistema de gestão estratégica para administrar a estratégia em longo prazo. Elas adotaram a filosofia de scorecard para viabilizar processos gerenciais críticos:

1. Esclarecer e traduzir a visão e a estratégia
2. Comunicar e associar objetivos e medidas estratégicas
3. Planejar, estabelecer metas e alinhar estratégias
4. Melhorar o feedback e o aprendizado estratégico

O Balanced Scorecard preenche uma lacuna existente na maioria dos sistemas gerenciais - A falta de um processo sistemático para implementar e obter feedback sobre a estratégia. Os processos gerenciais construídos a partir de scorecard asseguram que a organização fique alinhada e focalizada na implementação da estratégia de longo prazo. Assim entendido, o Balanced Scorecard torna-se a base para o gerenciamento das empresas na era da informação.

Outro fator capaz de maximizar a utilização dos recursos da empresa é a flexibilidade. Em Monteiro (1998), o termo flexibilidade é definido como sendo a habilidade que um Sistema de Manufatura possui de dominar as mudanças efetivamente. Independentemente do tamanho, nível de automação ou outros fatores, um Sistema de Manufatura é considerado flexível somente quando um ou mais de seus componentes possuírem os atributos físicos desejáveis, como por exemplo, a habilidade de processar diferentes tipos de peças/componentes, respostas rápidas, múltiplas rotinas e variedade de controles. Em termos de Logística Integrada, os níveis de flexibilidade ganham importância ainda maior, sendo capaz de afetar positivamente o controle e manutenção de inventário, disponibilidade de espaços e, inclusive, praticidade em centros de montagem rápida, embalagem e expedição. Três tipos de inventários são citados por Fine (1993) ao estudar as interações entre flexibilidade e inventário, os Ciclos de estoques, os Estoques de segurança e os Estoques sazonais. Dentre os diversos trabalhos publicados, três grupos baseados em fenômenos econômicos são considerados, são eles:

- (1) Flexibilidade como um caminho contra a incerteza;
- (2) Interações entre flexibilidade e inventário e
- (3) Flexibilidade como uma variável estratégica que influencia na ação dos competidores.

As motivações para a maioria desses trabalhos têm sido desenvolver um conjunto de ferramentas conceituais e de orçamento de capital capazes de nortear o tomador de decisão com relação aos investimentos em tecnologia.

2.2.2 Slack (1993) apresenta na Fig. (1), duas dimensões que determinam a adequação do MRP e do JIT – o tipo de processo de produção e o nível para o qual o sistema de controle está sendo projetado. O tipo de produção é realmente uma combinação de fatores que indicam a complexidade da manufatura. A variação nos tempos de processamento, o número de roteiros de produção alternativos, a complexidade das estruturas de produtos e a variedade de tipos de produtos. O nível de controle indica qual conjunto das tarefas de controle da produção está sendo considerado. O controle de alto nível envolve a coordenação do fluxo de materiais para as várias partes da fábrica, bem como dá a indicação do nível de saída que será esperado em períodos futuros. O controle de nível médio é a alocação detalhada das ordens de produção de cada fábrica. O controle de nível baixo é o detalhado monitoramento e reajuste das atividades do dia-a-dia da produção.

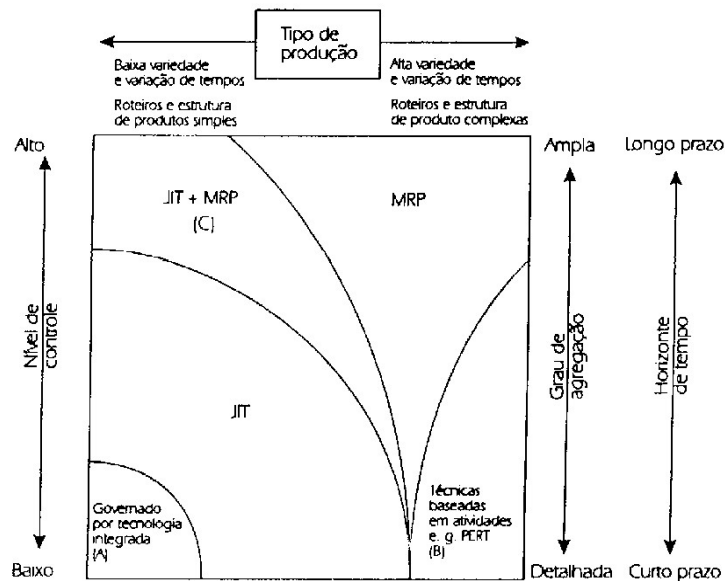


Figura 1. O mecanismo de planejamento e controle apropriado para a rede de suprimento interna dependerá da complexidade da manufatura e do nível de controle (Slack, p.173).

2.2.3 Shank (1996) e Nakagawa (1991) consideram que os métodos tradicionais de análise de Investimento de capitais, como o NPV (Net Present Value) não são capazes de capturar todo o impacto das decisões de mudança tecnológica atualmente existentes, necessitando de uma complementação pela cadeia de valor. Utiliza-se então, da Gestão Estratégica de Custos (Strategic Costs Management) que possui três enfoques principais:

- (1) Análise da Cadeia de Valor
- (2) Análise dos Direcionadores de Custos
- (3) Análise da Vantagem Competitiva.

1. *Análise da Cadeia de Valor:* Na Estrutura da Gestão Estratégica de Custos, gerir efetivamente os custos requer uma atenção da empresa externamente. O valor para qualquer empresa em qualquer tipo de negócio está ligado ao conjunto de atividades que agregam valor a partir de materiais básicos através de componentes fornecidos, até a entrega para o usuário final e, muitas vezes, através da reciclagem para iniciar um novo ciclo de cadeia de valor. O foco externo possibilita a visão de cada empresa em um contexto da cadeia completa de atividades que agregam valor somente em uma parte. Há empresas que expandem a atuação nas cadeias de valores nas quais elas participam. A análise da cadeia de valor é contrastada com a análise do valor agregado, o qual começa com o pagamento para os fornecedores (compras) e acaba com a entrega (CHARGES) ao consumidor (vendas), enquanto focaliza a maximização da diferença, o valor agregado (Vendas menos compras) para a empresa.

2. *Análise dos direcionadores de custos:* Na gestão contábil convencional há somente um direcionador de custos. A unidade de mudança de custos é vista largamente como uma função de mudança de volume. Na Gestão Estratégica de Custos o volume de saída é visto para capturar muito menos da riqueza do comportamento de custo. Dessa forma, A gestão Estratégica de Custos desenha muito menos o modelo simples da microeconomia básica e muito mais sobre o modelo de enriquecimento econômico da organização industrial.

3. *Análise da Vantagem Competitiva:* A perspectiva da Gestão Estratégica de Custos, o entendimento das implicações de como a empresa escolhe competir é tão importante para a análise de custos quanto entender o valor da cadeia e os direcionadores de custos são as chaves estratégicas no passo crítico dessas cadeias. Porter (1980) discute as escolhas básicas para competir como líder de custos e diferenciação.

2.2.4 Na seqüência, Carr e Tomkins (1996) discutem como a estrutura da Gestão Estratégica de custos pode ser utilizada empiricamente e examinam essa aplicação na prática com 51 estudos de casos relacionados com a decisão estratégica de investimento em 44 empresas Britânicas e Alemãs, incluindo subsidiárias americanas em ambos os países. A análise mostra que o grupo de companhias de maior sucesso voltou suas atenções para a cadeia de valor e análise da vantagem competitiva. Atualmente, essas empresas despendem menores esforços aos cálculos financeiros.

2.2.5 Doing Li (1999) enfoca o aumento de eficiência e eficácia do Supply Chain através de quatro Critérios: Lucro, Desempenho do Lead Time, Pontualidade das Entregas e eliminação do lixo em vez de considerar somente o custo. No modelo apresentado, o desempenho da cadeia de suprimentos divide-se em dois níveis: (1) Nível da Cadeia – Está relacionado à melhoria do desempenho da cadeia de fornecimento. Tem por objetivo satisfazer as reais necessidades do cliente e buscar a melhor estratégia de gestão para a cadeia de fornecimento; (2) Nível de operações – Busca otimizar as atividades tanto da manufatura quanto das operações logísticas através de um dado objetivo comum.

2.2.6 Slack (1993) divide as redes de suprimento em 3 níveis, conforme a Fig. (2). Podemos considerar que qualquer operação é uma pequena parte da rede total. Dentro da rede total está a rede imediata de relações consumidor / fornecedor. Dentro da operação em si está a rede interna.

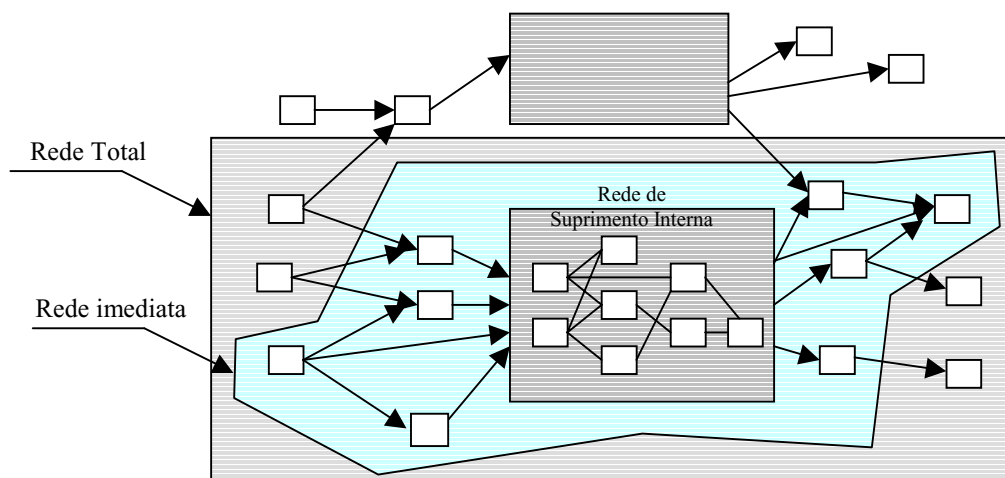


Figura 2. Divisão da rede de suprimentos em três níveis (adaptado de Slack, p.156).

Faz-se necessário, portanto, entender e identificar quem na rede contribui para o alcance dos itens que o consumidor final valoriza. Segundo Slack (1993), a rede de suprimentos total proporciona diversas vantagens aos seus participantes como:

- A mudança da ênfase do oportunismo de curto prazo para a lucratividade de longo prazo.
- Proporciona a tomada de decisões que visam a melhoria global da cadeia e não apenas em nível local.
- Sensibiliza a operação para macro-mudanças no sentido de adequar-se às novas e melhores práticas.
- Melhoria do desempenho da cadeia de fornecimento.

O Investimento voltado para atender o cliente final de maneira satisfatória e otimizada tornou-se fundamental para a permanência da empresa e, conseqüentemente, de seus parceiros no mercado. O empresário descobriu que para destacar-se frente aos concorrentes precisaria enxugar toda a cadeia de fornecimento, sob risco de perder fatias de mercado.

Outro fator importante dentro da cadeia de suprimentos é a integração vertical. Certo (1993), define interação vertical como sendo o crescimento através da aquisição de outras organizações num canal de distribuição. Essa estratégia pode ser classificada em dois tipos:

- Integração Inversa: Quando uma organização adquire outras que a suprem.
- Integração Direta: Quando a organização adquire outras empresas que estejam mais próximas dos usuários finais do produto.

A integração vertical é usada para obter maior controle sobre uma linha de negócios e aumentar os lucros através de maior eficiência ou melhor esforço de vendas.

### 3. Conclusões

O artigo apresentou diferentes técnicas de análise de investimento. Comparamos as técnicas clássicas da administração financeira com as novas metodologias, às quais nomeamos técnicas híbridas. Essa junção de técnicas puramente financeiras com as chamadas não-financeiras vem ganhando muito espaço no cotidiano empresarial. Isso se deve ao aumento da exigência por parte dos mercados consumidores. Em conseqüência dessa maior exigência, a empresa moderna foi obrigada a responsabilizar-se não apenas por seus processos internos, mas também pelo bom funcionamento de toda a cadeia produtiva.

Além da exposição das técnicas aplicáveis na avaliação de investimento, foram abordados temas como análise de risco, flexibilidade, integração vertical e gestão empresarial orientada para o cliente.

### 4. Referências

- Ballou, R.H., 1995, "Logística Empresarial: Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física", Ed. Atlas, São Paulo.
- Carr, C. and Tomkins, C., 1996, "Strategic Investment Decisions: The Importance of SCM. A Comparative Analysis of 51 Cases Studies in U.K., U.S. and German Companies", Management Accounting Research, Vol. 7, pp. 199-217.
- Certo, S.C. e Peter, J.P., 1993, "Administração Estratégica: Planejamento e Implantação da Estratégia", Ed. Makron Books, São Paulo, 469p.
- CHRISTOPHER, M., 1997, "Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégias para a Redução de Custos e Melhoria dos Serviços", Ed. Pioneira, São Paulo.
- Doing Li, C.O., 1999, "Integrated Decision Modelling of Supply Chain Efficiency", International Journal of Production Economics, Vol. 59, pp. 147-157, Elsevier.
- Fine, C.H., 1993, "Developments in Manufacturing Technology and Economic Evaluation Models", Logistics of Productions and Inventory. Ed. Graves, S.C., Rinnooy Kan, A.H.G., Zipkin, P.H., pp. 711-750, Elsevier.
- Kaplan, R.S. and Norton, D.P., 1997, "A estratégia em Ação - Balanced Scorecard", 6ª edição, Campus.
- Machline, C., 1987, "Análise Econômica dos Investimentos", Manual de Administração da Produção. Editado por Machline, C., Motta, S., Shoeps, W., Weil, K.E., pp. 19-153, Vol 1., Ed. FGV.
- Monteiro, R., 1998, "Indicadores de Flexibilidade Industrial: Um Estudo de Casos", Dissertação de Mestrado, UNICAMP/FEM, Campinas.
- Nakagawa, M., 1991, "Gestão Estratégica de Custos: Conceitos, Sistemas e Implementação", Ed. Atlas, São Paulo.
- Porter, M., 1980, "Competitive Strategy", New York, Free Press.
- Raftery, J., 1996, "Risk Analysis in Project Management", E&FN Spon, pp. 70-96.
- Ross, S.A., Westerfield, R.W., Jaffe, J.F., 1995, "Administração Financeira", São Paulo, Atlas.
- Shank, J.K., 1996, "Analysing Technology Investments – From NPV to Strategic Cost Management (SCM)", Management Accounting Research, Vol. 7, pp. 185-197.
- Slack, Nigel, 1993, "Vantagem Competitiva em Manufatura: Atingindo Competitividade nas Operações Industriais". Ed. Atlas, São Paulo, pp.155-174.
- Yoshizaki, H., <http://www.gestaoempresarial.com.br> Gestão da Cadeia de Suprimentos e Logística. 09/03/2001

## **Investment Analysis Techniques Applied to the Supply Chain Management.**

### **Rogério Monteiro**

State University of Campinas / College of Engineering Mechanics / Department of Manufacturing Engineering -  
Cidade Universitária Zeferino Vaz- Caixa Postal 6162 - 13.083-970 - Campinas - SP, [monteiro@fem.unicamp.br](mailto:monteiro@fem.unicamp.br)

### **Flávio Costa Ribeiro Lima**

State University of Campinas / College of Engineering Mechanics / Department of Manufacturing Engineering -  
Cidade Universitária Zeferino Vaz- Caixa Postal 6162 - 13.083-970 - Campinas - SP, [ferlima@fem.unicamp.br](mailto:ferlima@fem.unicamp.br)

### **Antonio Batocchio**

State University of Campinas / College of Engineering Mechanics / Department of Manufacturing Engineering -  
Cidade Universitária Zeferino Vaz - Caixa Postal 6162 - 13.083-970 - Campinas - SP, [batocchi@fem.unicamp.br](mailto:batocchi@fem.unicamp.br)

**Abstract.** Due to the diffusion of personal computers and its adoption in many business areas in current days, the information and product flow inside the Supply Chain have to win larger effectiveness. This is reflected in all the managerial processes, since sales development to after-sale services performed by the company to the customers. With this new reality, it becomes necessary that the company achieves the maximum of information about an investment before making some decision. The objective of this article is to analyze the main factors of the managerial decision concerning to investment effectiveness that is linked to improve the supply chain. The study embraces the three main topics of the supply chain management, like order processing, stock maintenance and transport. These topics are cited for Ronald H. Ballou in his book *Business Logistics Management*. In this article, we confront some techniques of investment analysis such as Net Present Value, Discounted Payback, among others, looking for find the main aspects that manage the process of investment decision in Supply Chain Management. This article is part of a major study being conduct in the Supply Chain Management.

**keywords:** Investments analysis, Net Present Value, Supply Chain Management

## LOGÍSTICA – FONTE E SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS NAS INDÚSTRIAS DE MODA

### Fernando Ribeiro de Melo Nunes

Departamento de Engenharia Mecânica e Produção – Universidade Federal do Ceará  
Campus do Pici – Bloco 714. Fortaleza – Ce CEP 60 000. 000 [ferimene@dem.ufc.br](mailto:ferimene@dem.ufc.br)

### Carlos Manuel Taboada Rodriguez

Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas – Universidade Federal de Santa Catarina  
Campus da Trindade – CP 476 CEP 88040-900 [taboada@eps.ufsc.br](mailto:taboada@eps.ufsc.br)

### Fernando Ribeiro de Melo Nunes Filho

Departamento de Engenharia Mecânica e Produção – Universidade Federal do Ceará  
Campus do Pici – Bloco 714. Fortaleza – Ce CEP 60 000. 000 [ferimene@fortalnet.com.br](mailto:ferimene@fortalnet.com.br)

**Resumo.** *Todas as indústrias de moda estão sujeitas a rápidas variações nas tendências dos novos produtos. O tempo disponível para servir as necessidades do Mercado é uma importante restrição à operação das empresas que atuam neste setor industrial. Este trabalho apresenta os resultados de uma pesquisa conduzida através de um questionário respondido por uma amostra coletada entre os componentes de um universo de 1.500 empresas da indústria de confecções, na região metropolitana de Fortaleza. Como resultado deste estudo, uma relação de variáveis a serem controladas foi determinada. A maioria destas variáveis são geradas a partir de restrições logísticas e identifica-se que podem ser solucionadas através de estratégias logísticas que possibilitam a convivência das empresas com os movimentos da moda.*

**Palavras chave:** logística, estratégia, indústrias de moda.

### 1. Introdução

Para analisar estrategicamente a indústria de confecções, deve-se, inicialmente, sumarizar suas características principais. Em seguida, deve-se fazer uma análise crítica das influências externas, para determinar se existem fatores restritivos à sua operação normal e chegar a um diagnóstico que oriente sobre as possibilidades estratégicas. Por fim, deve-se fazer uma análise crítica das competências internas das empresas de confecções, para determinar suas forças e fraquezas, as limitações a que são submetidas em razão dos custos das transações e, atingir as condições necessárias à adoção das possíveis estratégias.

A indústria de confecções tem características ambientais e intrínsecas que devem ser listadas para se ter uma melhor compreensão:

- Indústria de moda. A moda varia em função do tempo, do lugar e do clima. A moda está em constante mutação, partindo das classes ricas em movimento descendente na direção das classes menos favorecidas;
- Ambiente incerto (o mais desejado hoje pode não mais o ser na semana seguinte). Ninguém tem a garantia de aceitação dos seus produtos;
- Quatro coleções por ano no mínimo: uma grande – primavera/verão, e três outras intermediárias, fim de ano, alto verão e outono/inverno. Intensa atividade de estilismo e engenharia. Forte necessidade de treinamento em virtude da grande variedade de modelos;
- Produto elástico e sazonal. Tecnologia de domínio popular. Empresas de mão-de-obra intensiva, maioria de mulheres (90%);
- Imobilização reduzida: em torno de US\$ 2.000,00 / emprego gerado. Necessidade de capital de giro em torno de três vezes as imobilizações.

Uma análise rápida destas características mostra um ambiente aberto, instável e descontínuo.

### 2. Diagnóstico externo

A moda é o motor e o alvo da indústria de confecções. Não existe uma fórmula que descreva a maneira de sua formação, entretanto, ela não ocorre de forma caótica. Existem algumas tendências difusas e muitos pontos de interação com o meio ambiente, os eventos globais e a vida das pessoas. A moda é construtivista pois as pessoas são influenciadas por ela, mas também a influenciam. A moda é provável, pois resulta de uma conjunção de fatores que em certo momento, em alguns lugares, se dirigem todos na mesma direção.

Albernathy et al. (1995), estudando a dificuldade que as empresas de confecções têm em definir a moda, conduziram uma enquête entre 118 empresas pertencentes ao setor do vestuário. Eles verificaram que nos Estados

Unidos houve um aumento de 63% no número médio de produtos ofertados pelas empresas de confecções por ano. Esta evolução corresponde a uma renovação acelerada das coleções, com um aumento do número de produtos novos lançados (+56%) e do número de produtos retirados (+48%), no período de um ano. Duas explicações se afiguram, a primeira é que a velocidade de mudança da moda aumentou, e a segunda é que as empresas não conseguem definir a moda com precisão e por isso precisam lançar muitos modelos para ver se acertam na tendência correta.

O mercado tem uma necessidade básica de vestuário. Segundo este ponto de vista, as confecções são produtos essenciais, pois no mundo civilizado não existe pessoa que viva sem vestimenta. Mas o mercado também tem necessidade de diferenciação e segundo este ponto de vista, as confecções são produtos complementares. A necessidade que as pessoas têm de parecer mais belas e atrativas com o auxílio das vestimentas, reforça a idéia de complementaridade e acrescenta uma ponta de superficialidade.

As pessoas têm duas necessidades fortes: pertencer a um grupo e se diferenciar dentro do grupo. O vestuário satisfaz a estas duas necessidades. Pelo tipo ele dá participação no grupo. Pelo modelo ele faz a diferenciação dentro do grupo. O vestuário satisfaz também uma terceira necessidade das pessoas, a da beleza. Ele tem influência sobre a aparência das pessoas. Pode ressaltar as boas qualidades e dissimular as más.

O vestuário é elástico ao preço e à renda. Cada nível social tem uma faixa de preço de vestuário que considera aceitável e quando esta faixa vai ultrapassada, os clientes param de comprar. O mercado conhece as faixas de variação de cada nível e estabelece suas próprias faixas para adquirir confecções das empresas fabricantes de vestuário. *“Quando a economia espirra as confecções têm febre”*, é um dito comum entre os empresários de confecções para demonstrar que, as pequenas variações no poder aquisitivo da moeda, causam forte retração na decisão de adquirir roupas novas.

Sobre a instabilidade da demanda, Palpacuer (1996) mostra que nos Estados Unidos, os grandes magazines mudaram suas políticas de preços:

*“Os grandes magazines reagiram efetivamente a uma demanda menos previsível, aumentando a margem aplicada aos produtos (markups), e o percentual de roupas vendidas a preço de saldo (markdowns)... As taxas de markup passaram de perto de 41% em 1965 para mais de 50% em 1985, enquanto que o percentual de markdown passou de menos de 6% para mais de 16% no mesmo período”.*

A variação sazonal das estações do ano, representada pela temperatura média ambiente, tem influência benévola sobre as confecções, pois força a mudança dos tipos de tecidos e de modelos. Isto resulta na necessidade das pessoas comprarem novos produtos. Mas esta variação também tem influência malévola sobre as confecções, pois torna obsoletos os produtos ainda não vendidos da coleção antiga. Como se pode sentir, o risco está por todos os lados. Risco de não estar na moda, risco de estar fora de preço, risco de ser um lugar comum em termos de beleza e risco de obsolescência.

Bernasconi (1985), em sua tese de doutorado, considerou a indústria do vestuário na França como situada em um ambiente hostil e fragmentado. Segundo seu ponto de vista sobre a hostilidade, ele diz:

*“O vestuário na França apresenta todas as características de um setor de atividades situado em um ambiente hostil: uma demanda interna em estagnação, talvez em leve declínio, uma pressão muito forte das importações que representam em torno da metade do consumo e um aumento rápido nos custos de produção”.*

Segundo o ponto de vista da fragmentação, ele diz:

*“Existe na França mais de 70.000 pontos de venda de vestuário. O saldo anual entre criações e desaparecimentos de novos estabelecimentos fica em torno de 3.000 unidades, o que representa a metade de todo o crescimento do comércio retalhista. Comparado a outros grandes países industrializados, é manifesto que o aparato de distribuição é superabundante e muito mais fragmentado”*

Sobre a mutação do setor, ele cita o relatório do Conselho Econômico e Social:

*“O setor têxtil-vestuário apresenta um surpreendente resumo de todos os grandes desafios a que são submetidas hoje as economias dos países europeus: concorrência dos novos países em vias de industrialização, estagnação e profundas transformações do mercado, mutações tecnológicas, reconversão social. Ele suporta também uma agressão cuja intensidade é bem maior que a dos outros ramos industriais, o que lhe ameaça o futuro. As soluções imaginadas e que conduzirão à salvação do setor têxtil e do vestuário, são perfeitamente aplicáveis a outros países”.*

As citações das teses de Palpacuer e Bernasconi foram apresentadas com o objetivo de demonstrar que, independente do lugar e do tempo, as características da indústria de confecções são as mesmas em todo o mundo e todo o tempo. O Brasil, o Ceará e a Região Metropolitana de Fortaleza, objeto deste estudo, não é uma exceção à regra. Por sua condição de país em desenvolvimento, os problemas enfrentados pela Europa e pelos Estados Unidos a algum tempo atrás, são atuais no Brasil.



## 2. Ameaças e oportunidades

A determinação das ameaças e as oportunidades existentes para as empresas de confecções nos leva à logística, principal ameaça e oportunidade

### 2.1. Por que a logística é a fonte dos problemas nas empresas de confecções ?

A análise das ameaças ambientais, após tudo o que foi comentado, pode ser resumida nos seguintes pontos:

- A moda é incerta e pode mudar muito rápido;
- Os pedidos de compra dos clientes são feitos no último momento, com prazos de entrega muito curtos;
- A pressão por custos baixos é contínua;
- As informações disponíveis sobre as tendências da moda e sobre os concorrentes são fracas e imprecisas;
- A obsolescência dos estoques é muito rápida;
- A prática financeira estabelecida produz um desencaixe no fluxo financeiro das confecções.

O que são todos estes pontos listados? Exatamente os fluxos logísticos da informação, da produção e financeiro. Logo a logística é a principal ameaça e a razão de todos os problemas na indústria de confecções.

Se a moda é incerta e se as informações disponíveis sobre a situação e a direção da indústria de confecções, são fracas e imprecisas, significa que o fluxo de informações sobre o meio ambiente constitui uma ameaça ao sucesso das empresas desta indústria. Se a moda pode mudar muito rápido, os pedidos de compra dos clientes são feitos no último momento, os prazos de entrega exigidos são bastante curtos, a pressão por custos baixos é contínua e a obsolescência dos estoques acontece de forma rápida, significa que o fluxo de produção necessário para se viver neste ambiente, é uma ameaça ao sucesso das empresas. Na mesma linha de raciocínio, se a prática financeira estabelecida nas ligações comerciais da indústria de confecções com seus clientes, gera uma defasagem negativa entre os recebimentos e os pagamentos, pode-se concluir que o fluxo financeiro se constitui em uma ameaça ao sucesso das empresas do ramo.

### 2.2. Por que a logística é a solução dos problemas das empresas de confecções?

Sistema de informações, flexibilidade, reatividade, tempo de ciclo e custo de fabricação, custo e prazo de transporte, custo de estocagem e nível de serviço ao cliente, coordenação transversal e ajuste de atividades, são todas atividades logísticas. Por estas razões a logística nas indústrias de confecções deve ser estratégica. A partir das restrições logísticas impostas pelo meio ambiente, deve-se definir a estratégia que define os meios necessários à obtenção dos tempos, custos e nível das atividades, que vão vencer as ameaças impostas pelo meio ambiente. Cada conjunto de atividades, com as características logísticas adequadas às imposições do meio ambiente, somente funciona bem em um tamanho específico de empresa. Este tamanho é o mais adaptado a dar a flexibilidade, os custos totais, a estocagem, a rapidez de reação e o tempo de ciclo necessários a vencer as ameaças.

### 2.3. Qual a principal medida de performance nas indústrias de confecções ?

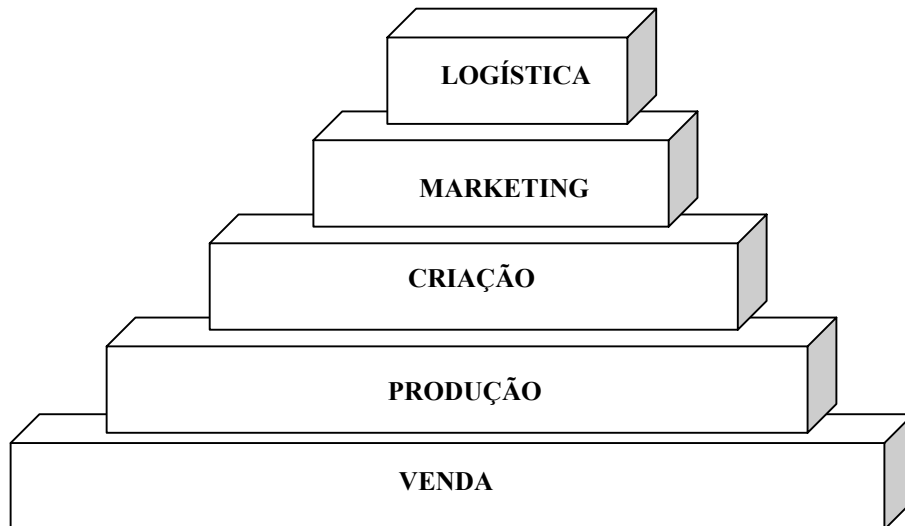
Tudo nas indústrias de confecções parte, foca e finaliza na moda, que varia de forma rápida com o tempo. A moda impõe um cronograma de atividades onde o tempo é o fator decisivo. Os clientes, conscientes das variações temporais exigidas pela moda e carentes de informações precisas sobre seus movimentos, compram no último momento possível, quando já não há quase tempo disponível para fazer as entregas, obrigando a que o tempo de processamento dos pedidos nas empresas de confecções seja rápido. Se os modelos comprados são corretos e vendem bem, os pedidos de reposição têm ainda menos prazo para entrega. Se, ao contrário, não vendem bem, os cancelamentos de pedidos são imediatos, deixando um tempo reduzido para que as empresas de confecções promovam ajustes nos modelos e nas seqüências de fabricação, o que exige reduzidos tempos de reação e de *setup*.

As medidas de performance logísticas para a indústria de confecções são: tempo de informação, tempo de reação, tempo de ciclo de fabricação, tempos de *setup* das máquinas e do arranjo físico, tempo de serviço dos pedidos e tempo de transporte. Da mesma forma são medidos os prazos de recebimento e de pagamento das matérias primas, os prazos de recebimento dos valores vendidos e os prazos de entrega de produtos sob encomenda.

Conclusão: o tempo é a principal medida da performance logística na indústria de confecções.

## 3. A cadeia de valor

A cadeia de valor (Porter, 1997) em uma indústria de confecções pode ser dividida entre as atividades criadoras de valor, que podem ser realizadas por diferentes empresas (figura 1).



**Figura 1** – Atividades criadoras de valor (Fonte: criação pessoal)

Em um ambiente de moda, a logística e o marketing são as competências chave, aquelas que criam a identidade da empresa. A logística por sua capacidade de combater a incerteza através de um sistema de informações rápido e preciso, da redução do tempo de reação às mudanças, do tempo de fabricação e do tempo de preparação das máquinas (*setup*), pela adequação do nível de estoques e pela redução do tempo de transporte. O marketing pela capacidade de determinação do alvo mais adequado para a empresa, pela identificação das necessidades insatisfeitas dos clientes e por sua capacidade de estabelecer uma imagem positiva da empresa face aos clientes.

A real possibilidade de sucesso na indústria de confecções está ligada à sua capacidade de controlar o tempo. Fazer uma pré-produção sob a orientação de uma previsão de vendas precisa, aumentar a flexibilidade da fabricação pela adoção de partes intercambiáveis, retardar as operações que diferenciam o produto (*postponement*) e trabalhar com fluxo tencionado, são ações logísticas que aumentam o valor do produto e também as chances de sucesso da empresa.

As empresas que têm uma grife, trabalham em o processo industrial completo. Tem forte capacidade logística, de marketing e de criação. Produzem pequena parte de suas vendas, subcontratando a maioria em empresas selecionadas pela qualidade. Distribuem seus produtos a partir de entrepostos que centralizam os materiais fabricados por terceiros, para então distribuírem através de uma rede de franquias

A maioria das empresas que têm marcas conhecidas, trabalham com o processo completo. Alguns subcontratam a criação, uma grande quantidade subcontrata a fabricação, especialmente no segundo semestre de cada ano, quando a demanda cresce bastante. A quase totalidade trabalha com representantes comerciais e a totalidade terceiriza o transporte na distribuição.

Os subcontratantes da fabricação (faccionistas), são muito comuns na indústria de confecções. Mesmo as empresas regulares, nos períodos de vendas fracas, costumam fabricar para terceiros, como forma de manter ativa a sua mão de obra. As micro empresas são geralmente informais e são as que mais costumam trabalhar na fabricação para as demais empresas. Este tipo de atividade não gera qualquer obrigação fiscal. Embora agregue valor ao produto, é considerado pelo Fisco com processo intermediário, ficando sob a responsabilidade de quem dá a ordem agregar o valor do serviço que os faccionistas prestaram. As obrigações sociais, entretanto, são de responsabilidade e risco do faccionista, que deve arcar com este custo que representa cerca de 85% do salário pago diretamente ao funcionário.

Hoje há uma proliferação de cooperativas de fabricação de roupas. Este tipo de organização, por não ter funcionários e sim associados autônomos, não recolhe encargos sociais, ficando este recolhimento a cargo dos próprios associados. Este tipo de organização trabalha geralmente para outra empresa, de porte médio a grande, que tem vendas e subcontrata as ordens de fabricação.

A subcontratação do processo de criação existe principalmente nas micro e nas pequenas empresas, que compram as coleções de estilistas avulsos ou de birôs de moda. Existem estilistas famosos que possuem sua própria grife e criam coleções exclusivas para medias e grandes empresas. Nestes casos, a subcontratação é feita em pacote, englobando o uso da marca e os produtos que o estilista criou. A remuneração é feita como uma comissão sobre o preço de venda do produto e, nestes casos, também existe a exigência de investir um percentual do preço final na publicidade da marca e utilizar como canais de venda os especificados pelo estilista.

#### 4. Metodologia da Pesquisa

Este trabalho partiu do conhecimento do autor sobre a indústria de confecções. A sistematização destes conhecimentos permitiu que se levantasse os problemas que afligem este setor da economia. Para buscar a solução, pesquisou-se quais os fatores que influenciam nos problemas apontados e qual o conhecimento teórico necessário para seu estudo.

Foi determinado o estado da arte nas áreas do conhecimento determinantes para a solução, sendo levantadas as contribuições teóricas da logística, da estratégia e do marketing, estudado seu inter-relacionamento na logística estratégica e analisadas como suas ações são desenvolvidas através da gestão da cadeia de suprimento, do empreendedorismo e da organização das empresas, para possibilitar a execução de estratégias logísticas que conduzam a melhorias consideráveis nas áreas afetadas pelos problemas.

A análise da indústria de confecções sob a ótica das contribuições teóricas conduziu à construção de três proposições explicativas dos problemas encontrados. As proposições foram então transformadas em hipóteses a serem validadas. Decidiu-se validar as hipóteses junto ao universo de empresas de confecções de jeans femininos, utilizando-se como amostra as empresas do município de Fortaleza, quarto pólo brasileiro de confecções em termos de tamanho e lançamento de moda.

Estabeleceu-se um modelo de funcionamento do setor onde estão especificadas as variáveis latentes, que influem no problema, e as variáveis manifestas do meio ambiente e da empresa, que possibilitam medição, permitindo assim o estabelecimento de índices que servem para validar as hipóteses.

O esquema da coleta de dados (Figura 2), foi elaborado partindo dos dados dos órgãos oficiais detentores de informações sobre o setor, para se chegar em seguida às empresas que atuam na indústria de confecções, no seu segmento de jeans femininos para adolescentes e jovens. Escolheu-se a Secretaria da Fazenda do Estado do Ceará (SEFAZ), para fornecer a relação das empresas regulares e os indicadores gerais de faturamento, compras e estoque. O Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), para fornecer a relação de admissões, demissões e estoque de empregados, com os índices de rotatividade da indústria.

A Junta Comercial do Estado do Ceará (JUCEC), para fornecer os nascimentos e mortes de empresas de confecções por ano, e a relação das vivas por idade. Os clientes forneceriam dados sobre o meio ambiente da comercialização das confecções jeans femininas.

A partir dos dados da SEFAZ se obtém indicadores gerais sobre a indústria de confecções e se dispõe da relação das empresas regulares e ativas, universo a ser pesquisado através de questionário específico, que foi enviado por correio acompanhado de carta explicativa dos objetivos da pesquisa. Da carta participaram todos os órgãos que colaboraram para o sucesso deste trabalho, no caso a Diretoria do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, a Diretoria Regional do SENAI, a Presidência da Associação das Indústrias de Confecções do Estado do Ceará (AICEC) e a Presidência do Sindicato Patronal das Empresas de Confecções Femininas e em Geral do Estado do Ceará (SINDICONF).

As respostas à pesquisa permitem separar as empresas em duas categorias, as que fabricam jeans femininos, podendo também fabricar outros artigos, e as que fabricam somente outros tipos de artigos do vestuário, interior ou exterior. A análise das variáveis manifestas das empresas fabricantes de jeans femininos permite o estabelecimento de indicadores específicos para a validação das hipóteses. A análise das variáveis manifestas do meio ambiente permite o uso de todas as respostas obtidas, quer as empresas fabriquem jeans femininos ou não, sendo de enorme utilidade as respostas dos clientes lojistas pesquisados. Os indicadores fornecidos pela SEFAZ, pelo MTE e pela JUCEC, também se prestam à determinação dos indicadores gerais que caracterizam a indústria de confecções.

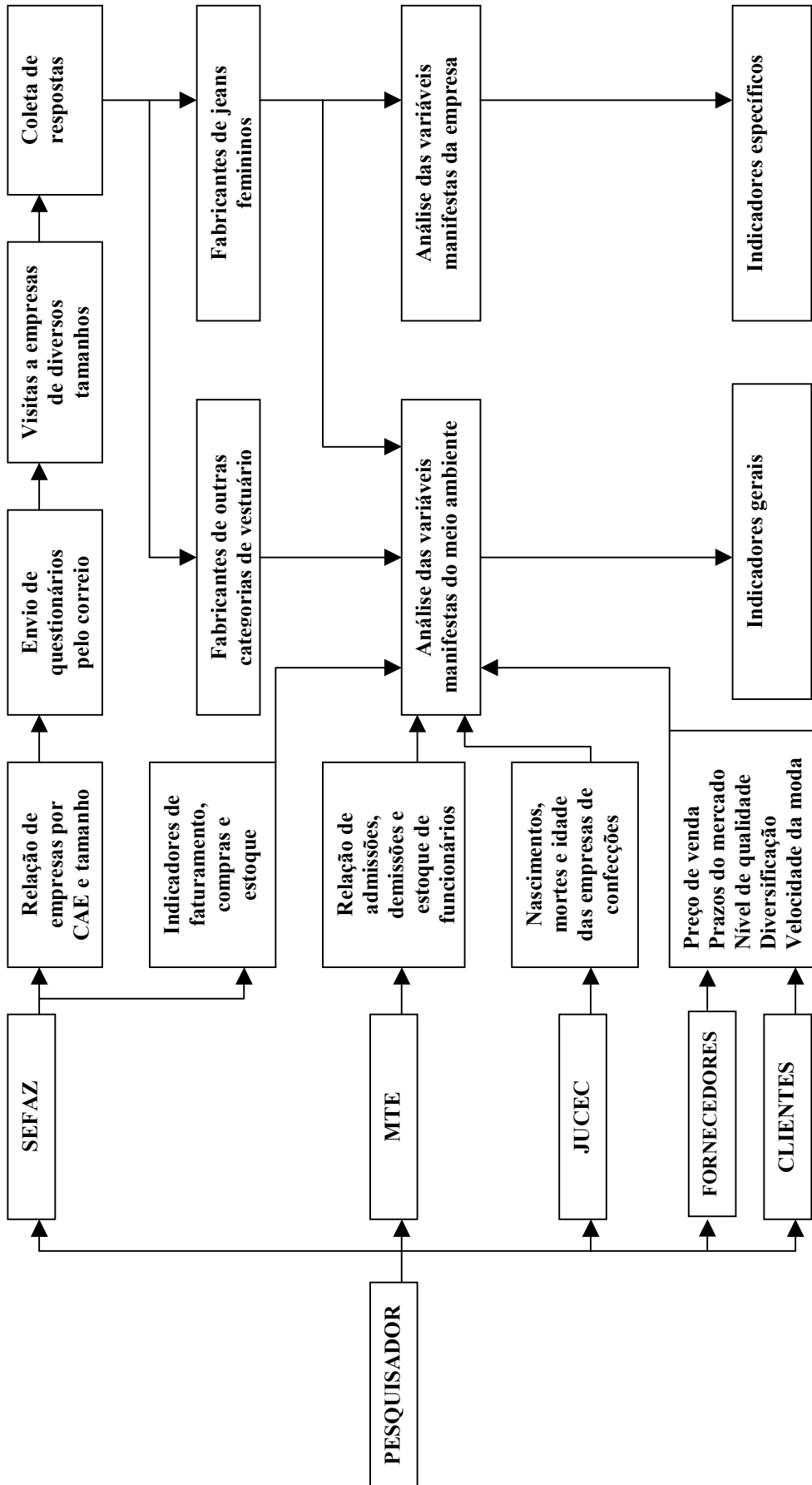


Figura 2 – Esquema da coleta de dados realizada (Fonte: criação pessoal)

## 5. Especificação das variáveis manifestas do meio ambiente

Levantadas a partir de entrevista com lojistas e por meio do questionário aplicado às empresas de confecções.

1. Vigilância da moda
2. Vigilância tecnológica
3. Preço de venda – pesquisa com lojistas
4. Prazo do mercado – pesquisa com lojistas
5. Nível de qualidade – pesquisa com lojistas
6. Rapidez da variação – pesquisa com lojistas
7. Diversidade de produtos – pesquisa com lojistas
8. Financiamento dos fornecedores
9. Prazo dos fornecedores
10. Custos da compra

## 6. Especificação das variáveis manifestas da empresa

Levantadas a partir do questionário enviado às empresas de confecções e das entrevistas realizadas com os fabricantes de jeans femininos.

- Nível de humanização
  - a) Benefícios a operários
  - b) Ambiente de trabalho
  - c) Nível de supervisão
- Flexibilidade
  - a) PCP
  - b) Nível de automação
  - c) Nível de manutenção
  - d) Treinamento
- Controles
- Centralização administrativa
- Estrutura
- Qualificação do empreendedor
- Grau de terceirização
- Controle da qualidade
- Sistema de informação
- Estoques
  - a) Rotação – pesquisa SEFAZ
  - b) Nível de controle
  - c) Grau de obsolescência
- Margem de rentabilidade
- Financiamento
- Razão fluxo de caixa x faturamento
- % atraso nos recebimentos
- Tamanho da coleção
- Rapidez da mudança
- Prazo de transporte
- Tempo de reação
- Custos da venda
- Mercado

## 7. Análise das variáveis manifestas do meio ambiente e das empresas

Após a análise detalhada das respostas aos questionários aplicados às empresas fabricantes de confecções em geral e jeans em particular, bem como as respostas dos lojistas de diversos tamanhos, atuando em classes sociais distintas, pode-se elaborar um sumário conclusivo sobre as variáveis manifestas do meio ambiente, responsáveis pela imposição das condições de trabalho neste ramo industrial, e sobre as variáveis manifestas das empresas de confecções, refletoras da idade e do tamanho nas formas de ação estratégica.

### 7.1. Variáveis manifestas do meio ambiente

Estabelecem as condições mínimas de acesso ao mercado e indicam os caminhos que devem ser explorados para aumentar as chances de sucesso. Como se detalha a seguir, as variáveis manifestas do meio ambiente deixam claro a necessidade de coordenação dos fluxos logísticos, quando priorizam a vigilância da moda como ponto de partida e mostram que as condições impostas nas duas pontas, venda e suprimento, são desfavoráveis às empresas de confecções no que tange aos prazos de entrega e pagamento. A velocidade da variação define claramente a necessidade básica de flexibilidade.

- Vigilância da moda – Verifica-se que a função criação é considerada vital a partir do tamanho pequeno de empresa. É a forma que as empresas encontram para dar identidade às suas marcas próprias, fazendo sua interpretação pessoal das tendências da moda, ou ajustando-a a eventos locais, nacionais ou internacionais.
- Vigilância tecnológica – Há uma preocupação em reduzir custos e aumentar a eficiência produtiva através de novas máquinas, mais especializadas e automatizadas, quando possível, novos processos produtivos e novas técnicas de planejamento e controle. O acesso às informações vem através dos vendedores, consultores, feiras e cursos de treinamento.
- Condições de mercado – Os preços de venda são pressionados para baixo, em função da redução do “*mark up*” dos lojistas. O cliente, em virtude da rapidez dos meios de comunicação, está cada vez mais consciente do que está em moda e por isso, os prazos de mudança estão diminuindo. A diversidade da oferta aumenta como uma forma de customização dos produtos, tentando elevar a qualidade através do seu conceito básico de satisfação das necessidades dos clientes.
- O suprimento de matérias primas para os jeans – Setor oligopolizado nos tecidos e principais aviamentos, trabalha com prazos de pagamento curtos (60 dias no máximo), vende FOB e entrega sob programação, com prazos de até 60 dias (quando se trata de lançamentos, os prazos de pagamento são reduzidos, predominando a venda a vista). Desta forma condiciona o trabalho das confecções a ser antecipado, comprando quase sempre antes de vender e assumindo o risco total pelo erro de previsão.

### 7.2. Variáveis manifestas das empresas

Retratam os padrões de comportamento das empresas, sendo característicos do tamanho e da longevidade. Da análise realizada nos itens anteriores pode-se concluir que, os fluxos logísticos influem sobre o tamanho das empresas de confecções, apontando para o tamanho pequeno como o que reúne as maiores condições de sucesso. Isto fica claro a partir de:

- Crescimento exagerado dos itens a controlar, face ao crescimento da necessidade de ter coleções com maior quantidade de modelos. Isto gera erros na tendência da moda e resulta em itens que para ser vendidos demoram mais que o período de uma coleção, aumentando o capital de giro necessário, forçando descontos e atrapalhando as vendas.
- Necessidade de programação das matérias primas em prazos e quantidades maiores para garantir o suprimento, o que diminui a flexibilidade e aumenta a necessidade de capital de giro.
- Aumento do absenteísmo dos operários e redução na sinergia do processo devido à quantidade de funcionários que cresce e a distância entre comandantes e comandados que aumenta.
- Aumento no tamanho do mercado, tanto do ponto de vista dos clientes, que gera uma baixa na qualidade do crédito, como do ponto de vista geográfico, que gera custos de frete, aumento no controle das entregas e da cobrança, resultando em mais necessidade de capital de giro.
- Aumento do tempo de reação às solicitações do mercado, o que diminui a flexibilidade, fator vital às confecções de jeans femininos.

Com relação à longevidade, as variáveis manifestas mostram que há grande concentração nas que têm menos de dez anos, não havendo nenhuma que ultrapassou a barreira dos vinte anos sem problemas financeiros e legais. As principais variáveis manifestas indicam que:

- Quando mais velhas mais rígidos são os controles e mais centralizada é a decisão, especialmente no que tange aos lançamentos de coleções, o que dificulta a flexibilidade.
- Nas empresas mais velhas diminui o treinamento dos funcionários, o que é forte indicador que a capacidade de inovação diminui e portanto a capacidade de se adaptar às variações do mercado, ponto fundamental para ter flexibilidade.
- O nível de instrução dos funcionários é outro ponto que indica dificuldades de adaptação para as empresas velhas. É mais baixo que o das empresas novas e representa dificuldades maiores de adaptação e menor flexibilidade.
- O sistema de informações nas empresas mais velhas é menos informatizado e mais informal, o que propicia imprecisão e atrasos que são vitais às mudanças temporais.

Com relação às estratégias geradas a partir da logística, as entrevistas revelaram ser a coordenação das atividades o principal problema dos gestores. As exigências temporais características das indústrias de moda são, junto com a identificação das necessidades dos clientes (marketing), os pontos de partida na formulação das estratégias, mostrando ser a logística o gerador da estratégia.

Nas ações desenvolvidas pelas empresas para reduzir o risco de errar a tendência da moda, se visualiza que a logística estratégica é capaz de propiciar condições de crescimento e longevidade nas empresas de confecções jeans femininas. Retardar a fabricação, aumentar a flexibilidade da empresa, reduzir o ciclo de produção e fazer parcerias com fornecedores e clientes, são estratégias logísticas adotadas pelos empresários para conseguir conviver com as restrições impostas pelo meio ambiente.

## 8. Referências

- ABERNATHY, et al., 1995, "Focus: An Economic Profile of the Apparel Industry", American Apparel Manufacturers Association, Arlington, VA.
- BERNASCONI, Michel., 1985, "Les Stratégies de Succès et d'Échec dans les Industries de l'Habillement en France : Le Cas d'un Secteur Situé dans un Environnement Hostile et Fragmenté". Tese de Doutorado da l'Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille, França.
- PALPACUER, Florence., 1996, " Stratégies Compétitives, Gestion de Compétences et Organisation en Réseau : Etude de Cas de l'Industrie New-yorkaise de l'Habillement". Tese de Doutorado da Université de Montpellier I, França.
- PORTER, Michael E., 1999, "Competição = On Competition: estratégias competitivas essenciais". Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda.

## 9. Direitos Autorais

# LOGISTICS – SOURCE AND SOLUTION OF PROBLEMS IN THE FASHION INDUSTRY

### **Fernando Ribeiro de Melo Nunes**

Departamento de Engenharia Mecânica e Produção – Universidade Federal do Ceará  
Campus do Pici – Bloco 714. Fortaleza – Ce CEP 60 000. 000 [ferimene@dem.ufc.br](mailto:ferimene@dem.ufc.br)

### **Carlos Manuel Taboada Rodriguez**

Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas – Universidade Federal de Santa Catarina  
Campus da Trindade – CP 476 CEP 88040-900 [taboada@eps.ufsc.br](mailto:taboada@eps.ufsc.br)

### **Fernando Ribeiro de Melo Nunes Filho**

Departamento de Engenharia Mecânica e Produção – Universidade Federal do Ceará  
Campus do Pici – Bloco 714. Fortaleza – Ce CEP 60 000. 000 [ferimene@fortalnet.com.br](mailto:ferimene@fortalnet.com.br)

**Abstract.** *All fashion enterprises are subject to fast variations in the tendencies for new products. .Timing to serve the market is an important restriction to the operation of the enterprises operating in this industrial sector. This paper presents the results of a research conducted through a sample collected from an universe of 1,500 apparel enterprises located in the metropolitan region of Fortaleza. As a result of this study, a relation of variables to be controlled was determined. The majority of these variables are generated from logistic restrictions and it is possible to identify that they can be solved by logistic strategies, which make possible the updating of the enterprises with the fashion movements.*

**Key words:** logistics, strategy, fashion industries.

## AMBIENTES DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS, COM INTERFACE DE REALIDADE VIRTUAL, APLICADOS A SISTEMAS DE MANUFATURA.

**Jandira Guenka Palma**

[jgpalma@sc.usp.br](mailto:jgpalma@sc.usp.br); [jgpalma@uel.br](mailto:jgpalma@uel.br)

Departamento de Computação da Universidade Estadual de Londrina – DCOP/UUEL

Rodovia Celso Garcia Cid (PR 445) Km 380 . CEP. 86051- 990 . Londrina - PR.

Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP

Av. Trabalhador São-carlense, 400 - CEP 13566-590 - São Carlos - SP

**Arthur José Vieira Porto**<sup>2</sup>

[ajvporto@sc.usp.br](mailto:ajvporto@sc.usp.br)

Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP

Av. Trabalhador São-carlense, 400 - CEP 13566-590 - São Carlos - SP

**Resumo:** Uma vez que uma aplicação ou projeto tenha sido identificado como sujeito ao uso da simulação, decisões devem ser tomadas acerca de como conduzir os estudos. Embora não existam regras definitivas, alguns passos são geralmente recomendados, tais como: planejamento do estudo, definição do sistema, construção do modelo, execução dos experimentos, análise dos resultados e relatório final.

Na execução dos experimentos, e na análise dos resultados a Realidade Virtual (RV) é uma interface que pode fornecer um suporte importante para a tomada de decisões, pois a RV auxilia na criação de mundos virtuais semelhantes ao mundo real, que ajudam na compreensão do funcionamento dos sistemas.

Este trabalho trata do desenvolvimento de ambientes de simulação de sistemas a eventos discreto com a interface de RV para ambientes ou estações de trabalho de manufatura. O sistema é composto por quatro módulos: i) de edição e validação de modelos, ii) de criação e edição de ambientes virtuais, iii) de conexão para efetuar o elo entre os dois primeiros e, iv) de controle para gerenciar a comunicação e controlar a simulação.

Como resultado tem-se a simulação centralizada baseada no modelo descrito em Rede de Petris com interface de RV distribuída.. O sistema auxilia no aprendizado e compreensão do problema simulado, e ainda permite envolvimento do usuário com ambiente através da interação.

**Palavras Chaves:** Simulação, Redes de Petri, Ambiente Virtual.

### 1. Introdução

A tecnologia da simulação teve um crescimento rápido desde os seus primórdios na década de 60. Agora muitas áreas confiam no seu uso intensivo para testar novas idéias e opções, pois as principais decisões sempre necessitarão ser avaliadas em todos os seus aspectos. O uso da modelagem de simulação estenderá das aplicações tradicionais da manufatura e aspectos logísticos à processos de negócio e à aplicações de simulações interativas no treinamento e em vendas, penetrando em todos os aspectos das corporações e em muitos aspectos das vidas pessoais [PALMA&PORTO,2000]

No mercado existem mais de uma centena de softwares e sistemas de simulação, estes variam consideravelmente em muitos aspectos – custo, funcionalidade, flexibilidade, facilidade de uso, plataforma. ARENA, AUTOMOD, WITNESS, Taylor II, SLAM, ProModel, etc. são alguns exemplos de sistemas comerciais de simulação. A simulação é feita através do modelo do problema. O usuário dos aplicativos relacionados abstrai o problema em forma de um modelo compatível com o *software*, e faz a edição e coordena a execução pela interface gráfica e visualiza a simulação pela animação (Figura 1).

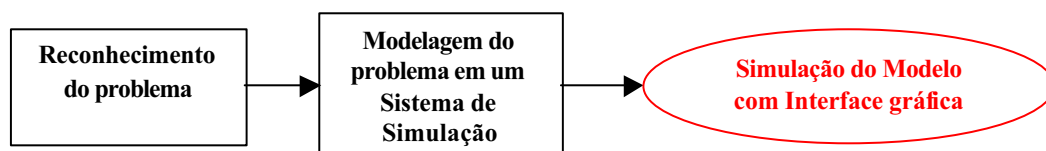


Figura 1 - Sistemas Comerciais de Simulação

A proposta deste trabalho também tem as características relacionadas e, ainda, fornece ao usuário a possibilidade de interação e de imersão em tempo de execução da simulação. Deste modo, não vai ser somente uma animação, e sim um ambiente digital que representa com realismo o problema e reage conforme as ações do usuário em temporeal.



Já existem vários Ambientes Virtuais (AV) de manufatura que oferecem a possibilidade de interação. Os AV normalmente foram programados para fim específico, ou seja, o reconhecimento do problema e a modelagem foram descritos para o analista de sistemas, e este por sua vez gerou a código do modelo com interface de RV. A Figura 2 demonstra os passos normalmente seguidos por estes sistemas.

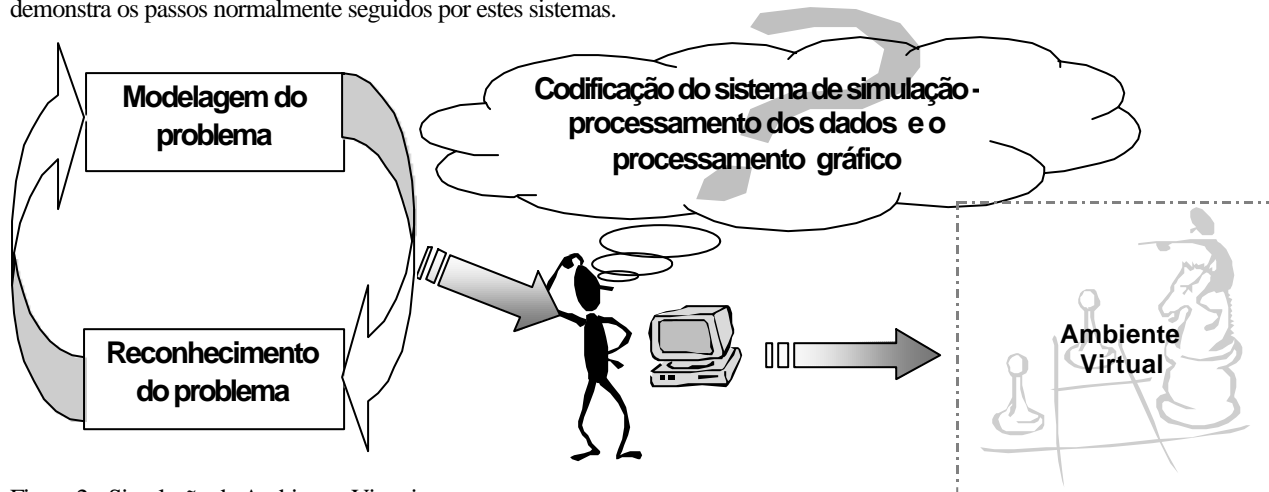


Figura 2 - Simulação de Ambientes Virtuais

O desenvolvimento de um sistema computacional com interface de RV demanda conhecimentos especializados, como a programação de sistemas em tempo real, orientação a objetos, redes, modelagem geométrica, modelagem física, multitarefas, etc., [KIRNER, 96] como consequência a construção de ambiente virtuais é onerosa e consome muito tempo de elaboração.

Este artigo propõe um método para criar ambientes de simulação de eventos discretos com interface de Realidade Virtual (RV) sem a necessidade de programação e, portanto acessível aos projetistas de simulação de sistemas de manufatura.

## 2. Proposta

Há várias ferramentas que ajudam construir ambientes virtuais, mas todas dependem de conhecimentos específicos da área e de programação, e por outro lado, há vários sistemas de simulação que possuem animação gráfica 2D ou 3D para o acompanhamento da execução da simulação, mas não permitem a interação e a imersão em tempo de execução, e muitos destes sistemas, bastante avançados exigem que o usuário tenha conhecimentos, ainda que básicos, de programação.

Então, a proposta consiste de agregar a interface de RV na simulação, suprimindo a necessidade de programação para cada novo ambiente a ser construído, portanto, há a necessidade de fazer algumas alterações no formato do desenvolvimento AV. A tabela 1 demonstra as alterações necessárias.

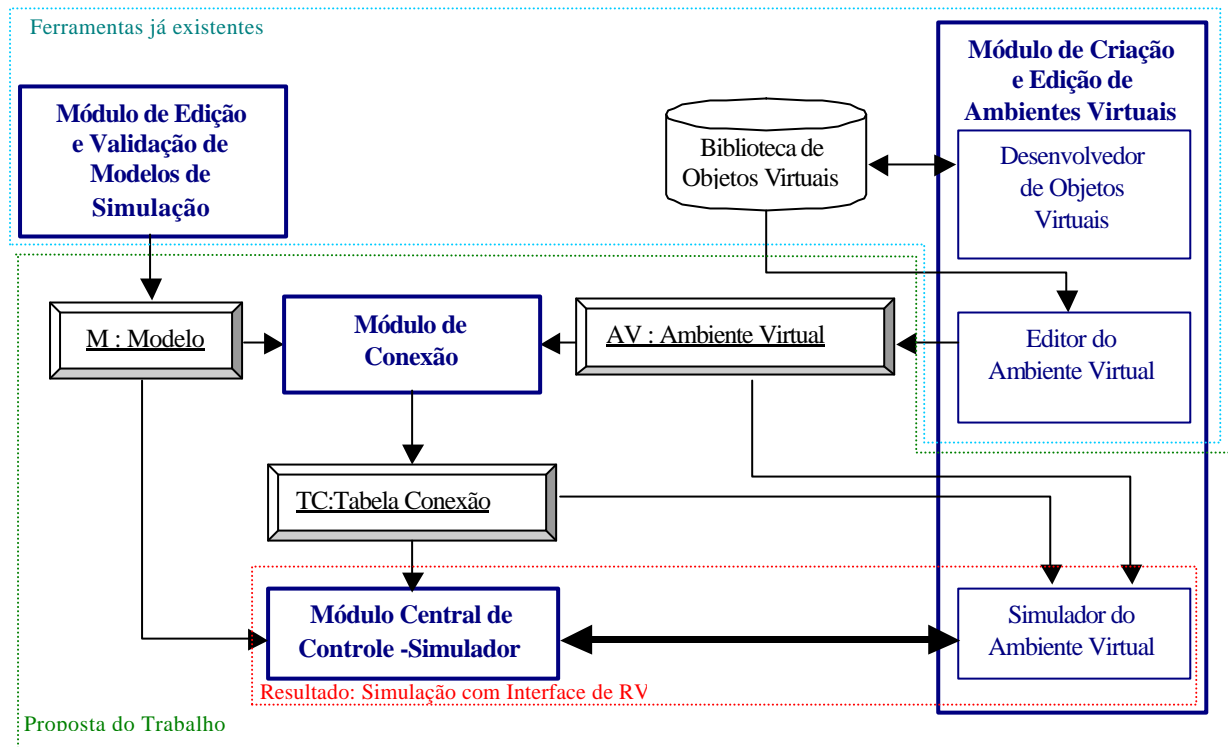
Tabela 1. Comparação do Desenvolvimento AV com a Proposta

	<b>Desenvolvimento de Ambiente Virtual</b>	<b>Proposta</b>
<b>Modelo do problema</b>	O analista vai fazer o levantamento de requisitos do problema e o modelo junto ao usuário, nesta fase é importante identificar as necessidades do usuário, atividade que depende muito da qualidade da comunicação entre o usuário (ou engenheiro do conhecimento) e o analista. Na comunicação podem ocorrer ruídos e faltar dados importantes, quanto maior a dificuldade da comunicação mais níveis vão existir no modelo espiral do ciclo de vida do software, consumindo tempo e dinheiro. Ponto Importante: O desenvolvimento do sistema está atrelado com o modelo que o usuário descreveu para o Analista e da interpretação e implementação do modelo pelo Analista.	Não vai existir o papel do analista de sistema, o usuário vai editar diretamente o modelo em uma ferramenta de edição e validação. Quando o modelo for validado, será fornecido a um sistema que interligará o modelo com o AV. Ponto Importante: A especificação do modelo vai depender do usuário (domínio da ferramenta, e seu conhecimento) e da ferramenta (capacidade de desenvolvimento de modelos e de validação).

<p><b>Construção do Ambiente Virtual</b></p>	<p>O ambiente virtual vai ser implementado (codificado) conforme o problema modelado, e vai ser feito por um analista de sistemas com conhecimento em RV. Utilizando bibliotecas de RV para programar o ambiente. Uma ferramenta, muito útil para a construção e simulação dos mundos virtuais, é o editor de realidade virtual, que permite ao projetista verificar imediatamente os resultados da criação ou edição (programação) de objetos simulados.</p>	<p>O ambiente virtual é gerado a partir de um editor que deve possuir uma biblioteca de objetos virtuais de manufatura desenvolvidos previamente (a codificação dos objetos é feita conforme as características convencionais citadas ao lado e, ainda, devem possuir métodos que são ativados por eventos, e ao concluir a execução deve enviar uma mensagem ao simulador). A qualidade gráfica e o realismo devem estar diretamente relacionados com a capacidade de edição de ambientes, da riqueza da biblioteca e da capacidade de construção de novos tipos de objetos virtuais.</p> <p>Caso a biblioteca esteja completa, com todos os objetos desejados, então não haverá a necessidade de programação.</p>
<p><b>Integração do Modelo com AV</b></p>	<p>Cada Ambiente Virtual vai possuir um módulo simulador, que é implementado em paralelo com o ambiente virtual em questão.</p>	<p>Como o editor de modelos e o editor de AVs são módulos separados e independentes, precisa-se interligá-los. Então, haverá um módulo para interligar os: (a) eventos do modelo com os métodos dos objetos e (b) o estado do modelo com os atributos dos objetos.</p>
<p><b>Execução</b></p>	<p>Durante a simulação, as entradas do usuário, através dos dispositivos de E/S, são submetidas como eventos ao programa simulador, devendo ser lidas em tempo real para minimizar a latência. Esses dados são usados para atualizar a posição, forma, velocidade, etc, dos objetos virtuais, e alguns dados de sensores são usados para os objetos independentes. Tanto a cena, quanto as outras saídas (som, tato, força, etc.) são fornecidas durante o ciclo de simulação em tempo real. O produto final vai ser um aplicativo executável, ele é um ambiente virtual para fim específico, <u>Qualquer mudança no sistema acarreta na necessidade de reprogramar o sistema</u></p>	<p>O simulador (o centro nervoso do sistema), precisa do modelo, dos dados da interligação do modelo com ambiente virtual, e é lógico, do ambiente virtual que vai ser simulado.</p> <p>A dinâmica do ambiente virtual será controlado pelo simulador, através de trocas de mensagens, então os objetos do ambiente devem possuir métodos que são ativados por mensagens (eventos) recebidas pelo simulador, e quando conclui a tarefa requisitada deve informar ao simulador enviando-lhe uma mensagem. As entradas do usuário no AV, através dos dispositivos de E/S, são enviadas ao simulador para serem tratadas.</p> <p><u>O simulador é uma ferramenta flexível e está relacionado com a seleção do modelo, do ambiente e da interligação. O seu comportamento é ditado pelo modelo que representa o centro nervoso do sistema.</u></p>
<p><b>Ferramentas</b></p>	<p>Para facilitar o processo de programação, diversas empresas e algumas universidades produziram sistemas de desenvolvimento de realidade virtual, conhecidos como "VR ToolKits". Esses sistemas são bibliotecas ampliáveis de funções orientadas a objeto, voltadas para especificações de realidade virtual, onde um objeto simulado passa a ser uma classe e herda seus atributos inerentes (default) - Isto simplifica enormemente a tarefa de programar mundos complexos, uma vez que as bibliotecas, sendo ampliáveis, permitem aos projetistas escreverem módulos específicos de aplicações e ainda usar o mesmo núcleo de simulação. Além disso, esses sistemas costumam ser independentes de hardware, suportam alguma forma de conexão em rede, importam mundos virtuais de outros softwares como o AutoCAD, possuem drivers de comunicação com dispositivos convencionais e não convencionais de E/S, suportam alguma forma de iluminação, sombreamento, textura, etc. Os sistemas de desenvolvimento de realidade virtual, portanto, ajudam na integração do sistema e no desenvolvimento das aplicações, podendo reduzir substancialmente o tempo de programação.</p> <p>[KIRNER,96]</p>	<p>Os projetistas de sistema de simulação de manufatura consumiriam muito tempo e esforço para:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agregar em sua gama conhecimento as linguagens de programação e a engenharia de ambientes virtuais ou para</li> <li>• Transferir seu conhecimento técnico de manufatura para os analistas de sistemas desenvolverem o ambiente virtual;</li> </ul> <p>Apesar da evolução dos sistemas de desenvolvimento de realidade virtual a programação ainda é a grande barreira para o corpo técnico de manufatura.</p> <p>Então é proposto utilizar quatro ferramentas (Editor de Modelos, Editor de Ambientes Virtuais, Módulo de interligação, e o simulador) que podem criar e executar simulações com interface de Realidade Virtual sem a necessidade de o usuário elaborar códigos de programação.</p>

### 3. Sistemas de Simulação de Eventos Discretos com Interface de Realidade Virtual

Foram propostos quatro módulos conforme a Figura 3 para o desenvolvimento de uma ferramenta de simulação com interface de RV



Notação: - Objeto criado por um sistema conforme a especificação do usuário

Figura 3 - Módulos de um Sistema de Simulação de Eventos Discretos com Interface de Realidade Virtual

#### 3.1. Módulo de Edição e Validação de Modelos de Simulação - MEVM

##### 3.1.1. Modelo

Existem algumas ferramentas para se fazer modelagens, contudo, uma das principais é a chamada Redes de Petri, que pode representar graficamente ou através de descrição matemática os sistemas a eventos discretos, tal como sistemas de manufatura discreta [MURATA,89]. Esta ferramenta, será a base para a simulação.

A composição de uma Rede de Petri é bastante simples. Os elementos presentes são chamados *places* ou lugares, que podem simbolizar o estado de determinado objeto em um dado instante, como por exemplo, o lugar onde um AGV (Veículo Auto-Guiado) se encontra; as transições que representam alterações nos estados dos *places*, fazendo com que se ligue uma máquina ou se mova um veículo, etc., os arcos, que fazem a ligação entre *places* e transições, mostrando a relação entre eles, e os *tokens* que são marcações que mostram como o modelo está se comportando em um determinado momento. Na Figura 4 são mostradas as representações esquemáticas de cada um destes itens:



Figura 4 - Elementos da Rede de Petri

A modelagem foi feita em Redes de Petri por utilizar o conceito de condições e eventos: lugares representam condições, e transições representam eventos. Uma transição (evento) tem um certo número de lugares de entrada e saída que representam as pré-condições e pós-condições de eventos, respectivamente. Através destas características, os modelos em Redes de Petri podem possuir ligações externas com elementos reais ou virtuais, ou tão somente simbolizar ações internas ao modelo, ou seja, um *token* em um *place* do modelo corresponde a um elemento real em um determinado estado (condição), ou ainda, uma transição (evento) do modelo pode corresponder a um acontecimento no ambiente, mas também vai acontecer casos que existem *tokens*, *places* e transições no modelo mas não estarão

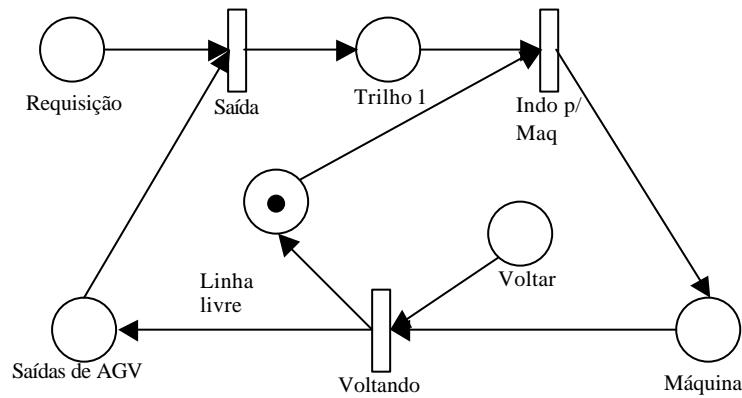
representados no ambiente e o inverso também pode ocorrer, conseqüentemente é uma boa ferramenta para modelar o ambiente virtual.

Para exemplificar criação e a simulação de ambientes virtuais com interface de RV, foi feito um estudo de caso simples sobre rotas de AGVs. Algumas funções e as propriedades dos AGVs descritas em MORANDIN,1994, INAMASU,1995, PORTO,1993, AUTO SIMULATIONS, 1998, foram levantadas e permitiu formalizar e desenvolver os moldes para a simulação das rotas e da criação do AGV virtual.

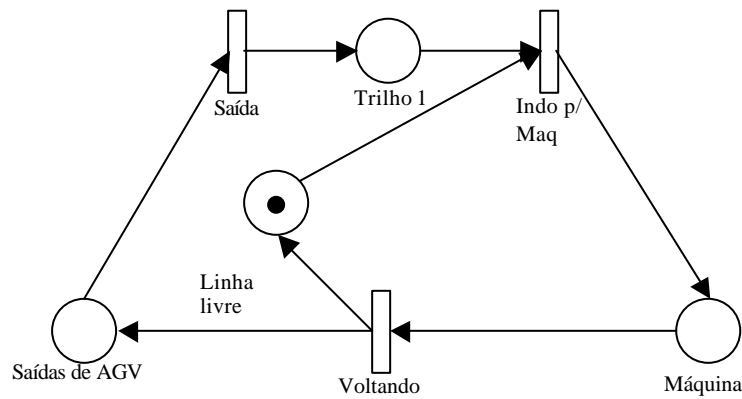
Com a figura 5 é possível que se compreenda o processo de modelagem que se passou a utilizar neste trabalho: a Figura 5(a) representa os caminhos que um AGV pode percorrer saindo do *place* “Saída de AGVs” passando pelos *places* “Trilho 1”, “Maquina” e de volta ao ponto inicial. Na Figura 5(a) também é possível visualizar que se no *place* “Maquina” há ou não AGV no momento, simbolizado pelo *token* colocado no *place* “Linha Livre”. Na segunda Figura 5(b), acrescentou-se o *place* “Requisição” para requisitar a saída de algum veículo, bem como o *place* “Voltar” para chamar de volta o veículo que esteja na “Maquina”.

Para construir uma rede de petri com intuito de possibilitar a interação do usuário no ambiente a ser simulado deve-se acrescentar as interferências do usuário ao modelo Figura 5(b). Por exemplo, um AGV somente sai da “Maquina” se receber a ordem para isto, simbolizada pelo *place* “Voltar”, a ordem pode ser dada através de uma interação do usuário ou através de um sistema de planejamento e controle da produção que deve estar inserido no ambiente de RV.

Anteriormente, nos estudos de redes de petri, verificou-se, que para disparar uma transição é necessário que se tenha os *tokens* nos *places* anteriores e que estes sejam em maior número do que o peso dos respectivos arcos. Então, o *place* “Linha Livre” fica como um evento interno ao programa, que serve somente para que a rede seja capaz de resolver se permite que um veículo se desloque para a “Maquina” ou não.



(a)



(b)

Figura 5 - Rota dos AGVs modelado em Redes de Petri

O modelo gerado foi editado e validado pelo Editor PetriNetTools (Ver Editor de Modelos e Validação). Os dados dos *places*, transições e arcos foram armazenados em um arquivo. Assim, através deste arquivo é possível gerar a simulação desvinculada do editor de RP. Então foi desenvolvido um programa que realiza a simulação com um padrão de comunicação e com base na leitura de arquivos em formato texto.

### 3.1.2. Editor de Modelos e Validação

O modelo deve ser construído numa ferramenta que deve possuir funcionalidades para criação, manipulação e simulação, neste trabalho foi adotado o Editor de Redes de Petri - PetriNetTools [PETRI *Net Tools* (2001)] figura 6.

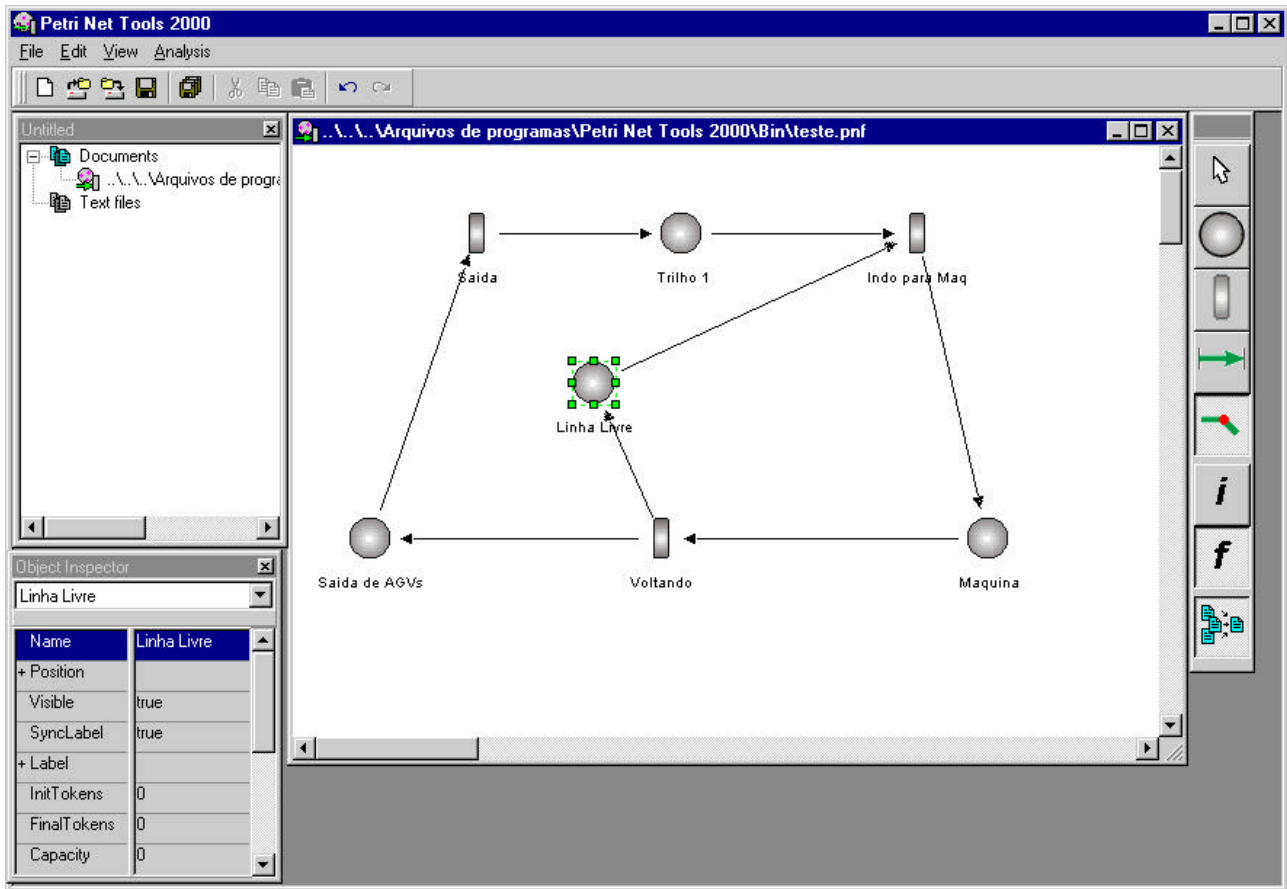


Figura 6 - Editor PetriNetTools

O editor permite a manipulação de objetos gráficos na janela de edição (documento). Estão inclusos aqui a funcionalidades de criação, remoção e posicionamento dos objetos; controle e visualização de grade de edição (grid); controle de zoom; cópia e colagem de objeto (cut & paste);

A simulação ajuda fazer a validação do modelo, estão inclusas funcionalidades de obtenção de árvore de alcançabilidade, obtenção de matriz de incidência, e análise de propriedades da rede como segurança, limitabilidade e vivacidade. Validar a rede significa chegar à conclusão de que não há erros conceituais a respeito do modelo e que da forma como se modelou o sistema pode funcionar ou não. Por exemplo: se o número de *tokens* em um *place* for sempre menor que o peso de seu arco subsequente, a transição associada a este arco nunca será disparada, significando um erro na modelagem. Assim, no editor deve-se definir as características de cada *place*, transição e arco do modelo.

O resultado é armazenado em um arquivo com dados da rede editada, ou seja, tem-se o modelo armazenado que já foi editado e validado.

## 3.2. Módulo de Criação e Edição de Ambientes Virtuais

Este módulo pode ser dividido em três sub-módulos.

### 3.2.1. Desenvolvedor de Objetos Virtuais

Na criação de objetos virtuais o paradigma de Programação Orientada a Objeto (POO) é o mais indicado, este representa melhor o mundo real em programas, pois:

- os elementos do mundo são facilmente mapeados em objetos;
- há correspondência clara entre o mundo real e programas, que tornam estes mais fáceis de serem modificados;
- as características de abstração, herança e polimorfismo que resultam em um reaproveitamento de código e deixa o mesmo mais legível;

- a proteção de informação torna mais fácil a manutenção do software pois mudanças em uma parte do programa não exigem modificações em outras partes.

A caracterização dos objetos virtuais que compõe o Ambiente Virtual são feitos no sub-módulo Desenvolvedor de Objetos Virtuais. Neste módulo criam-se as classes que possuem atributos (vão representar as características do objeto e/ou seu estado) e métodos (representa a funcionalidade do objeto).

Na criação de um AGV simples, que se movimenta de um ponto ao outro, a classe AGV tem como atributo: um modelo 3D (pode ser importado de um aplicativo gráfico ex: AutoCad, 3Dstudio), a localização no espaço, e a velocidade de locomoção. Os métodos do AGV são "Mova" - responsável de fazer o controle de movimentação do AGV respeitando a velocidade e atualizando o posicionamento; "Rotaciona" - serve para apoiar o método "Mova" de maneira que o AGV se locomove sempre de frente para a posição destino; e o "EnviaMsg" - serve para mandar mensagens do AGV para o sistema de controle.

Já existem algumas ferramentas para o auxílio de desenvolvimento de objetos virtuais, como a biblioteca WorldToolKit da SENSE 8, que está sendo utilizada neste projeto. O Desenvolvedor de Objetos Virtuais é o aplicativo responsável pela a criação das classes de cada um dos elemento de um sistema de manufatura, e o conjunto dos elementos criados formam a Biblioteca de Objetos Virtuais .

As classes desenvolvidas para este projeto devem possuir métodos voltados para a comunicação com o sistema de controle (Tabela 2). No exemplo do AGV, o método "Mova" é ativado através de um evento provindo do sistema de controle. Quando um método do objeto virtual finaliza a execução envia uma mensagem ao sistema de controle de término de operação.

Tabela 2. Métodos para a comunicação com o sistema de controle.

Métodos	Descrição
Para Ler os Eventos do Sistema de Controle	Efetiva a tarefa solicitada pelo sistema de controle
Para Ler os Eventos do Dispositivos de Entrada	Reconhece o comando e informa ao sistema de controle através do Enviar mensagens
Para Enviar Mensagens ao Sistema de Controle	Envia uma mensagem ao sistema de controle informando a mudança de algum estado, ou término de alguma operação

### 3.2.2. Editor de Ambientes Virtuais

Outro aplicativo que deverá ser implementado é o editor de ambientes virtuais. O editor constrói o ambiente com os objetos derivados da biblioteca (faz instâncias das classes existentes na biblioteca), o resultado é um ambiente gráfico que deverá ser associado com um sistema de controle através do MC para possibilitar a execução do ambiente virtual, portanto o Editor de Ambiente Virtuais cria um arquivo de dados constando o nome de todos os métodos e atributos dos objetos que constitui o ambiente, para fazer a associação com o modelo.

A tarefa de como fazer a edição do AV vai ser semelhante aos editores gráficos (ex. PaintBrush, Corel, 3Dstudio) ou de editores de simulação (ex. AutoMod, ProModel e ARENA), ou até mesmo editores de Ambiente Virtuais como WordUp, ou seja, vai possuir uma interface gráfica para a manipulação de objetos, como a criação, remoção e posicionamento, e ainda utiliza-se de caixas de diálogo para caracterizar os objetos do ambiente. Os objetos vão estar representados em uma ou mais barras de ferramentas (os objetos são elementos de manufatura que vão estar associados a uma classe desenvolvida no editor de objetos virtuais). Uma biblioteca completa, com todos os elementos de um sistema de manufatura, permite construir ambientes virtuais utilizando-se somente o editor e sem programação.

### 3.2.3. Simulador do Ambiente Virtual

O Editor de ambiente virtuais gera uma cena e um arquivo de dados sobre os objetos que constitui a cena (atributos - características e/ou estado dos objetos, métodos - comportamentos que o objeto possui ). Caso o ambiente não seja construído em um editor deve-se criar o ambiente em POO de maneira que cada objeto virtual que compõe a cena deve estar no formato de classe (atributos e métodos).

Para o ambiente em Realidade Virtual, os elementos compreensíveis são os objetos em um determinado estado que podem ou não significar pontos de interação com o usuário do sistema, como por exemplo, o desenho de um botão, um ponto no chão de uma fábrica, um sensor, uma alavanca, uma parede, um equipamento etc. e os métodos que podem ser realizados, são operações que podem mudar os estados dos objetos, por exemplo, o comando para um AGV se locomover ou uma máquina parar ou uma esteira funcionar, etc.

O ambiente (a cena) criado vai ser utilizado pelo simulador de ambientes virtuais, e os dados ficam disponíveis para a integração do controle com o ambiente virtual.

- alguns *places* do sistema de simulação teriam ligação direta com pontos na tela de um ambiente de Realidade Virtual, como por exemplo na Figura 5 o *place* “Saída de AGVs” pode ser relacionada com um galpão onde os veículos se encontram; um ponto no solo por onde pode-se passar algum tipo de objeto pode ser relacionado com o *place* “Trilho 1”; máquinas ou pontos específicos destas pode ser relacionado com *place* “Máquina”, dentre outros;
- alguns destes pontos podem mudar de estado com o andamento da simulação. Exemplo disso são os botões, alavancas, ou operações mais complexas que podem acionar algum elemento virtual. Neste caso, tomando-se como base a figura 5(b) tem-se o *place* “Requisição” que pode estar simbolizado no ambiente virtual como um botão de chamada de AGV; o *place* “Voltar” que também pode ser um ponto de ativação e até mesmo *place* “Saída de AGVs” que pode simbolizar um galpão em que se pode colocar mais de um AGV ou não;
- métodos possíveis de serem realizados pelo ambiente virtual como mover um AGV, ligar uma máquina ou apagar luzes, dentre outros, que são respostas a algum tipo de interação de um usuário, como por exemplo o acionamento de um botão, possuem relações diretas com as transições dos modelos em Redes de Petri;
- alguns *places* e transições não possuem nenhuma ligação direta com pontos virtuais, mas são necessários para que se faça uma modelagem coerente e válida ao evento que se pretende simular;
- em casos onde existem equivalentes, o ambiente virtual deve ser informado dos *places* ativados, bem como da quantidade de *tokens* que foram colocados nestes *places* através do sistema de comunicação. Como exemplo, na figura 3 se um veículo for requisitado, o ambiente virtual deve ser informado para qual ponto de sua tela mover AGVs, e quantos deles mover. O ambiente virtual deve ser informado também das transições que foram disparadas, e do tempo de disparo para elas. Um exemplo pode ser observado quando o disparo de uma transição correspondente ao deslocamento de um AGV, às vezes é necessário saber da modelagem o tempo que o veículo deve gastar para executar tal operação.

### 3.3. Módulo de Conexão - MC

Este módulo permite a ligação entre os elementos do modelo em Redes de Petri e os elementos do AV. Estabelece a ligação:

- dos *places* existentes no modelo com os pontos ativáveis da Realidade Virtual (objetos, ou atributos)
- das transições do modelo com os métodos da Realidade Virtual.

Este módulo será responsável pela criação da tabela para relacionar os nomes dos pontos ativáveis e dos métodos virtuais com os elementos da simulação.

### 3.4. Módulo Central de Controle - MCC

Este Módulo utiliza um modelo criado e validado no módulo MEVM. O modelo é uma Rede de Petri que o MCC gera em memória e executa-a estabelecendo a dinâmica do modelo simulado e do AV.

Para o sistema de simulação com base em Redes de Petri, os elementos compreensíveis são tão somente *places*, transições, arcos, *tokens*, pesos, e tempos de disparo. Dentre estes, e seguindo a modelagem mostrada da figura 5, os *places*, as transições, os arcos e seus respectivos pesos são parâmetros fixos, definidos antes de se iniciar qualquer análise (ou simulação) dos modelos. O único item variável é o chamado *token* que pode se "mover" pela rede, colocado ou tirado em pontos específicos (*places*).

Ao executar o Módulo Central de Controle, ocorre a monitoração constante do modelo para verificar se alguma transição vai ser disparada e se algum *token* chegou do AV para ser colocado no modelo.

O MCC ao disparar uma transição envia mensagens ao(s) objeto(s) correspondente(s) dos AV conectados, o AV ao receber a mensagem trata e executa o método correlacionado e quando termina ele envia uma mensagem término ao MCC, o controle ao receber a mensagem atualiza o modelo colocando *tokens* nos *places* que seguem a transição disparada.

Durante a simulação, há também a interação com o usuário, através dos dispositivos de E/S, os eventos gerados através da interação são submetidos aos objetos virtuais que vão enviar a mensagem do ocorrido para o programa simulador, que por sua vez vão disparar transições que enviam mensagens ao objeto virtual correspondente de todos Ambientes Virtuais que estiverem interligados com o simulador, caracterizando assim, interface de RV distribuída.

Assim, o padrão de comunicação desenvolvido estabelece que:

- nem todos os *places* devem ter correspondentes no ambiente virtual, mas todos os pontos ativáveis ambiente devem ser representados no modelo;
- ativar um ponto no ambiente virtual simboliza diretamente a colocação de um token em um *place*, e desta forma todas as ativações devem gerar mensagens para o sistema de simulação;
- nem todas as transições devem ter correspondentes no ambiente virtual, mas todas as ações dependentes de análise devem estar representadas por transições;
- *places* que recebem tokens e possuem relação externa devem ser notificados, bem como com o número de tokens que recebeu e a transição que originou tal operação juntamente com o tempo de disparo desta;

- transições internas que são disparadas ou places que recebem tokens mas não possuem correspondentes externos não serão enviados à Realidade Virtual, mas sim tratados internamente;
- com o término da execução, de alguma operação anteriormente ordenada pelo sistema de simulação, há a comunicação a Rede de Petri.

#### 4. Implementação de um AV

Utilizando os quatro módulos, o AV vai ser implementado com os seguintes passos:

1. Cria-se o modelo do sistema de manufatura que se deseja simular
2. Edite o modelo no MEVM para colocar em formato adequado para um sistema computacional e valida-lo
3. Faz-se a edição gráfica através de um Editor de AV, se há elementos de manufatura suficientes para descrever a cena não haverá a necessidade de programação, caso contrário, deve-se criar o objeto que se deseja colocar em cena no editor de objetos virtuais.
4. Com o modelo e o AV devem-se integra-los através do módulo de conexão, que vai relacionar os places e transições do modelo com os atributos e métodos dos Objetos virtuais respectivamente.
5. Feita a integração deve-se executar o MCC em computador servidor e os AVs deve ser executados em computadores clientes conectados ao servidor (host).

#### 5. Conclusão

A complexidade envolvida na construção de ambiente virtual distancia a aplicação da tecnologia de RV em sistemas de manufatura, esta proposta facilita o emprego da interface de RV na simulação de sistema de eventos discretos permitindo a simulação e a interação do usuário.

A qualidade da simulação vai estar atrelada ao modelo desenvolvido e de sua validação, e a qualidade gráfica, a interação e a imersão vão depender dos recursos da área de RV que foi empregado.

A construção de um Módulo Central de Controle independente das ferramentas pré-existentes proporcionou maior flexibilidade, para que futuramente possa ser facilmente adaptado a outros sistemas de simulação e ferramentas de modelagem.

#### Referências

- AUTO SIMULATIONS, *AutoMod User's Manual*, Vol 2, chapter 8 (AGVs), Bountiful, Utah, 1998
- MORANDIN Jr., O.; *Projeto e construção de um veículo auto-guiado para sistemas flexíveis de manufatura*. Dissertação (Mestrado) apresentada na EESC – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1994., Fls 123p.
- INAMASU, R. Y.; *Modelo de fms: uma plataforma para simulação e planejamento*. Tese (Doutorado) apresentada na EESC – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1995., Fls 134p
- KIRNER, C. (1996). *Apostila do ciclo de palestras de realidade virtual*, Atividade do Projeto AVVIC- CNPq (Protem - CC - fase III) - DC/UFSCar, São Carlos, pp. 1-10, Out. ou <http://www.realidadevirtual.com.br/publicacoes/publicacoes.htm>
- PALMA&PORTO, 2000. *Manufatura Virtual in Fábrica do Futuro: Entenda hoje como sua indústria vai ser amanhã*, Editoras Banas, dez.
- PORTO, A. J. V.; MORANDIN Jr, O.; POLITANO, P. R.; INAMASU, R. Y. *Controle de Sistemas de Veículos Auto-Guiados em Sistemas Flexíveis de Manufatura*. Anais do I Encontro Internacional de Instrumentação, Sistemas e Automação Industrial, 1993.
- MURATA, Tadao. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. *Proceedings of the IEEE*. Volume 77, número 04, 1989, pp. 541 – 574.
- PETRI *Net Tools* (2001a) <http://www.petrinet.sc.usp.br> (14 de April de 2001)
- SENSE8 Corporation. *WorldToolKit Reference Manual*. Release 7, Mill Valley, 1997

#### Discrete-Event System Simulation with Interface of Virtual Reality for Manufacture Systems

Jandira Guenka Palma<sup>1,2</sup>  
[jgpalma@sc.usp.br](mailto:jgpalma@sc.usp.br); [jgpalma@dcop.uel.br](mailto:jgpalma@dcop.uel.br)

Arthur José Vieira Porto<sup>2</sup>  
[ajvporto@sc.usp.br](mailto:ajvporto@sc.usp.br)

<sup>1</sup> Departamento de Computação da Universidade Estadual de Londrina – DCOP/UUEL  
 Rodovia Celso Garcia. Cid (PR 445) Km 380 . CEP. 86051- 990 . Londrina - PR.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP  
 Av. Trabalhador Sãoocarlense, 400 - CEP 13566-590 - São Carlos - SP



*Abstract: The VR aids in the creation of virtual worlds similar to the real world, helping in the understanding of the system work. This work is concerning the development of simulation of discrete-event system based on Petri Nets, with interface of Virtual Reality for manufacturing working stations or environment. The system is composed by four modules, the first is a edit of models and it make the validation, the second module is a tool of modeling of virtual objects and/or a library of virtual elements, the third module to make the link among the two previous modules, and finally a simulation and control module . The centralized simulation based on models described in Petri Nets and with interface of distributed RV proportions a flexible and consistent system. The system will help user in the learning and in the understanding of the simulation problem, and it will still allow the user's integration with environment through the interaction, and through distributed interface.*

*Keywords: Petri Nets, Simulation, Virtual Environment*

## RELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS ESTRATÉGICOS NAS CADEIAS DE SUPRIMENTOS

### **Claudemir Gimenez**

Instituto Nacional de Tecnologia da Informação/Laboratório de Tecnologia de Gestão da Produção - Rodovia SP 65, Km 143,6 - Caixa Postal 6162 - 13.081-970 Campinas - SP, claudemir.gimenez@globo.com

### **Oscar Salviano Silva Filho**

Instituto Nacional de Tecnologia da Informação/Laboratório de Tecnologia de Gestão da Produção - Rodovia SP 65, Km 143,6 - Caixa Postal 6162 - 13.081-970 Campinas - SP, oscar.salviano@iti.br

### **Rogério Monteiro**

Universidade Estadual de Campinas/Faculdade de Engenharia Mecânica/Departamento de Engenharia de Fabricação - Cidade Universitária Zeferino Vaz - Caixa Postal: 6122 - 13.083-970 - Campinas - SP, monteiro@fem.unicamp.br

### **Antonio Batocchio**

Universidade Estadual de Campinas/Faculdade de Engenharia Mecânica/Departamento de Engenharia de Fabricação - Cidade Universitária Zeferino Vaz - Caixa Postal: 6122 - 13.083-970 - Campinas - SP, batocchi@fem.unicamp.br

**Resumo.** *As empresas passaram por grandes transformações no padrão competitivo durante a década de 1990, em termos de redução dos custos, maximização da qualidade e cumprimento dos prazos de entrega. Essas transformações foram provocadas por diversos fatores, como por exemplo a reengenharia, a globalização, a Internet, etc. Após sucessivos ajustes a essas transformações, as empresas atingiram limites operacionais para a conquista de novas melhorias. Há muitos anos, as empresas voltaram sua atenção além das fronteiras físicas, passando a incluir os clientes (na década de 1950) e os fornecedores (década de 1980). Note que essas datas referem-se aos EUA, sendo que no Brasil os períodos variam para épocas posteriores. Observou-se que a Gestão da Cadeia de Suprimentos (ou "Supply Chain Management") faria a integração entre seus diversos componentes. Na fase atual, as empresas ainda estão obtendo reduções significativas nos custos, além do cumprimento de suas metas em termos da qualidade, do prazo de entrega, etc. Porém, em breve será necessária a consolidação de estratégias integradas que permitam novas reduções de custos, tendo em vista o fato de que o planejamento estratégico faz considerações distintas para a corporação, a empresa e as funções. Cada elemento manipula e necessita de informações específicas, desnecessárias para os demais. Como exemplo, o acompanhamento do nível de inventário interessa principalmente para a função "produção" das empresas envolvidas, enquanto as informações sobre prazo e preço são negociadas pelas próprias empresas. Por sua vez, a corporação decidiria quais empresas devem participar de determinada cadeia. Essa abordagem restringiria o volume de informações, permitindo a gestão, de modo competitivo, da cadeia de suprimentos. Para tanto, apresenta-se o Modelo de Gestão Estratégica da Cadeia de Suprimentos.*

**Palavras chave.** Planejamento Estratégico, Gestão da Cadeia de Suprimentos, Tecnologia da Informação

### **1. Introdução**

Este trabalho discute o relacionamento entre os níveis estratégicos presentes em cada empresa participante de determinada Cadeia de Suprimentos. Diversos fatores determinam a importância do trabalho, como por exemplo a preocupação com relação a redução dos custos logísticos, a necessidade de manutenção da lucratividade da cadeia durante longos anos, a redução dos custos associados a transferência de informação, a necessidade de agilidade na tomada de decisões, etc.

Serão apresentadas breves considerações que permitirão o direcionamento dos investimentos em função da intensidade de encontros pessoais e do fluxo de dados trocados entre as empresas, além do Modelo de Gestão Estratégica da Cadeia de Suprimentos.

O artigo encontra-se distribuído da seguinte maneira: O item 2 apresenta uma breve revisão de literatura sobre planejamento estratégico. O item 3 apresenta uma breve revisão de literatura sobre a gestão da cadeia de suprimentos. O item 4 apresenta a contribuição dos autores, sob o título "Relação entre os Níveis Estratégicos nas Cadeias de Suprimentos". As conclusões são apresentadas no item 5 e as referências no item 6.

### **2. Planejamento estratégico**

Estratégia é a arte de aplicar os recursos da empresa e explorar as condições de mercado visando a lucratividade da empresa no longo prazo (Mariotto, 1996). Uma estratégia pode ser considerada ambiciosa quando visa romper o "gap" entre os recursos existentes e aqueles de que ela necessita para tornar-se líder (Hamel e Prahalad, 1991).

Drucker (1973) afirma que uma empresa agindo como se atuasse em um ambiente atrasado, em termos de estratégia, estrutura, sistemas, estilo, pessoal, habilidades e valores, obtém eficiência, mas jamais eficácia.

Porter (1980, 1985, 1987, 1990a, 1990b) é considerado o representante/pesquisador de maior destaque na área estratégica, definindo os níveis estratégicos (grupo, unidade de negócios e funções), conforme representação na Fig. (1) e afirmando que as empresas competem por clientes, insumos, recursos humanos e recursos financeiros.

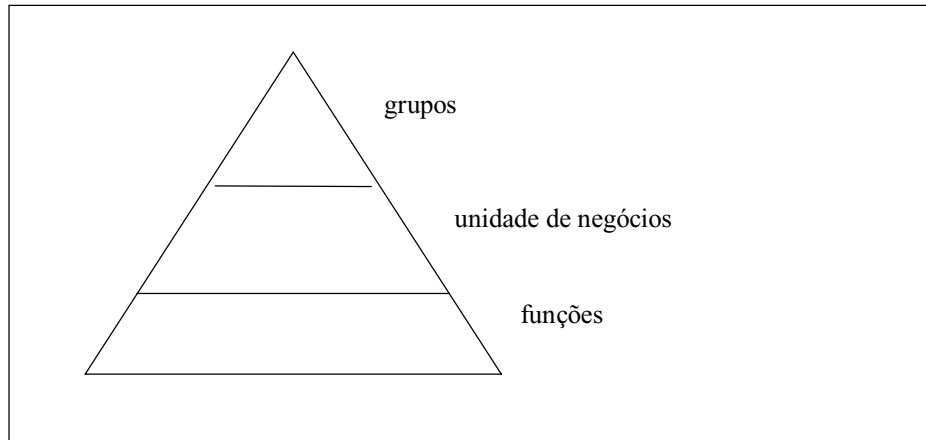


Figura 1. Níveis estratégicos (Mariotto, 1996).

No nível estratégico mais elevado elaboram-se os planos estratégicos, em termos do longo prazo, para o conjunto de empresas que compõem o grupo. No nível estratégico intermediário são determinadas as ações táticas para o médio prazo, ou seja, define-se a atuação da unidade de negócios. No nível estratégico inferior são determinadas ações operacionais para o curto prazo, ou seja, define-se a atuação das funções. Os tipos básicos de vantagem competitiva que uma empresa pode ter são (Porter, 1985): baixo custo ou diferenciação.

Nesse sentido, o trabalho visa definir parâmetros para a criação e fortalecimento da Cadeia de Valor entre os níveis estratégicos dos diferentes atores envolvidos: a empresa, seus clientes e seus fornecedores. Para tanto, no caso das empresas Ocidentais, far-se-á uso dos recursos da Tecnologia da Informação, particularmente aquelas relacionadas com a Internet.

### 3. Gestão da Cadeia de Suprimentos

A Gestão da Cadeia de Suprimentos (SCM - “Supply Chain Management”) corresponde a abordagem atual da área de administração de materiais, que abrange a gestão da cadeia produtiva de forma estratégica e integrada (Pires, 1998). O objetivo da Gestão da Cadeia de Suprimentos é prover o melhor atendimento ao consumidor e a redução de custos. Em alguns casos existem diversos sub fornecedores que trabalham a matéria prima antes de seu envio ao consumidor final. Portanto, é importante que seja realizado um trabalho integrado entre todas as empresas e seus respectivos clientes. A integração das cadeias de suprimentos também pode ser obtida, por exemplo, com o suporte dos (Fulanetti, 1999): CRM (“Customer Relationship Management”), ERP (“Enterprise Resource Planning”), IB2B (“Internet Business to Business”), ESI (“Early Supply Involvement”), etc. Alguns fatores que têm modificado as ações entre as empresas são:

- O conceito de terceirização evoluiu ao longo dos anos, sendo referido atualmente dentro do conceito de Cadeia de Suprimentos, correspondendo a uma rede de negócios autônomos ou semi-autônomos envolvidos em diferentes processos e atividades que produzem bens ou serviços aos clientes (Lin e Shaw, 1998). Muitas atividades realizadas pelas empresas foram terceirizadas, provocando o fenômeno das Cadeias de Suprimentos;
- O uso da Tecnologia da Informação, ao longo da década de 1990, passou a conferir uma vantagem competitiva para as empresas que desejam diferenciar-se perante o mercado em que atuam, considerando os seus fornecedores, os seus concorrentes e os seus clientes. Nesse sentido, a Tecnologia da Informação é essencial para a aquisição, a análise e a utilização dos dados acerca dos custos, qualidade, prazos de entrega e diversidade dos produtos e serviços oferecidos ao mercado que, em essência, constituem as informações necessárias para que as Cadeias de Suprimentos, nas quais a empresa esteja inserida, apresentem resultados diferenciados aos seus participantes.

A importância da Tecnologia da Informação para o desdobramento das atividades da Cadeia de Suprimentos refere-se a inversão na determinação das necessidades presentes nas Cadeias de Suprimentos, pois os clientes passam a determinar a quantidade, o tipo e o prazo de entrega dos produtos e serviços que necessitam. Desse modo, todas as empresas da Cadeia de Suprimentos passam a dispor e utilizar as informações no exato momento em que são necessárias. Numa situação tradicional, cabe às empresas abastecerem o mercado com base em dados históricos de consumo, refletindo-se em estoques elevados, elevação dos custos do capital, insatisfação dos clientes, ampliação dos prazos, etc.

A inclusão da Tecnologia da Informação provoca a revisão dos relacionamentos empresariais, dada a existência do compromisso entre todas as empresas participantes na Cadeia de Suprimentos quanto ao atendimento das necessidades dos clientes. Note-se que, nesse caso, toda empresa é fornecedora e cliente. Com o conceito de Cadeia de Suprimentos as empresas passam a explorar as oportunidades de agregar valor aos produtos e serviços oferecidos por todos os participantes da cadeia. O resultado deste trabalho integrado é viabilizado pelo acesso a informação, sua análise e pelas decisões tomadas (Konsynski e Mcfarlan, 1990).

### **3.1. Internet e Cadeias de Suprimentos**

A Internet cria um novo canal de comunicação para as empresas, possibilitando o surgimento de relações de negócios com clientes e fornecedores, as quais têm gerado grandes expectativas. Nesse sentido, as duas maiores federações de indústrias do País se esforçam para medir o grau de adesão das empresas à economia digital. A maioria das indústrias paulistas ainda priorizam a Internet como meio de comunicação, seja por correio eletrônico ou sites próprios. É o que constatou a primeira pesquisa sobre o tema feita junto às quase 10 mil filiadas da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) (Caride e Ribas, 2001).

Em sintonia com o programa Fiesp.com que analisa impactos da tecnologia da informação nos negócios das empresas, a entidade firmou parceria com a Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE), da Universidade de São Paulo para montar um quadro de indicadores da economia digital, através da análise de um questionário que foi enviado a 9.630 indústrias paulistas, e 1.720 responderam (17,86% de participação). A maior taxa de retorno veio de médias e grandes indústrias, com 30% do grupo. Cerca de 80% das empresas respondentes afirmaram usar o “e-mail” para realizar negócios e menos de 10% para o comércio eletrônico “business-to-business”.

### **3.2. A importância dos clientes e dos fornecedores nas Cadeias de Suprimentos**

#### **3.2.1. A importância dos clientes**

Marketing, corresponde a uma filosofia empresarial que surgiu para desafiar antigos conceitos. Apesar de ter uma longa história, seus pontos básicos somente se tornaram sólidos em meados da década de 1950.

Quanto a preocupação com os clientes, Levitt (1960) criticou as empresas no artigo clássico “Marketing Myopia”, onde descreveu a incapacidade das empresas em compreenderem as necessidades de seus clientes, explorando oportunidades no mercado através de sua reestruturação para oferecer novos produtos ou mesmo passar a atuar noutra indústria.

Cabe aos fabricantes criar meios para que os canais de distribuição transmitam informações sobre o produto e sobre o mercado, tendo em vista o seu contato direto com os clientes. Desse modo, essas informações permitem mudanças na empresa para que permaneça competitiva (Desiraju e Moortry, 1997).

Frohman (1982) e Hayes e Abernathy (1980) observam que a atividade de análise de mercado não diferencia projetos de desenvolvimento de novos produtos em mercados já estabelecidos ou em mercados inexplorados. Nesse sentido, Islei et al. (1991) afirmam que um mercado já estabelecido é mais susceptível a um novo produto que um mercado com potencial inexplorado.

Cooper (1981) atribui elevada importância a força do mercado para o sucesso de um novo produto, considerando os seguintes aspectos: tamanho potencial do mercado, expectativa de participação no mercado e expectativa de lucratividade.

#### **3.2.2. A importância dos fornecedores**

Zipkin (1991) afirma que as incertezas relacionadas aos sistemas de produção podem ser reduzidas; porém jamais totalmente eliminadas. Neste caso, a matéria-prima é mais susceptível a variações, sendo importante o seu controle junto aos fornecedores.

Sakakibara (1997) cita que a infra-estrutura de uma empresa, envolvendo qualidade, recursos humanos, estratégias de manufatura, características organizacionais, projeto do produto, redução do tempo de preparação, flexibilidade, manutenção, “layout”, sistemas Kanban e relação com os fornecedores, afetam a performance de manufatura (exemplo: “lead time”, tempo de ciclo, entregas e inventários) que, por sua vez, conduzem a empresa à vantagem competitiva, seja em termos de flexibilidade, entregas, qualidade ou custos.

A integração da manufatura envolve um conjunto de fatores físicos, além de recursos que viabilizem o fluxo da informação na cadeia de valor. Os fatores físicos referem-se a movimentação de peças entre os diversos pontos do processo produtivo, visando o local correto, o tempo correto e a quantidade exata. Os fluxos de informação referem-se ao conhecimento sobre o que foi finalizado, situação em relação a sua conclusão e o local onde está (Handfield e Pannesi, 1993).

A produção Just-In-Time tornou-se conhecida no Ocidente à partir da década de 1970. Muitas empresas não conseguem obter resultados positivos com a implementação do sistema de produção JIT, pois surgem conflitos entre a estrutura organizacional vigente e aquela necessária para que as mudanças sejam incorporadas (Koufteros e Vonderembse, 1998; e Sterman, Repenning e Kotman, 1997). O planejamento da produção no sistema JIT deve ser baseado em contratos de longo prazo com o cliente e o fornecedor, permitindo que os recursos produtivos sejam utilizados de forma eficiente.

No caso das empresas Ocidentais é importante a utilização da Troca Eletrônica de Dados (EDI - Electronic Data Interchange) para obter confiabilidade e agilidade em relação as suas necessidades de comunicação com os clientes e fornecedores.

Os contratos de fornecimento representam uma importante garantia, tanto para o fornecedor, quanto para a empresa, pois estabelece a quantidade, o prazo e as condições do material adquirido, fornecendo grande apoio aos sistema Just-In-Time (Anupindi e Bassok, 1998; Bassok e Anupindi, 1997).

#### 4. Relação entre os Níveis Estratégicos nas Cadeias de Suprimentos

Com base na exposição anterior, serão definidas as principais relações entre os níveis estratégicos de uma Cadeia de Suprimentos. Inicialmente, é importante considerar que toda Cadeia de Suprimentos é sempre liderada por uma empresa. Em alguns casos, a liderança pertence a uma empresa fornecedora de determinado produto (exemplo: Petrobrás) e em outro ao comprador de determinado insumo ou conjunto de produtos (exemplo: Volkswagen). Obviamente, determinada empresa poderá figurar com líder em determinada cadeia, enquanto em outra constitui um integrante de pouca importância. Esse fato demonstra a complexidade das relações entre as empresas participantes de determinada Cadeia de Suprimentos.

Caberá a empresa líder da Cadeia de Suprimentos a definição de seus participantes e de seus respectivos níveis estratégicos envolvidos com a troca de informação. A Fig. (2) apresenta a troca de informação entre os diferentes grupos que participam de determinada Cadeia de Suprimentos.

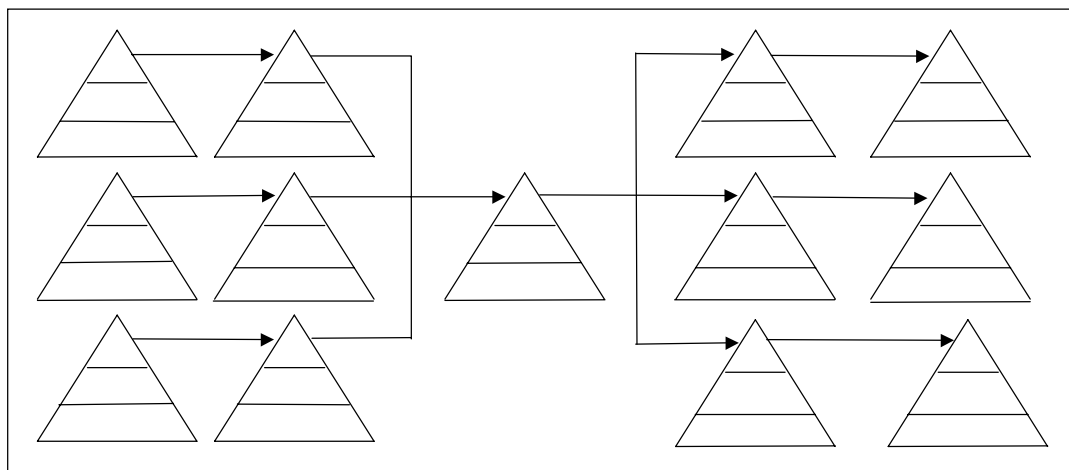


Figura 2. Troca de informação entre os diferentes grupos que participam de determinada Cadeia de Suprimentos.

Entre os grupos são trocadas informações importantes para a sobrevivência da Cadeia de Suprimentos em termos de longo prazo, como por exemplo a definição dos produtos a serem lançados nos próximos 5 anos ou os mercados a serem explorados nos próximos 10 anos. As informações trocadas nesse nível estratégico requerem elevado sigilo e, muitas vezes, a realização de encontros pessoais entre o “staff” das empresas, pois a Internet ainda se constitui em um meio que não permite a transmissão de confiança entre as pessoas envolvidas.

A Fig. (3) apresenta a troca de informação entre as diferentes unidades de negócios que participam de determinada Cadeia de Suprimentos.

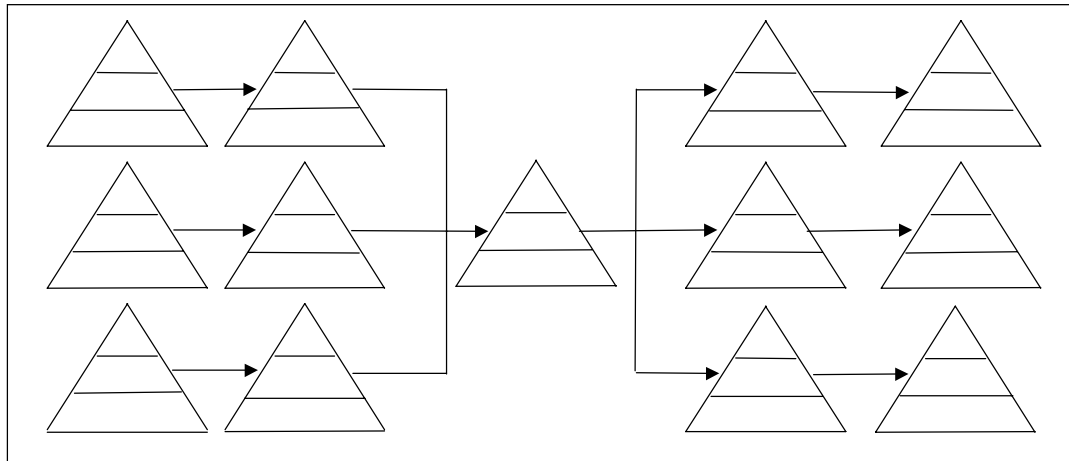


Figura 3. Troca de informação entre as diferentes unidades de negócios que participam de determinada Cadeia de Suprimentos.

Nos níveis estratégicos intermediários - unidades de negócios - são trocadas informações em termos dos custos envolvidos, os prazos negociados, a qualidade requerida, etc. em termos de prazo médio. Essas informações, atualmente, correspondem as grandes preocupações das Cadeias de Suprimentos. As informações trocadas nesse nível estratégico mesclam o uso da Internet e a realização de encontros pessoais.

A Fig. (4) apresenta a troca de informação entre as diferentes funções que participam de determinada Cadeia de Suprimentos.

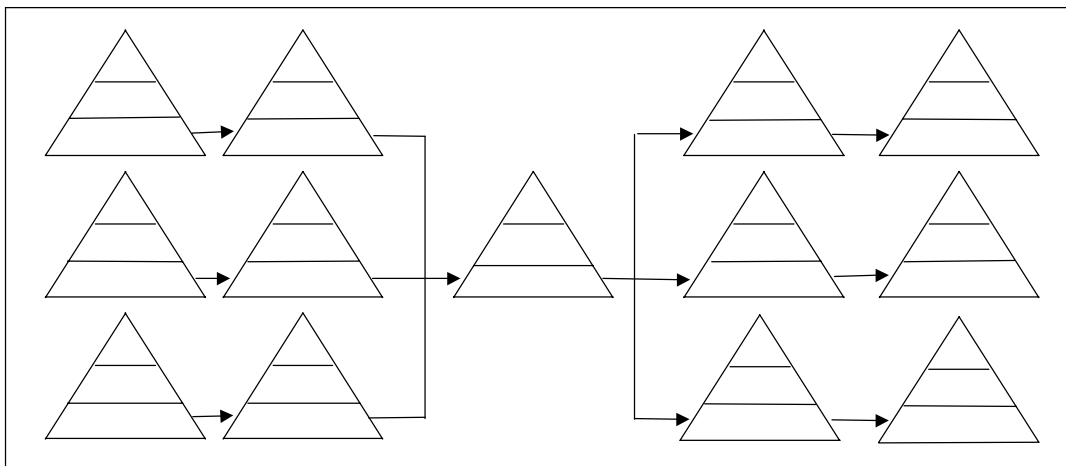


Figura 4. Troca de informação entre as diferentes funções que participam de determinada Cadeia de Suprimentos.

Finalmente, nas bases, ocorrerá a troca de informações entre as funções participantes da Cadeia de Suprimentos. As informações trocadas nesse nível estratégico são intensivas no uso da Internet, requerendo pouquíssimos encontros pessoais, pois envolvem o compartilhamento de sistemas integrados de gestão (financeira, contábil, mercado, etc) no curto prazo, geralmente em tempo real.

Portanto, haverá diferenças entre os níveis estratégicos quanto a intensidade de troca de informações através da Internet, bem como em relação aos encontros pessoais, conforme representação na Fig. (4).

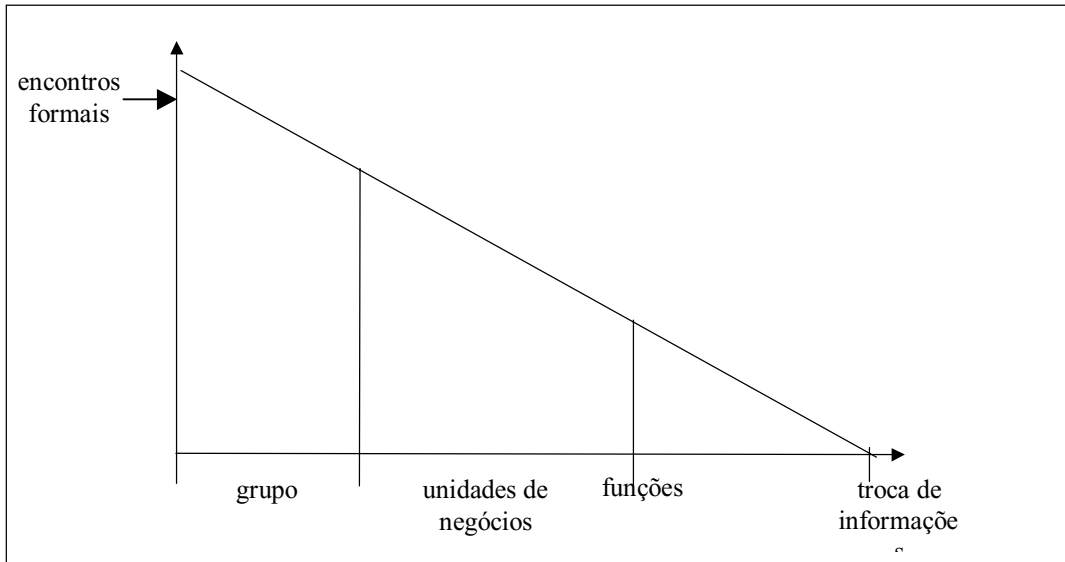


Figura 3. Relações entre níveis estratégicos e a necessidade de troca de informações e a realização de encontros formais entre os participantes da Cadeia de Suprimentos.

Ressalte-se a importância dos fluxos verticais que permeiam os três níveis hierárquicos. Obviamente, em muitos casos, existem diferenças entre o planejamento estratégico de cada grupo participante da Cadeia de Suprimentos, fato que dificulta o surgimento de sinergia entre seus componentes

Com base nas considerações expostas, apresenta-se o Modelo de Gestão Estratégica da Cadeia de Suprimentos, conforme representação na Fig. (4), onde o nível mais elevado, coordenado pela empresa líder, determina o planejamento de longo prazo para todos os grupos participantes da Cadeia de Suprimentos. O nível intermediário define a atuação das unidades de negócios, e o nível inferior responde por todas as funções. Nesse caso, todos os níveis estratégicos de todos os participantes da Cadeia de Suprimentos estão integrados e com um objetivo único, fazendo maior ou menor uso da Internet.

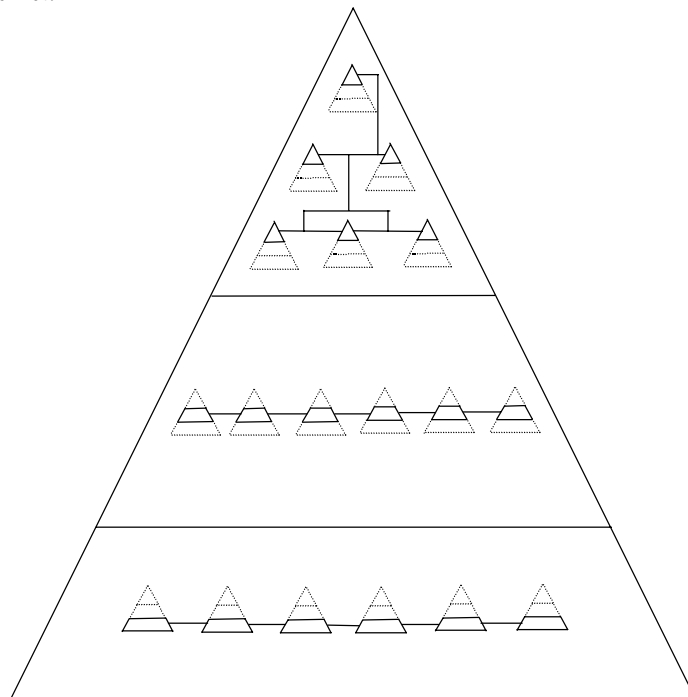


Figura 4. Modelo de Gestão Estratégica da Cadeia de Suprimentos.

Ressalte-se que a estrutura apresentada poderá ser considerada virtual, pois cada grupo participante da Cadeia de Suprimentos possui autonomia na tomada de decisões que não afetem a cadeia como um todo, ou decisões relacionadas a outras cadeias, na qual a empresa esteja inserida.

## 5. Conclusões

O modelo apresentado, bem como a intensidade de uso da Internet e realização de encontros pessoais permitirá a obtenção de agilidade, redução de custos, maximização da qualidade, satisfação dos clientes, cumprimento dos prazos, etc. para todos os grupos participantes de determinada Cadeia de Suprimentos e não benefícios isolados que poderão configurar perdas futuras para todos os membros da cadeia.

As idéias ora apresentadas fornecerão a base para a realização de uma futura pesquisa de mercado junto a empresas das áreas de telecomunicações e de computação, visando o desenvolvimento de sistemas “business-to-business” que atendam as exigências dessas Cadeias de Suprimentos.

A partir do momento em que empresas e clientes estiverem aptos a serem parceiros de informação, estará ocorrendo a comunicação, interação e troca de produtos e informação em tempo real. Nesse contexto, as tecnologias para o comércio eletrônico constituirão as ferramentas mais importantes, com um destaque especial para a Internet.

## 6. Referências

- Anupindi, R., Bassok, Y., 1998, “Approximations for Multiproduct Contracts with Stochastic Demands and Business Volume Discounts: single supplier case”, *IIE Transactions*, v.30, n.8, p.723-734.
- Bassok, Y., Anupindi, R., 1997, “Analysis of Supply Contracts with Total or Minimum Commitment”, *IIE Transactions*, v.29, n.5, p.373-381.
- Caride, D., Ribas, S., 2000, “Empresas querem Usar mais a Web”, *Gazeta Mercantil*, 17 de Outubro, p.A5.
- Cooper, R. G., 1981, “An Empirically Derived New Product Project Selection Model”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, v.28, n.3, p.54-61.
- Desiraju, R., Moortry, S., 1997, “Managing a Distribution Channel under Asymmetric Information with Performance Requirements”, *Management Science*, v.43, n.12, p.1628-1644.
- Drucker, P. F., 1973, “Management: Tasks, Responsibilities and Practices”, Harper & Row, New York, 315p.
- Frohman, A. L., 1982, “Technology as a Competitive Weapon”, *Harvard Business Review*, v.60, n.1, p.97-104.
- Fulanetti, F., 1999, “Fórum PROVAR de Varejo”, *Administração em Pauta*, v.13, n.129, p.5.
- Hamel, G., Prahalad, C. K., 1991, “Strategic Intent”, *Harvard Business Review*, v.69, n.3, p.63-76.
- Handfield, R. B., Pannesi, R. T., 1993, “Antecedents of Leadtime Competitiveness in Make-to-order Manufacturing Firms”, *International Journal of Production Research*, v.33, n.2, p.511-537.
- Hayes, R. H., Abernathy, W. J., 1980, “Managing Our Way to Economic Decline”, *Harvard Business Review*, v.58, n.4, p.67-77.
- Islei, G. et al., 1991, “A Decision Support System using Judgmental Modeling: a case of R&D in the pharmaceutical industry”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, v.38, n.3, p.202-209.
- Konsynski, B. R., McFarlan, E. W., 1990, “Information Partnerships - shared data, shared scale”, *Harvard Business Review*, v.68, n.5, p.114-121.
- Koufteros, X. A., Vonderembse, M. A., 1998, “The Impact of Organizational Structure on the Level of JIT Attainment: towards theory development”, *International Journal of Production Research*, v.36, n.10, p.2863-2878.
- Levitt, T., 1960, “Marketing Myopia”, *Harvard Business Review*, v.38, n.4, p.45-56.
- Lin, F., Shaw, M. J., 1998, “Reengineering the Order Fulfillment Process in Supply Chain Networks”, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, v.10, n.3, p.197-229.
- Mariotto, F. L., 1996, “Estratégia Empresarial”, EAESP/FGV, São Paulo, 150p.
- Pires, S. R. I., 1998, “Gestão da Cadeia de Suprimentos e o Modelo de Consórcio Modular”, *Revista de Administração*, v.33, n.3, p.5-15.
- Porter, M., 1985, “Competitive Advantage: creating and sustaining superior performance”, Free Press, New York, 557p.
- Porter, M., 1980, “Competitive Strategy”, Free Press, New York, 499p.
- Porter, M., 1987, “From Competitive Advantage to Corporate Strategy”, *Harvard Business Review*, v.65, n.3, p.43-59.
- Porter, M., 1990b, “The Competitive Advantage of Nations”, *Harvard Business Review*, v.68, n.2, p.73-93.
- Porter, M., 1990a, “The Competitive Advantage of Nations”, Free Press, New York, 555p.
- Sakakibara, S., 1997, “The Impact of Just-In-Time Manufacturing and Its Infrastructure on Manufacturing Performance”, *Management Science*, v.43, n.9, p.1246-1257.
- Sterman, J. D., Repenning, N. P., Kotman, F., 1997, “Unanticipated Side Effects of Successful Quality Programs: exploring a paradox of organizational improvement”, *Management Science*, v.43, n.4, p.503-521.
- Zipkin, P. H., 1991, “Does Manufacturing Need a JIT Revolution”, *Harvard Business Review*, v.69, n.1, p.40-46.



## STRATEGIC PLANNING AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

### **Claudemir Gimenez**

National Institute of Information Technology/Operations Management Technology Laboratory - Rodovia SP 65, Km 143,6  
Caixa Postal 6162 - 13.081-970 Campinas - SP, claudemir.gimenez@globo.com

### **Oscar Salviano Silva Filho**

National Institute of Information Technology/Operations Management Technology Laboratory - Rodovia SP 65, Km 143,6  
Caixa Postal 6162 - 13.081-970 Campinas - SP, oscar.salviano@iti.br

### **Rogério Monteiro**

State University of Campinas/College of Engineering Mechanics/Department of Manufacturing Engineering -  
Cidade Universitária Zeferino Vaz – Caixa Postal: 6122 - 13.083-970 - Campinas - SP, monteiro@fem.unicamp.br

### **Antonio Batocchio**

State University of Campinas/College of Engineering Mechanics/Department of Manufacturing Engineering -  
Cidade Universitária Zeferino Vaz - Caixa Postal: 6122 - 13.083-970 - Campinas - SP, batocchi@fem.unicamp.br

***Abstract.** Companies had passed for deep changes in their competitive pattern over the decade of 1990, mainly in terms of low costs, ahigh quality, and delivery time. These changes had been resulted of a lot of factors, for instance: reengineering, globalization, Internet, and so on. After successive improvements, companies had reached their operational constraints for still continuing persecuting new goals. /as in the past, the competitive companies set their attention beyond the organization, starting to include the customers (in the decade of 1950) and the suppliers (decade of 1980). As a result a Supply Chain Management that integrates suppliers, company, and customers is now largely considered. In this context, companies are getting significant reductions in the costs, beyond the fulfillment its goals in terms the quality, delivery time, and so on. However, the integration of strategies will be necessary that, allowing improvements on reductions of costs. For this purpose, the strategic planning is the factor that makes the difference for the corporation, the company and the functions. Each element specific information (e.g.: inventory level, delivery time, and price). In short, the corporation decide which companies must participate of chain. This procedure restrict the volume of information, allowing the management, in competitive mode, of the supply chain. Besides discussing these subjects, this article present a Model of Strategic Management of Supply Chain.*

**Keywords.** Strategic Planning, Supply Chain Management, Information Technology.

# O USO DO BENCHMARKING ATRAVÉS DA PESQUISA QUALITATIVA: PROPOSTAS DE MELHORIAS PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO - SETOR AUTOMOTIVO

**Mário César Reis Bonifácio**

Universidade Estadual de Campinas, Depto. de Engenharia de Fabricação - Faculdade de Engenharia Mecânica - CX Postal 6122  
CcCEP 13083-970 Campinas/SP - Brasil [mareis@fem.unicamp.br](mailto:mareis@fem.unicamp.br)

**Eugênio José Zoqui**

Universidade Estadual de Campinas, Depto. de Engenharia de Fabricação - Faculdade de Engenharia Mecânica - CX Postal 6122  
CEP 13083-970 Campinas/SP - Brasil [zoqui@fem.unicamp.br](mailto:zoqui@fem.unicamp.br)

**Resumo.** A indústria brasileira de fundição de alumínio vem aumentando sua participação nos mercados internos e externos, em grande parte devido ao aumento desta matéria-prima destinada ao setor automobilístico. Uma das práticas mais comuns adotadas entre as empresas com vistas a aumentar sua eficiência organizacional e produtiva é o benchmarking. O objetivo deste artigo é, através da metodologia da pesquisa qualitativa, realizadas em três companhias reconhecidas como as melhores em seu ramo de atuação, analisar os principais aspectos em relação ao Gerenciamento de Sistemas de Qualidade. Baseado na análise dos resultados, propor uma metodologia de implantação, com prazos e principais ferramentas a serem aplicadas, para as pequenas e médias empresas de fundição de alumínio do setor automotivo. Os resultados obtidos demonstraram que o gerenciamento da qualidade tem se tornado fundamental para a competitividade das empresas

**Palavras chave:** qualidade, fundição de alumínio, benchmarking.

## 1. Introdução

A indústria brasileira de fundição de alumínio vem aumentando sua participação no setor de transporte, especialmente no mercado automobilístico. Tanto no mercado interno quanto no externo o uso de peças fundidas de alumínio tem crescido neste setor. (MICT, 1998). A figura (1) ilustra este crescimento ao analisar o mercado europeu e o norte-americano: tem havido uma tendência bastante grande no aumento da utilização desta matéria-prima, ocasionando um aumento na quantidade de alumínio por Kg/carro.

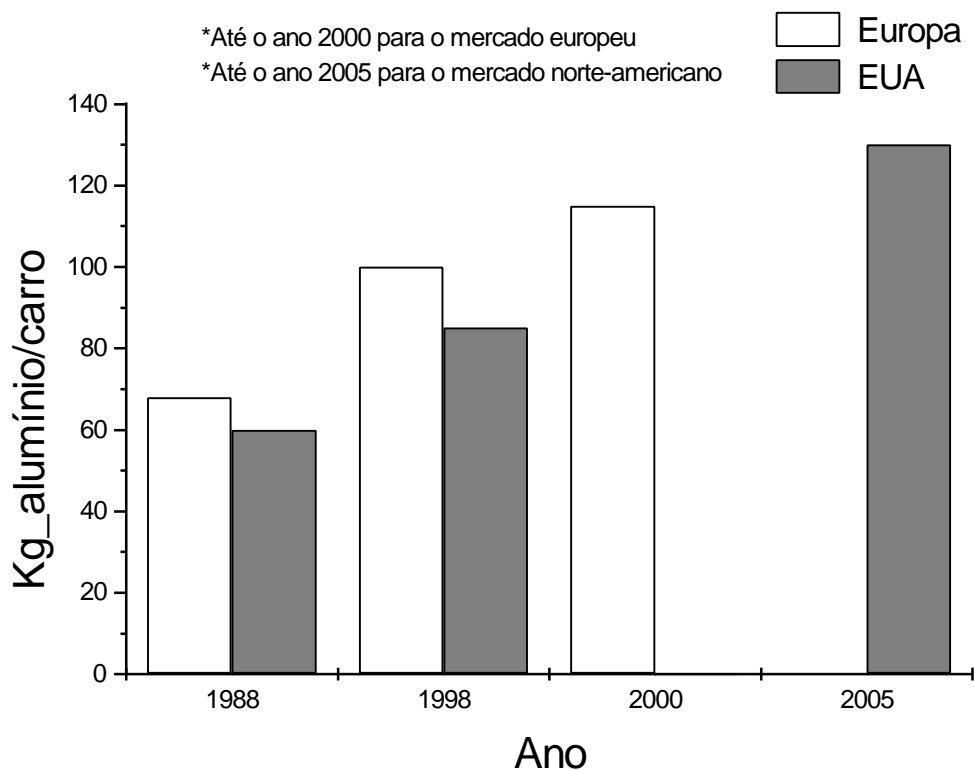


Figura (1) - Quantidade média de Alumínio por carro nos mercados europeus e norte-americanos (Wolfeberger, 1998).

No caso brasileiro, embora o quadro atual seja um pouco recessivo, as expectativas de crescimento para os próximos anos para o setor são bastante animadoras, devido aos novos investimentos das montadoras, neste caso representadas pelas empresas de autopeças, (Bonifácio, 2000). Contudo, o aumento da utilização do alumínio para o setor automobilístico exige esforços no sentido de cumprir as especificações cada vez mais rigorosas por parte das montadoras, o que pode ser feito através de *hardware* (equipamentos/matérias primas), *software* (procedimentos) e *humanware* (ser humano).

Neste esforço para a melhoria, uma das práticas mais comuns às empresas tem sido realizar processos de *benchmarking*. Conforme Spendoloni (1994), entende-se por *benchmarking* um processo contínuo e sistemático para avaliar produtos, serviços e processos de trabalho de organizações que são reconhecidas como representantes das melhores práticas, com a finalidade de melhoria organizacional.

As etapas principais do *benchmarking* envolvem primeiramente uma investigação inicial para descobrir os nomes das empresas que possuem situação destacada em seus ramos de atuação. Essa etapa inicial pode ser realizada através da consulta de especialistas na área e publicações profissionais/especializadas do ramo. Dentro deste contexto, o objetivo deste artigo é facilitar este processo de *benchmarking* das indústrias de fundição de alumínio (fornecedoras da cadeia automotiva), analisando-se comparativamente algumas das principais indústrias do setor, utilizando-se como ferramenta principal o uso da pesquisa qualitativa. Esta pesquisa foi realizada através da elaboração de um questionário estruturado, seguido de entrevistas e observação no trabalho de campo nas empresas em questão.

Com base no levantamento das melhores práticas e principais dificuldades passadas pelas principais empresas deste setor, será proposta uma breve metodologia estabelecendo metas e prazos com o objetivo de alcançar indicadores semelhantes às empresas pesquisadas. Do exposto acima, pesquisou-se três empresas de diferentes estados em regiões de concentração da indústria automobilística, durante o primeiro semestre de 1999. Os critérios para a seleção de tais empresas foram:

- /// Certificação por alguma norma de qualidade;
- /// Empresas com significativa participação em seus respectivos ramos de mercado e com capacitações técnica/gerencial diferenciadas em relação às demais concorrentes;
- /// Inclusão de, pelo menos, uma empresa de capital nacional.

A metodologia utilizada foi à abordagem qualitativa como método de estudos de caso proposta por Yin (1984) e Lazzarini (1995). Com base em um roteiro e questionário devidamente estruturados, seguindo um modelo que contempla os nove pontos que afetam a qualidade propostos por Feigenbaum (1994), (1. mercado, 2. gerenciamento, 3. dinheiro, 4. homens, 5. motivação, 6. materiais, 7. máquinas e mecanização, 8. métodos modernos de informação e 9. exigência na montagem do produto), foram feitas visitas e entrevistas às instalações fabris selecionadas. As análises seguirão um esquema de análise geral para todas as empresas pesquisadas por questões de sigilo.

## 2. Resultados obtidos

A necessidade de se conquistar novos clientes do setor automobilístico, alavancou a introdução dos sistemas normativos, ISO 9000 e QS 9000, em todas as empresas pesquisadas. Para todos os casos o cliente exige que o fornecedor adote sistemas de qualidade sob pena de desqualificar a empresa fornecedora. Neste aspecto, duas empresas demonstraram já possuir o certificado pelas normas ISO 9000 e QS 9000, enquanto uma terceira empresa possui apenas a ISO 9000, muito embora, planeja certificar-se pela QS 9000. Tem-se, portanto, que o quesito sistemas normativos foi peça fundamental em todas as empresas pesquisadas, constituindo-se em base para a implantação de um sistema da Qualidade mais amplo e estruturado. Além do mais, todas as empresas reconhecem os aspectos relativos ao meio ambiente, neste caso a ISO 14000, já esta sendo trabalhada por uma das empresas.

Contudo, a introdução de sistemas normativos não se mostra suficiente para responder as atuais exigências dos mercados. Aumentar a produtividade/qualidade e, ao mesmo tempo, diminuir os custos, é o grande desafio que as empresas procuram solucionar no dia a dia.

Com base nesse panorama inicial, levantou-se quais as principais medidas que foram e estão sendo tomadas, sobretudo, nos aspectos de novas técnicas de organização do trabalho e da produção (*humanware* e *software*). Medidas estas, as mais adequadas para atual realidade, ou seja, não necessitam de grandes dispêndios financeiros, como no caso do *hardware*. Apenas no apoio e engajamento durante todo o processo de mudança pelo seu "patrocinador", neste caso representado pela alta direção da empresa. Numa análise preliminar e resumida foi possível constatar que em geral <sup>1</sup>:

a) Com relação ao uso de indicadores da qualidade/produtividade, principal requisito para se realizar um *benchmarking*, todas as empresas entrevistadas colocam-se numa maneira defensiva, não detalhando quais os indicadores estão sendo utilizados e seus respectivos valores numéricos. Apenas foi possível constatar que estes indicadores são utilizados por todos os setores das empresas (finanças, *marketing*/vendas, assistência técnica, engenharia). Em termos de sistemas produtivos constatou-se que os principais indicadores estão classificados em: produtividade/qualidade, *just in time*, indicadores de recursos humanos e globais.

b) Em geral, as atividades de controle de processo visam, sobretudo, diminuir os altos índices de refugo, peculiares ao processo de fundição. A idéia é controlar a qualidade dentro de cada posto de trabalho, não permitindo que o defeito

<sup>1</sup> Para maiores detalhes consultar Bonifácio (2000) <http://www.fem.unicamp.br/~mareis>.

passe para o processo subsequente<sup>2</sup>. Os dispositivos do tipo *poka-yokê*-antifalha, ou aqueles que realizam a inspeção 100% dentro de um posto de trabalho, ficaram fortemente evidenciados em mais de uma empresa.

c) Da mesma maneira, a estabilidade e capacidade dos processos são controladas através do controle estatístico. A técnica de delineamento de experimentos, poderosa ferramenta estatística de melhoria de processo, não foi evidenciada em nenhuma das empresas analisadas.

Tem-se, portanto, que todas as empresas analisadas possuem espaço para introdução de métodos e sistemas da qualidade no que concerne à análise de indicadores de produtividade.

Todas as empresas demonstraram intenção em manutenção ou implementação de técnicas de *just in time*, porém, em geral, uma das primeiras medidas adotadas para se produzir em *just in time* é a introdução do *layout* celular. Este procedimento facilita o fluxo de processo e a variedade à produção. A dificuldade em se estabelecer esse tipo de *layout* para o processo de fundição é muito grande e foi citada por todos os entrevistados como sendo o principal problema a ser resolvido para se estabelecer um sistema produtivo que seja capaz de se adaptar ao ritmo e demanda ao cliente, o que tem gerado, em alguns casos, em estoques finais e intermediários.

Quanto à redução no tempo de preparação de máquinas/ferramentas (*setup*), embora não tenham sido fornecidos indicadores numéricos a respeito, foi demonstrado que o tempo de *setup*, se comparado a outros setores da indústria automotiva, ainda é muito grande e dificulta que se produza em alta diversificação e pequenos lotes. Portanto, os principais indicadores de *just in time* (giro dos estoques e *lead time*) ainda estão longe dos padrões internacionais de *benchmarking* em todas as empresas pesquisadas.

Tomando como base os estudos de Fleury e Humprey (1994), as principais dificuldades encontradas para a introdução das técnicas japonesas de organização da produção e do trabalho (*kaizen*, TPM, 5 S, CEP, Troca Rápida de Ferramentas, etc), podem ser agrupadas em dois pólos: 1) focado nas técnicas (*software*) e 2) focado nas pessoas (*humanware*).

O *software* (métodos/procedimentos) será melhorado apenas através das pessoas. Portanto, todo o processo de mudança passa primeiro pelo *humanware*, neste caso representado por aspectos comportamentais, o que comprovou na prática a teoria de Campos (1992). Ou seja, as principais dificuldades encontradas na introdução de novas técnicas têm sido a forte resistência à mudança de comportamento por parte dos envolvidos. Neste caso, exige-se investimentos na área de recursos humanos, principalmente em treinamentos internos para a melhoria dos indicadores nesta área (índice de absenteísmo, taxas de rotatividade, número de horas de treinamento, porcentagem de trabalhadores multifuncionais, índice de escolaridade, etc.).

A questão da estabilidade de pessoal é um ponto crucial para iniciar um processo de crescente envolvimento dos funcionários. Todas as empresas reconheceram este fator como necessário, mas não suficiente. Há uma preocupação geral neste sentido, ao se introduzir os conceitos de polivalência/poliocompetência, cujo objetivo é fazer que dentro de uma equipe todos saibam operar as máquinas bem como fazer as inspeções ou pequenas manutenções em todas elas. A respeito deste conceito, apenas uma das empresas demonstrou ter um programa de multifuncionalidade envolvendo todos os funcionários, enquanto nas demais a porcentagem verificada foi menor.

Recorrendo aos estudos apresentados por Spada (1998), em uma fundição norte-americana, o envolvimento da mão-de-obra melhorou consideravelmente, com diminuição dos índices de absenteísmo e rotatividade, quando foi criado um sistema de carreira baseado em categorias multifuncionais, visando, sobretudo, o desenvolvimento de novas habilidades, aliado a promoção de incentivos financeiros à medida em que os níveis multifuncionais vão sendo atingidos.

Diante do exposto, pode-se concluir a respeito dos resultados apresentados, que o caminho seguido pelas empresas tem sido aumentar a produtividade através do *software/humanware*, já que estes não disponibilizam capital em demasia. Porém o grande desafio é o tempo.

Experiências na área comprovam que os resultados esperados exigem um certo período de tempo e leva, na maioria das vezes, ao descrédito e uma acomodação por parte dos envolvidos, acarretando insucesso às tentativas de mudança. Prazos muito curtos (inferiores a seis meses) acabam não sendo suficiente para a completa assimilação das técnicas/ferramentas por parte dos envolvidos. Desta maneira, por não haver um tempo hábil para as correções durante o processo de mudança, as empresas podem tomar decisões precipitadas que comprometam as tentativas de mudanças posteriores. A proposta a ser apresentada corresponde a um tempo de implementação de cerca de seis meses.

### 3. Proposta

A metodologia proposta é uma adaptação do ciclo de melhoria contínua, também conhecido como ciclo PDCA (planejar, fazer, verificar e agir) de Campos (1992). Este ciclo poderá ser utilizado como ferramenta na introdução e melhoria das técnicas para o aumento da produtividade/qualidade

Como sugestão, pode ser escolhida uma área piloto da empresa para a implantação e aplicação das principais técnicas de organização da produção e do trabalho. Na medida em que vão sendo realizados os ajustes necessários e os índices de desempenho (indicadores) estabelecidos vão atingindo as metas previamente fixadas, comprovando a verdadeira eficácia das mudanças efetuadas, gradualmente pode-se transferir a outros setores da empresa, bem como atingir metas mais audaciosas.

<sup>2</sup> Este termo tem sido definidos por alguns autores da área como o conceito de auto-qualidade

Para o caso de pequenas e médias empresas, a maioria quando se refere a este particular ramo de atuação, as oito fases e os respectivos prazos serão detalhados a seguir e representadas na figura (2).

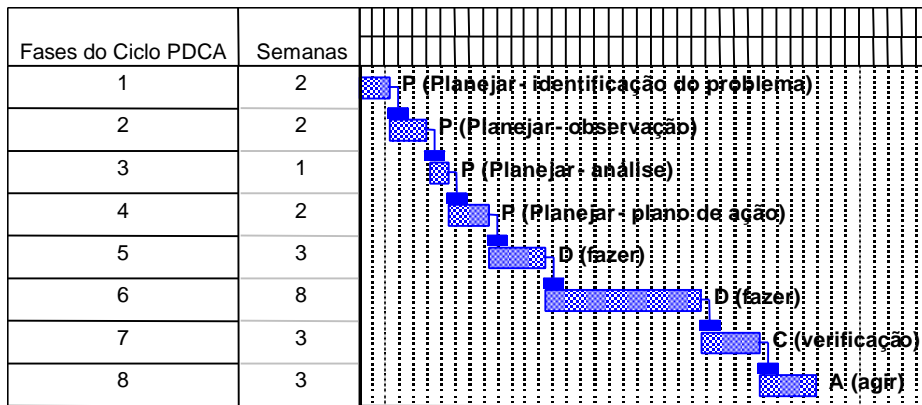


Figura (2) – Cronograma das fases do Ciclo PDCA

Fase 1 : Nesta fase, chamar a atenção às perdas atuais e ganhos viáveis através da elaboração e preenchimento de um questionário específico baseado em:

- /// Normas de qualidade
- /// Gurus da qualidade
- /// Prêmio Nacional da Qualidade

Fase 2 : Observação na fonte dos principais problemas levantados na fase anterior:

- /// Priorização dos problemas
- /// Estimativa inicial de indicadores, metas e cronogramas.

Fase 3 : Apresentação dos resultados colhidos e analisados à direção da empresa. Nesta etapa, sendo definidos os problemas iniciais a serem atacados. Como sugestão das ferramentas a serem implantadas de forma gradual, não necessariamente nesta ordem, sugere-se:

- /// 5 S
- /// Troca rápida de ferramentas
- /// Autoqualidade
- /// Estudo de tempos e métodos
- /// Leiaute celular
- /// Polivalência/policompetência da mão-de-obra
- /// Manutenção produtiva total
- /// Controle estatístico de processo, delineamento de experimentos.

Fase 4 : Elaboração da estratégia de ação através da metodologia 5W1H:

- /// O que será feito?
- /// Quando será feito?
- /// Quem fará?
- /// Por que será feito?
- /// Como será feito?

Fase 5 : Apresentação e treinamento para a aplicação das ferramentas aos envolvidos

- /// Montagem dos grupos de trabalho;
- /// Apresentação da metodologia ao grupo;
- /// Definição de plano de ação indicando a responsabilidade de cada elemento do grupo, prazos de implantação, indicadores e metas a serem alcançadas;

Fase 6 : Implantação no chão-de-fábrica:

- /// Monitoração do cumprimento dos prazos dos cronogramas estabelecidos
- /// Suporte à aplicação das ferramentas

Fase 7 : Comparação dos resultados observados da fase P com os obtidos posteriormente a fase de implantação.

Caso as metas atingidas não forem satisfatórias, voltar a fase 2 para realizar novo giro do PDCA, eliminando os erros cometidos anteriormente. Em caso de resultados positivos, proceder à fase seguinte.

Fase 8 : Estabelecimento do novo procedimento operacional.

- /// Educação, treinamento e informação para garantir que os envolvidos assimilem e ajam de acordo com os novos procedimentos.
- /// Formalização dos novos procedimentos

#### 4. Considerações finais

Em função do pouco aporte de recursos e grande eficiência dos resultados, muitas empresas estão buscando a melhoria de seus indicadores de produtividade/qualidade através de novas técnicas de organização da produção e do trabalho, sobretudo, baseadas das ferramentas/técnicas japonesas de qualidade.

O processo de mudança poderá ser conduzido pelo próprio pessoal da empresa, desde que seja feito de forma sistemática e rigorosa. O sucesso, no entanto, dependerá do comprometimento do agente de mudança (alta direção) no intuito de facilitar que todas as etapas do ciclo PDCA possam ser aplicadas com sucesso e nos prazos devidamente estipulados.

#### 5. Referências

- Bonifácio, M. C. R. Qualidade na indústria brasileira de fundição de alumínio - setor automotivo. Dissertação de mestrado, UNICAMP 2000 (<http://www.fem.unicamp.br/~mareis>)
- Campos, V. F. TQC - Controle da Qualidade Total ( no Estilo Japonês). Belo Horizonte. Fundação Christiano Ottoni. Escola de Engenharia da UFMG. Rio de Janeiro: Bloch, 1992.
- Feigenbaum, A. V. Controle da Qualidade Total. São Paulo: Makron Books.1994.
- Fleury, A ; Humphrey, J . Recursos Humanos e a Difusão e Adaptação de Novos Métodos para a Qualidade no Brasil. Textos para discussão nº 326, IPEA Dezembro 1993
- Lazzarini, B. Estudos de Caso: Aplicabilidade e Limitações para fins de Pesquisa. Economia e Empresa, pp 17-26, São Paulo, 1994.
- MICT . Ministério da Indústria Comércio e Turismo – Panorama Setorial da Indústria Brasileira. Brasília 1997.
- Spada, A T. Strengthen Your Workforce via Cross-Training. Modern Casting, September 1998
- Spendolini, M.J. Benchmarking, São Paulo - 1994
- Wolfensberger, K. Automotive Market: From Semi-Fabricated Products to Components and Complete Systems. European Aluminum Association, Brussels, Belgium, 1997 Documento obtido no site <http://www.eaa.org>.
- Yin, R .Case Study Research: Design and Methods. Newbury Park, Sage publications, 1984.

#### **THE USE OF BENCHMARKING THROUGH THE QUALITATIVE RESEARCH: PROPOSALS OF IMPROVEMENTS FOR THE BRAZILIAN ALUMINIUM FOUNDRY INDUSTRY (AUTOMARKET).**

##### **Mário César Reis Bonifácio**

State University of Campinas, Department of Manufacturing Engineer- Faculty of Mechanical Engineer - PO BOX 6122 Zip Code 13083-970 Campinas/SP - Brasil [mareis@fem.unicamp.br](mailto:mareis@fem.unicamp.br)

##### **Eugênio José Zoqui**

State University of Campinas, Department of Manufacturing Engineer- Faculty of Mechanical Engineer - PO BOX 6122 Zip Code 13083-970 Campinas/SP - Brasil [zoqui@fem.unicamp.br](mailto:zoqui@fem.unicamp.br)

**Resumo.** *The brazilian aluminium foundry industry is increasing its participation in the national and international market, because of the increment of this raw material destined to the automotive sector. One of the most common practices adopted by the companies to improve your organizational and productive efficiency is the benchmarking. The objective of this article is, through the methodology of qualitative research, accomplished in three companies recognized as the best in your sector, to analyze the principal aspects to the Systems of Quality Management. Based in the analyzed results, to propose an implantation methodology, with periods and main tools that will be applied, for small and averages companies of aluminium foundry. The obtained results showed that the quality management has if turned fundamental for the competitiveness of the companies.*

**Key words:** *quality, aluminium foundry, benchmarking*

## ASSEMBLY AUTOMATION ASSISTED BY AN INTELLIGENT COMPUTER SYSTEM

### Luiz A. Gentil Mendes

EMBRAER S/A Av. Brig. Faria Lima 2170, Putim 12227-901 – Mail Stop 005 São José dos Campos – SP Brazil  
luiz.mendes@embraer.com.br

### Luís G. Trabasso

PÇA Mal. Eduardo Gomes, N° 50 Vila das Acácias, 12228-901 – São José dos Campos – SP Brasil  
gonzaga@mec.ita.cta.br

### Cairo L. Nascimento Junior

PÇA Mal. Eduardo Gomes, N° 50 Vila das Acácias, 12228-901 – São José dos Campos – SP Brasil  
cairo@ele.ita.cta.br

*Abstract: Concurrent Engineering allows the design team to analyze a number of alternatives which comply with manufacturing, assembly and quality requirements, among others. An another aspect to be analyzed is the assembly sequence of a product. Two issues can be addressed: (1) what is the best product configuration to a product with regard to assembly sequence? and (2) once the product configuration has been chosen, what is the best assembly sequence for it?*

*This paper presents a computer method used to generate the optimal assembly sequence using a modified Hopfield Neural Network whose energy function, that represents the product assembly cost is minimized regarding the static stability, assembly direction change and assembly tool change. Some case studies are presented.*

**Keywords.** Assembly cost, DFA – Design for Assembly, Neural Networks, Optimization, Concurrent Engineering

### 1. Introduction

When designing a new product or system, engineers naturally tend to think initially about system functionality. As a design activity, Concurrent Engineering allows a design team to explore alternatives, which come about because of its inherent nature. It should not be forgotten that any product development goes beyond functionality and it is the responsibility of the design team to evaluate the product with regard to other aspects such as manufacturing, assembly, quality and so on. An another aspect can be studied within the DFA – Design for Assembly – is the assembly sequence of the product. This paper addresses product assembly and deals mainly with the task of defining the optimal assembly sequence. The first problem to be solved is the definition of the optimal assembly sequence.

Assembly processes play an important role in the manufacture of the majority of industrial products, because they represent on the average 50 percent of (Bedworth, 1991) the total manufacturing cost. The reduction of assembly cost thus implies a significant reduction of the total product cost. The assembly sequence for a given product is usually determined by the intuition and experience of a production engineer. Consequently, the solutions provided using only personal judgment can be far from optimal.

An assembly sequence is considered optimal when it obeys the following conditions:

1. It must satisfy the assembly constraints. (ex: part B must precede part A)
2. It avoids the instability of the in-process assembly. (ex: part C will not disassemble when the sub-assembly is moved around)
3. It minimizes the total assembly cost

Many attempts (De Fazio, 1989) have been made to obtain the optimal assembly sequence, but as the number of the parts increases, the computation burden becomes very large, whenever the exhaustive search is used. However, when the Hopfield neural network is used as an alternative solution to the problem, the computer time is significantly reduced.

The greatest problem when Hopfield neural network is used in order to solve computation optimization problems, is the proper setting of neural parameters A, B and C (see Equation (15)) in order to ensure that network converges to a feasible solution (Hegde, 1988). A new formulation of the energy function is proposed that resolves this problem. Thus, the convergence is very accelerated.

Our initial study has considered to be appropriated for robotic assembly. Then, the assembly cost proposed tends to be more aplicated regarding the movements of the robots. By the way, other issues can be studied and added in the assembly cost such as aerospace assembly, automotive assembly and so on.

## 2. Product Modeling

A product is considered to be appropriated for robotic assembly if it is composed of rigid parts interconnected with each other in orthogonal directions. This paper adopts the modeling method proposed by Cho (1993). An example of an assembly product  $A = (P, L)$  is shown in Fig.1, consisting of 5 parts. The assembly directions are determined with respect to 6 directions:  $x, y, z, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ . The coordinate system associated to this product can be also seen in the Fig. (1).

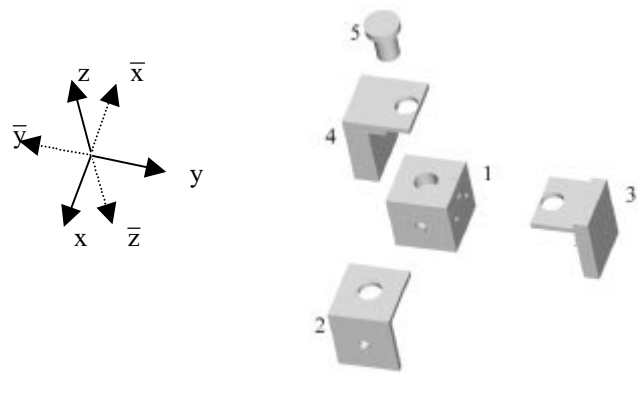


Figure. 1. Exploded view of the subproduct A and its coordinate system.

**P** represents the parts and **L** the liaisons.

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}; L = \{l_{ij} | i, j = 1, 2, \dots, N. j \neq i\}$$

The liaison  $l_{ij}$  represents the connection between  $p_i$  and  $p_j$ . The modeling of a liaison is expressed by Eq. (1):

$$l_{ij} = (p_i, C_{ij}, F_{ij}, p_j) \quad (1)$$

$$\text{where } C_{ij} = \begin{pmatrix} c_x & c_y & c_z \\ c_x^- & c_y^- & c_z^- \end{pmatrix} F_{ij} = \begin{pmatrix} f_x & f_y & f_z \\ f_x^- & f_y^- & f_z^- \end{pmatrix}$$

$C_{ij}$  represent the contact type connection matrix and  $F_{ij}$  is the fit type connection. The elements of  $C_{ij}$  can be classified into real contact ( $r_c$ ) and virtual contact ( $v_c$ ). The elements of  $F_{ij}$  can be classified into real fit and virtual fit. The real fit is a fit connection in which a part (peg) is supported by its counterpart (hole) whereas in the virtual fit, the peg cannot be supported by its hole due to the absence of the contact real. In the fit type connection matrix, the following connections can be found: rf (round fit), pf (polygonal fit) mp (multi-peg fit), sw (screwing), ri (riveting), among others.

Thus, the liaisons of the product **A** are expressed by:

$$l_{21} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ r_c & 0 & r_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ r_f & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$l_{13} = \begin{pmatrix} 0 & r_c & v_c \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & mp & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\vdots$$

$$l_{45} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & v_c \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & r_f \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$l_{25} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & v_c \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & r_f \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



### 3. Determination of assembly cost

The assembly cost regarding an assembly sequence is calculated as proposed by Cho (1993). Its value is determined concerning four criterions.

1. Assembly constraints
2. Stability of in-process assembly
3. Assembly direction change
4. Assembly tool change

The assembly cost is given by the Eq. (2):

$$J_{xi} = \begin{cases} 1 & \text{:if the } SEQ_{xi} \text{ does not satisfy the assembly constraints} \\ w_s C_{as} + w_d C_{nd} + w_t C_{nt} & \text{:otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

where:

- $SEQ_{xi}$ : The associate assembly sequence obtained when the part  $p_x$  is assembled at the step  $i$ . The associate sequence can be given as:

$$SEQ_{xi} = \{p_{a_1} p_{a_2} \dots p_{a_i}\} \text{ with } p_{a_i} = p_x$$

- $w_s, w_d$  and  $w_t$  are weighing factors determined by type of assembly and  $w_s + w_d + w_t = 1$ . They determine the degree of importance regarding assembly instability, assembly direction change and assembly tool change, respectively.
- $C_{as}$  : The assembly cost associated with stability of in-process assembly. Its expression can be given by Eq. (3)

$$C_{as} = \frac{1}{12i} \sum_{j=1}^i S(BA_j) \quad 0 \leq S(BA_j) \leq 12 \quad (3)$$

where  $S(BA_j)$  represents the degree of instability of each subassembly  $BA_j$  at the  $j$ th assembly step. The instability is determined based on the number of the translational and rotational degrees of freedom. The detailed of finding  $S(BA_j)$  is referred to Cho (1993).

- $C_{nd}$  : The assembly cost associated with assembly direction change. Its expression can be given by Eq. (4)

$$C_{nd} = \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i g_j \text{ with } g_j \begin{cases} 1 & \text{:if the assembly orthogonal direction was changed.} \\ 0.5 & \text{:if changed only the assembly direction.} \\ 0 & \text{: Nothing these cases.} \end{cases} \quad (4)$$

- $C_{nt}$  : The assembly cost associated with assembly tool change. Its expression can be given by Eq. (5)

$$C_{nt} = \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i h_j \text{ with } h_j \begin{cases} 1 & \text{:if the assembly tool was changed.} \\ 0 & \text{:otherwise.} \end{cases} \quad (5)$$

The assembly constraints are determined by the method developed by Fazio and Whitney (1989) which requires 2L questions to be answered in precedence logical form with L liaisons. More details can be found in Gentil (2000).

#### 4. Neural Computation for Solving Optimization Problems

In the field of combinatorial optimization, the Goal State is to find optimal values that minimize the energy function. Thus, to find optimal or near-optimal assembly sequence is a combinatorial optimization problem. Hopfield neural network has been applied to solve the TSP problem (Hopfield, 1985), which is similar to the problem to generate the optimal assembly sequence. A great difficulty is, however, to choose correct parameters of the network.

##### 4.1. Neural Network Model

The network model is composed of  $N^2$  neurons, in an  $N$  by  $N$  matrix, where  $N$  is the number of parts. The row index  $x$  represents the part  $p_x$  and the column  $i$ , the assembly step. Each neuron has an output value ( $V_{xi}$ ) between 0 and 1 as can be seen in the Equation (7). The network model of a product of 4 parts is shown in the Fig. 2.

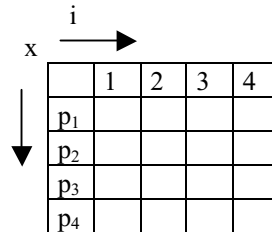


Figure. 2. Network model for a product.

The dynamic equation and the activation function of the neural network are defined by:

$$\frac{d \text{net}_{xi}}{dt} = - \frac{\partial E}{\partial V_{xi}} \tag{6}$$

$$V_{xi} = g(\text{net}_{xi}) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda \text{net}_{xi}}} \tag{7}$$

where  $\text{net}_{xi}$  represents total input of the neuron  $xi$ . Equation (6) represents the rate change of  $\text{net}_{xi}$ .  $E$  is energy function.  $V_{xi}$  represents the output neuron given by the sigmoid function (7).  $\lambda$  represents the gain of shape of the curve. At very high gains, this curve tends to a step function. The energy function and dynamic equation are given by:

$$E = E_{SEQ} + \int_0^{V_{xi}} g^{-1}(v) dv \tag{8}$$

$$\frac{d \text{net}_{xi}}{dt} = - \frac{\partial E_{SEQ}}{\partial V_{xi}} - \text{net}_{xi} \tag{9}$$

Differentiating Eq. (8) with respect to  $V_{xi}$  results:

$$\frac{\partial E}{\partial V_{xi}} = \frac{\partial E_{SEQ}}{\partial V_{xi}} + \text{net}_{xi} \tag{10}$$

Using the chain rule, the time derivatives of  $V_{xi}$  and  $E$  are:

$$\frac{dV_{xi}}{dt} = \frac{dV_{xi}}{d \text{net}_{xi}} \frac{d \text{net}_{xi}}{dt} \tag{11}$$

$$\frac{dE}{dt} = \sum_{x=1}^N \sum_{i=1}^N \frac{dV_{xi}}{dt} \frac{\partial E}{\partial V_{xi}} \tag{12}$$

Substituting Eqs. (9), (10) and (11) in (12), yields:

$$\frac{dE}{dt} = \sum_{x=1}^N \sum_{i=1}^N \frac{dV_{xi}}{dnet_{xi}} \frac{dnet_{xi}}{dt} \left[ \frac{\partial E_{SEQ}}{\partial V_{xi}} + net_{xi} \right] = \frac{dV_{xi}}{dnet_{xi}} \frac{dnet_{xi}}{dt} \left[ - \frac{d net_{xi}}{dt} \right]$$

$$\frac{dE}{dt} = - \frac{dV_{xi}}{dnet_{xi}} \left[ \frac{d net_{xi}}{dt} \right]^2$$
(13)

It is known that the  $g(net_{xi})$  is a monotonically increasing function over  $net_{xi}$ . Thus,  $dV_{xi}/dnet_{xi}$  is always nonnegative as well as  $[dnet_{xi}/dt]^2$ . Then, the time derivative of E is always zero or negative. The Equation (13) shows that the network will evolve until converging to a lower energy state.

#### 4.2. Associated Energy Function

The energy function of the network is given by Equation (8) and the energy function associated with the assembly sequence must be constructed to satisfy the following criteria:

- It must favor sequences that have each part only once in order to minimize energy.
- It must favor sequences that have each position only once in order to minimize energy.
- It must favor sequences that have all  $N$  parts.
- It must minimize the assembly cost.

Thus, the associated energy function for assembly problems can be written as in the Eq. (14) All details such as its demonstration can be found in Gentil, 2000.

$$E_{SEQ} = A \sum_{x=1}^N \sum_{i=1}^N V_{xi} \left[ \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N V_{xj} \right) - k \right] + A \sum_{x=1}^N \sum_{i=1}^N V_{xi} \left[ \left( \sum_{\substack{y=1 \\ y \neq x}}^N V_{yi} \right) - k \right] + B \sum_{x=1}^N \sum_{i=1}^N J_{xi} V_{xi}$$
(14)

The first and second term of energy function ensure that the three first criteria will be satisfied. The new formulation substitutes the Equation (15) proposed by Hopfield, in order to guarantee feasible solutions. To that, the value of factor  $k$  has to be calculated.

$$E_{RES} = A \sum_{x=1}^N \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N V_{xi} V_{xj} + B \sum_{x=1}^N \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{y=1 \\ y \neq x}}^N V_{xi} V_{yi} + C \left( \sum_{x=1}^N \sum_{i=1}^N V_{xi} - n \right)^2$$
(15)

#### 4.3. Calculation of the factor k interval

Suppose that the neural network reaches a convergence state, not necessarily a suitable state: the output values of all neurons will not change to other state. It can be assumed that one, two or  $n$  neurons are at the state ON ( $V=1$ ) in all row and column.

Considerations:

$V_{xi}$ : the output of the neuron  $xi$  ( $V_{xi} = 0$  or  $1$ ).

$N$ : number of neurons each row.

$n_1$ : number of neurons in each row where  $V_{xi} = 1$ .

For simplicity purpose, this calculation considers just regular states of network neural. There are  $n_1$  neurons at the state ON and  $N$  neurons in each row. Thus, the first term of the Equation (14) can be written as:

$$E' = Nn_1(n_1 - 1 - k)$$
(16)

It should be observed that  $n_1$  can be only nonnegative integer values. Table 1 presents the variation of  $n_1$  and the corresponding values of  $E'/N$ :

Table 1. Variation of E'/N versus n<sub>1</sub>

n <sub>1</sub>	0	1	2	3
E'/N	0	-k	2(1-k)	3(2-k)

The only suitable state is reached when n<sub>1</sub> = 1 and the energy is minimal. So, the following equations can be written:

$$E'/N(n_1 = 1) < E'/N(n_1 = 0) \text{ and } E'/N(n_1 = 1) < E'/N(n_1 = 2) \tag{17}$$

Analyzing equation (17) and Table 1, the possible values for the factor **k** can be found to be:

$$0 < k < 2 \tag{18}$$

This complete demonstration with all the details of the Eq. (18) can be found in Gentil, 2001

**Evolution Equation of the Neural Network**

The dynamic equation of the neural network is obtained by differentiating E<sub>SEQ</sub> (Eq.(14)) with respect to V<sub>xi</sub> :

$$\frac{dnet_{xi}}{dt} = -net_{xi} - A \left\{ \left[ \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N V_{xj} \right) - 0.5 \right] + \left[ \left( \sum_{\substack{y=1 \\ y \neq x}}^N V_{yi} \right) - 0.5 \right] \right\} - BJ_{xi} \tag{19}$$

Next, it is shown (Cho and Hong, 1993) how to determine the associated assembly sequence (SEQ<sub>xi</sub>) for the neuron V<sub>xi</sub>. The SEQ<sub>xi</sub> is expressed by:

$$SEQ_{xi} = \{ p_{\acute{a}_1} \ p_{\acute{a}_2} \ \dots \ p_{a_i} \} \text{ with } p_{a_i} = p_x$$

**Step 1.** The last part p<sub>α<sub>i</sub></sub> is given by p<sub>x</sub> .

**Step2.** In the first column of the neural network, the first part p<sub>á<sub>1</sub></sub> is determined by the neuron that has the maximal output, excluding the values of row x.

**Step3.** The second part is associated with the neuron whose output value is the higher than the others, excluding row x and the row the second part belongs to the first part

**Step4.** This procedure is repeated for all the remaining parts to be assembled.

**5. Simulations and results**

The network neurons were initiated with equal values added by noise so that the sum of all the neurons output is close to **n**. The Euler’s method was used to solve the dynamic equation. In order to avoid undesirable local minimal, the gain of the output function of all the neurons is set to be variable. This value increase slowly up to a maximum, allowing that the solution stay close to optimum (Shackleford, 1989). All neuron outputs are updated at the same time.

In order to show the efficiency of the neural network, the ISAA was used to find the optimal or near-optimal assembly sequence of two products, an electrical relay and an idealized product as depicted in Fig. 3 and Fig. 4, respectively.

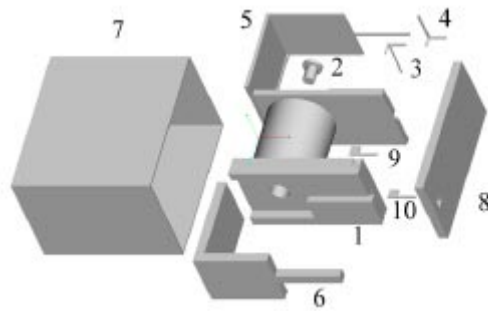


Figure 3. Exploded view of the electrical relay.

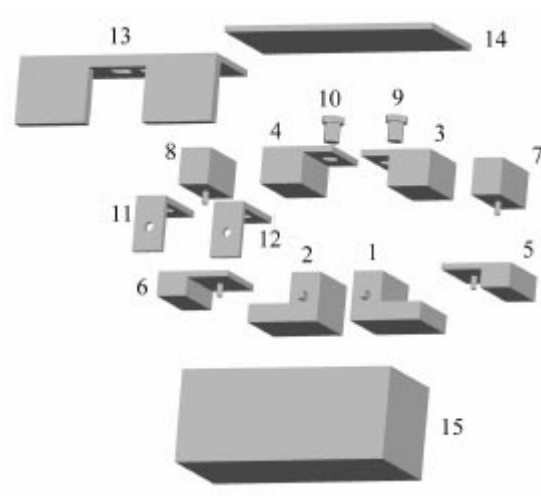


Figure 4. Exploded view of the idealized product.

The liaison data of the electrical relay can be found in Cho (1993) and that of the idealized product in Gentil (2000). The parameter **B** is fixed and the value of parameter **A** is set by observing the convergence tendency of the network. The parameters of the network for the two examples are presented in the Table 2. The adopted weighing values were  $w_s = w_d = w_i = 0.33$ . The integration step used was 0.0005 for both problems. The results can be found in the Fig. 5 and Fig. 6. It should be noted that the convergence is very accelerated. The first product takes about 4 minutes of computer processing time and the idealized product, 30 minutes.

Table 2. The Simulation Conditions

Product	Parameters				
	A	B	$\lambda$	k	Trial
Relay	600	1000	50	0.5	100
Idealized	400	1000	50	0.6	50

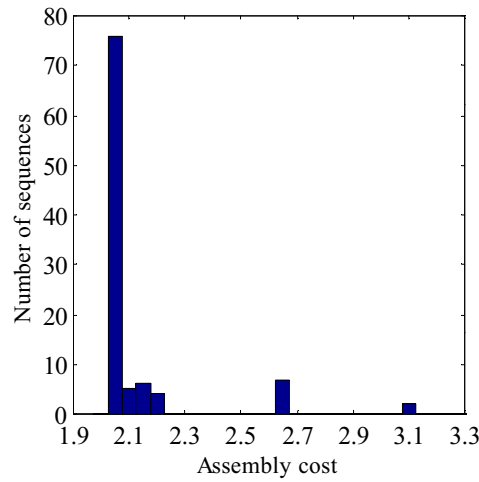


Figure. 5 Results histogram of the electrical relay.

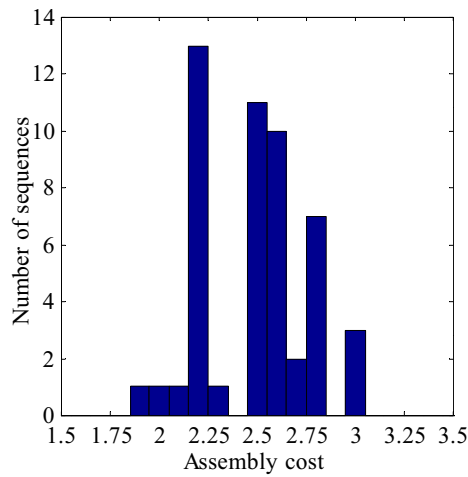


Fig. 6 Results histogram of the idealized product.

Using the method of the Exhaustive Search for the electrical relay assembly, there were determined 60 feasible assembly sequences, considering that part 6 was the only possible part to start the process. As the number of assembly sequence is not big, the computer processing time is low (11.9663 minutes). On the other hand, for the idealized product that has 15 parts, less assembly constraints and two parts that could start the assembly process, the computer processing time was rather excessive (about 120 days), because this product has many feasible assembly sequences. The overall results obtained by the Exhaustive Search are gathered in the Table 3. The optimal assembly sequences are shown in Table 4.

Table 3. Results of the exhaustive search

Product	Time	Sequences	Minimal cost
Relay	11,9663"	60	2.030
Idealized	+ 120 days	111.804	1.780

Table 4. Optimal assembly sequences

Product	Optimal assembly sequence
Relay	6 1 2 3 10 9 5 4 7 8
	6 1 2 3 9 10 5 4 7 8
Idealized	2 6 8 4 1 5 7 3 11 12 9 10 13 14 15
	2 6 8 4 1 5 7 3 11 12 10 9 13 14 15
	1 5 7 3 2 6 8 4 12 11 10 9 13 14 15
	1 5 7 3 2 6 8 4 11 12 10 9 13 14 15

**6. Conclusions**

In order to increase the productivity and reduce costs of a company, it is important to generate optimal or near-optimal product assembly sequences. This paper has shown an approach for achieving this.

The Exhaustive Search method is efficient for the electrical relay, since this product does not present many possible assembly sequences. The modified Hopfield neural network presents good results for this problem too. A single simulation took around 4 minutes of computer time and there is a high probability (90%) to generate the optimal or near-optimal assembly sequence. When a product does not have many assembly constraints and it is possible to start the assembly with more than one part (ex. the idealized product), the number of the assembly sequence is very big. Then, the computer processing time increases a lot for the Exhaustive Search method. Consequently, the modified Hopfield neural network is far more efficient. A single simulation of the idealized product took around 30 minutes with 40% of probability to find the optimal or near-optimal assembly sequence. The Exhaustive Search would need about 120 days in order to determine the optimal assembly sequence.

The assembly sequence can be used as an another functionality within the Design for Assembly to study what is the best product configuration regarding the optimul or near-optimul assembly sequence. In this case, can be proposed other criterions besides the static stability, assembly direction change and assembly tool change.

The results using the modified Hopfield neural network have shown that the optimal or near-optimal assembly sequence can be obtained. This happens when the network energy reaches a local minimum. The original formulation of the energy function proposed has resulted in faster convergence during the evolution of the neural network.

Considering the robotic assembly, this paper opens up an important venue to raise the intelligence level of robot programming languages from the object to task level. At the task level, a typical robot program line would be: *Assemble Product X.*

**7. References**

Bedworth, D. D., Henderson, M. R. and Wolfe, P. M. (1991). Computer-Integrated Design and Manufacturing, McGraw-Hill, USA.

Chen, C. L. Philip (1990). Neural computation for planning AND/OR precedence-constraint robot assembly sequences. Proceedings International Conference Neural Network, 1: 127-142.

Cho, D. Y., Shin, C. S. and Cho, H. S. (1993). Automatic inference on stable robotic assembly sequences based upon the evaluation of base assembly motion instability, Robotica, 11: 351-362.

De Fazio T. L. and Whitney D. E. (1987). Simplified generation of all mechanical assembly sequences, Proceedings of the IEEE Journal of Robotics and Automation, 3(6): 640-658.

Gentil, L. A. M. (2000). Sistema Inteligente para Determinação de Seqüências de Montagem Automatizada. MSC. dissertation, Technological Institute of Aeronautics. Brazil.

Hegde, S. U., Sweet, J. L. and Levy, W. B. (1988). Determination of Parameters in a Hopfield/Tank Computational on Neural Network, Proceeding of the IEEE International Conference on Neural Networks, 2:291-298.

Hong, D. S. and Cho, H. S. (1993). Optimization of robotic assembly sequences using neural network, Proceedings of the 1993 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, July 26-30.

Shackleford, J. B. (1989). Neural data structures: programming with neurons, Hewlett-Packard Journal, 69-78.

Hopfield, J. J. and Tank, D. W. (1985). Neural Computation of Decisions in Optimization Problems, Biological Cybernetics, 52:141-152.

## A DESIGN MAKING DECISION THROUGH A FRACTAL STRUCTURE

**David Omar Nuñez Diban**

Design Department, CEART, University of the State of Santa Catarina – UDESC  
Av. Madre Benvenuta 1907 - Itacorubi, CEP 88035-001, Florianópolis – SC, Brazil  
omar@udesc.br

**Abstract.** *The design of a new product or redesign of an old one, passes through continuous innovations, maintaining as a base a classic configuration, of more than 20 years. This consideration means that there are some elements that were created focusing past needs and then conditioned to the new ones.*

*Present research proposes a new alternative to the product design methodology, considering some fractal's components. These components has as finality support the information obtained in the beginning and that generated through the research, simplifying it's use and management through making a decision of a proper alternative for the development problem. In front of some difficulties, the consequence of complex situations, some methods are efficient like QFD, otherwise are some critical subjective components with designer origins.*

*The Fractals, justified by natural architecture and phenomena, appears as a new way of information and knowledge structure possibility for human factor and its position in front of a new problem challenge. Some intrinsic internal dynamic considerations means that could exist a dynamic chaotic system, like some external and environment agents that could affect the servo-system, compound by different subsystems through development.*

**Key-word.** *Industrial Design, methodology, fractal.*

### 1. Introduction – beginning with chaos

Some times when we hear a word “chaos” we think that we are talking about a big problem, however this is not always so. At this moment exist many approaches in different scientific areas that shows natural exposure to chaotic influences. So, researchers of chaotic systems are appearing to understand this phenomena, but why? Simply, chaotic systems are present everywhere in so many different ways, principally in the interactive functions of natural systems or those that work closer.

With this simplified approach it is important to comprehend of what is meant as chaos. Chaos, or a chaotic system, is defined as the presence of many facts, functions, conditions of a particular system at the same time, generating some turbulence, in other words overlapping events of the same entity.

Considering a part of this enormous universe of environment systems, our attention is centered on the servo-system because its composition plenty of heterogeneous components. The reason for this option try to attend some of the common situations the are confronted on a product design process. Overall the process of designing, many environment influences exist that constantly affect the procedure. So we could not forget the implementation of the elements that would help the system procedures to reach there main objective.

The whole product design process includes, beyond the material resources like the industry infrastructure, and technology, elements that escapes the direct control situation. These “undisciplined” components, defined like this because of its impulsive and a non behavioral predictability, include moreover, the environment conditions and strictly the human behavior. Then, if we forget these elements our process would have an overall process without conditions and control adjustment that the result could not be reached. This characterizes our product design process as a servo-system.

### 2. Fractal as a new approach

One of the most successful tools for a high quality representation of a chaotic system is the fractal approach, this supplies a simplified point of view for its understanding. Then, proper application of this concept could optimize the understanding of the design process. Besides the fractal conception, are pointed out the characteristic that define the fractal as an entity plenty of news for the design field.

When the term “Fractal” was created by Mandelbrot, the idea was a word that represents for any instance the idea of fraction and it implications. So, the space between this concept and our way of solving design problems could be linked by the implementation of a fractal approach, beginning by the idea of problem subdivision in subproblems. Before this dissertation is important to define the fractal elements that could aid the construction of this research, emphasizing that this paper presents part of the design process that is included in a bigger research proposed by the author.

Fractal is an entity that is composed of components with the same form or structure of the mains structure however in different scale and within fragmented boundaries (Mandelbrot, 1983). likewise, Barnsley (1988) complements the idea defining two characteristics shared in the fractal entity: autosimilarity and fractional dimension. Finally, fractal could be understand as a way of looking at infinity generated from a specific and repeatable well defined set of rules, easily repeated (GLEICK, 1990).



From the point of view of design, the fractal behavior is present everywhere by a non explicitly way, acting at different stages of the process, as was appointed by Diban *et al* (1999). One example of this non detected approach appears on the methodology defined by Ch. Alexander (*apud* BÜRDEK, 1994) with his “patterns”. Then if we are acting inside natural conditions all the time, consequently, a “tool” such as fractal could aid the design improvements of servo-systems.

### 3. When a design gets closer to the edge

From a general view of the total product design process there are many items that have been considered to reach an adequate result. The projection and execution of designs at all times and stages of decisions occurs always, each time more and more complex with a constant increase of new concepts, ideas and improvements. So these limited stages are understood as a stage when the design gets closer to the edge that would define the next stage, a point of extreme importance before the making of a decision is assumed by the designer.

As mentioned before, this research is not to present the whole process from a fractal horizon just to focus on the stages where a decision needs to be implemented. So, the main objective is on the search for a simplified way of manipulation and treatment of the information conducive to achieving a satisfactory result.

Supporting the conception of a chaotic approach on product design we could define two stages, which at the same time, would help us to understand the whole process for a next definition, and the way this proposal of fractal intervention will work.

When the product design process is initiated the main goal is the convergence to one ideal solution. Considering that this process is a dynamic one influenced by external factors of the environment, it could be defined as a deterministic chaotic system, because some control conditions are needed. Likewise, a second stage of transformation is required to supply as many alternatives, as possible, generated on the previous step. Within the analysis of this stage, there could be detected a divergent process without limits like the infinitive fractal activity. This divergent process would define a non deterministic system. Concluding with these two approaches with a clearance appears of a chaotic presence, aids the implementation of a fractal concept, especially on the second stage, when the non deterministic process does not define a posture and where the designer would be lost without the support of a design methodology.

The design making decision behavior has a subjective value linked to every result and could depend on external influences far from the designer’s control. Considering this performance, Iida (1990) propose two ways to deal with this problem. The first one called “*factorial analysis*”, this works with the characteristics of a situation and defines two elements for each one: value and weight. The problem of this technique is that the designer’s mind could not store all the characteristics and at the same make a good decision, considering just the more “*important characteristic*” as a parameter of comparison and choose. The second way is called “*decision under uncertainty*”, the same as the first one it uses two elements to ponder its choice foretell future events. The value and probability compounds this option and links the decision to a complex evaluation considering contextual elements as a bigger system.

The possibility of mixing the two positions, presented above, implicates a complex process that needs a good data base and an improved designer’s short temporal memory, considerations that are not always achievable because it depends strictly on a healthy state of mind. From this and other considerations this paper proposed the idea of building a way that could help lead the designer in making decision when the conditions are not favorable and reach a healthy state.

The proposal of a making decision based on a fractal structure begins on a fractal pattern of the product design situation as presented by Diban *et al* (2000). Some components at the input stage, problematic and objective definitions are contemplated creating the most interest for this present paper is that stage that begins after the definition of the “*fractal family*” (DIBAN, 2000). This stage creates the conditions to identify and define two basic component that would be important to implements at this moment. When the *fractal family* is defined it has as main product the definition of common characteristics and components of the system under analysis. With these simplifications of the design problems, were created the conditions to easily reach the solutions without to much external intervention.

When the designer tries to solve a design situation the influence of the subjectivity affects the process, so the present proposal tries to exchange part of the subjectivity by an objectivity, with the implementation of a simple way of generating solutions supplying less elements for making a decision.

After the implementation of the *fractal family* two elements are conformed: **Initiator - I** and **generator - G**. The *initiator* is defined as part of the system, a component remaining throughout the problem as a common factor that incorporates the “*soul*” of the situation, this means that it has a similar identity with the whole situation. The *initiator* being a fraction of the total, is represented on a different scale although there is autosimilarity, similar and not equal. The *generator* is defined as a characteristic, concept or condition common for many parts of the whole system. This element could be totally abstract as different of the *initiator* who is more closer to reality.

With these two elements defined, the next step is the implementation of the possible solutions by an interaction between both of them. First of all the interaction begins with one **I** and one **G** in combination, this means that the characteristic represented by **G** is applied over the component defined by the **I**. This will define the basis for the next interactions application, defined by a new element **G'** that could be considered as a first primitive solution **S<sub>1</sub>**, represented by the Eq. (1). The interactive process is stopped when the designer considers the result appropriated for his interest or of the design situation under development. The interaction is developed by a matrix under a circular arranged construction incorporating a divergent process.

$$S_i = (I + G) \times G \tag{1}$$

An important consideration is located on the interactive process between those elements  $G$  and  $I$ , both are not unique in the process, there appear more ( $G_1, G_2, \dots, G_n, I_1, I_2, I_3, \dots, I_j$ ), depending on the level of complexity and size of the design situation. So, the implementation of these variants could present a  $G_i$  mixed with three different  $I_j$ . The execution of this process, as said, determines a result or results based on a generic application of the Eq. (1) represented by the Eq.(2).

$$S_i = I G_i + G^{I+i} \text{ \{for all integer } i \in [0, n] \} } \tag{2}$$

In the Eq. (2)  $i$  will reflect the number of interactions (represented by the value  $n$ ) defined by the designer or design situation.

When the process of the application of the Eq. (2) is finished the designer is in a position to make a decision overall on the situation with a more objective basis, discarding any large subjective interference Fig. (1). The proposal does not give a reduction of possible solutions, this would be a big mistake, it just only gives a way of rational implementation as a glass box method instead of that uncertain black box method where is known only the information's input and output.

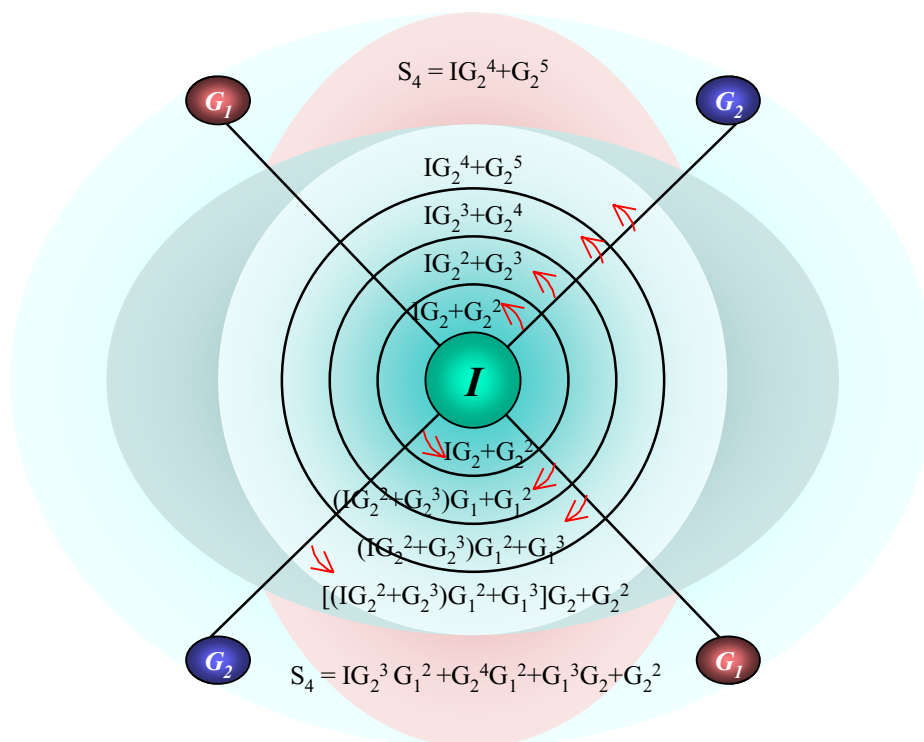


Figure 1. Circular matrix interaction with the Eq. (2).

The Eq. (2) could be applied at every stage in any design make decision, just needing a proper definition of its components and avoiding if possible the human behavior influences in its implementation and results. These results are based on logic and deterministic arguments with the consequent generation of non deterministic options with the possibility to attain a high level of complexity in all situations.

**4. Final considerations – to another stage**

The main goal of the research was to incorporate the fractal characteristics, as part of a chaotic system, to the field of industrial design methodology. The result will be adequate for the design situations under development, dependent just of the fine definition of the elements  $G$  and  $I$ .

Future works includes some considerations like a intervention of more than one designer, this means implementation of a workstation that contemplates the interaction of the human factor beyond the mentioned interaction between the fractal elements. Finally, the environment behaviors are not considered directly because the research tries to eliminate this intervention represented by the human factor, but more expansive environmental elements could possibly be to adapted by a scalar modification.

## 5. References

- Barnsley, M.F., 1988, "Fractal everywhere", Academic Press Inc., London.
- Bürdek, B.E., 1994, "Historia, teoría y práctica del diseño industrial", Ed. Gustavo Gili, Barcelona.
- Diban, D.O.N., 2000, "Uma proposta de modelagem fractal de design de produto", Master dissertation, Postgraduate Program of Production Engineering, UFSC, Florianópolis-SC, Brazil.
- Diban, D.O.N., Gontijo, L.A., 1999, "Visão caótica e fractal no projeto de produto", Revista Tecnológica of the State University of Maringá, N<sup>o</sup> 8 October, Maringá-PR, Brazil.
- Diban, D.O.N., Gontijo, L.A., 2000, "O projeto de produto fractal", Proceedings of the 4<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design – P&D Design 2000, Novo Hamburgo-RS, Brazil.
- Gleick, J., 1987, "Caos, a criação de uma nova ciência", Editora Campus Ltd., Rio de Janeiro-RJ, Brazil.
- Iida, I., 1990, "Ergonomia, projeto e produção", Edgard Blücher Ltda., São Paulo-SP, Brazil.
- Mandelbrot, B., 1983, "The fractal geometry of nature", W.H. Freeman and Company, New York.

## ENGINEER QUALIFYING PROGRAM INCLUDED IN EMBRAER PRODUCT DEVELOPMENT CYCLE

### Luciane Hitomi Yasuda

EMBRAER – Av Brigadeiro Faria Lima, 2170 PC 061 RTD – CEP 12270-901 – São José dos Campos  
 luciane.hitomi@embraer.com.br

### Paulo Lourenção

EMBRAER – Av Brigadeiro Faria Lima, 2170 PC 061 RTD – CEP 12270-901 – São José dos Campos  
 paulo.lourencao@embraer.com.br

### Resumo

*O Programa de Capacitação (PC) para engenheiros foi criado pela Diretoria Técnica de Engenharia (DTE) e a área de Educação, Treinamento e Desenvolvimento para promover o conhecimento em todo o ciclo de desenvolvimento das aeronaves Embraer, não só em aspectos técnicos como também de relacionamento com as principais áreas da empresa que lidam com o produto e com o cliente. Este programa objetiva integrar o engenheiro recém contratado minimizando o impacto da falta de conhecimento dos principais aspectos ligados ao desenvolvimento do produto em suas tarefas iniciais. Além disso, visa fornecer uma formação básica de engenharia aeronáutica e visão do negócio, favorecendo o acesso e a disseminação de novas tecnologias com utilização direta no trabalho. O programa apresenta a seguinte estrutura: a) Integração do engenheiro; b) Ciclo Básico, que proporciona ao funcionário de 0 a 2 anos de casa uma formação em Engenharia Aeronáutica, Sistemas de Aeronaves, Homologação, Suporte ao Cliente, Processos Produtivos e o próprio Desenvolvimento Integrado do Produto (DIP); c) Ciclo Profissional, composto de treinamentos direcionados a atividades de engenheiros mais experientes. São apresentados neste trabalho resultados do ano de 2000: dos 930 engenheiros da área, 440 participaram da Integração e do Ciclo Básico e 120 do Ciclo Profissional. Este programa foi o precursor do PEE (Programa de Especialização em Engenharia), que está sendo realizado para 165 Engenheiros contratados em 2001 e que se dedicarão integralmente ao programa durante 18 meses para posterior ingresso na Diretoria de Engenharia.*

**Key words:** Programa de Capacitação (PC), Desenvolvimento Integrado de Produto (DIP), Educação, Treinamento & Desenvolvimento (ET&D), Universidade Corporativa (UC)

## 1. Introdução

### 1.1. Cenário

Durante muito tempo a aeronave era entendida como a definição do próprio produto, posicionada como foco exclusivo dos esforços de desenvolvimento por parte dos engenheiros. Nos atuais programas EMBRAER a aeronave é entendida como o objeto central do desenvolvimento que engloba a seu redor todos os objetos também necessários à definição do produto final. Este desenvolvimento ocorre segundo a metodologia DIP, que envolve o conjunto de atividades estruturadas de forma a promover o desenvolvimento do produto de modo integrado e o gerenciamento das tarefas ao longo de todo o seu ciclo de vida. Com isso, a empresa aprimora a capacidade de colocar novos produtos no mercado num ritmo acelerado, com melhor qualidade e menos custo. O DIP considera os vários requisitos do produto que definem seus aspectos de marketing e vendas, ordens de fabricação e de compra, documentação referente à qualidade na manufatura, certificação aeronáutica e suporte técnico aos clientes.

### 1.2. Objetivo

Este trabalho visa apresentar os aspectos básicos do Programa de Capacitação de Novos Engenheiros contratados para a Diretoria Técnica da Embraer. É incluída uma breve descrição de conteúdo e são analisados alguns resultados de avaliação do programa já obtidos.

## 2. Motivação

A Embraer tem uma projeção de crescimento para os próximos anos, sob o ponto de vista de vários aspectos. A Fig. (1) indica este crescimento em termos de investimentos sob várias rubricas: desenvolvimento de novos produtos, melhoria da infra-estrutura, pesquisa e desenvolvimento estratégico, etc. A Tab. (1) indica o plano de entregas de aeronaves por tipo de Mercado pela Embraer de 2000 a 2004.

Tabela 1 - Plano de entrega de aeronaves (fonte: Embraer)

Mercado	2001	2002	2003	2004
Comercial	188	202	173	172
Corporativo	9	18	24	26
Defesa	6	20	54	96
<b>TOTAL</b>	<b>203</b>	<b>240</b>	<b>251</b>	<b>294</b>

Para garantir estes resultados, parte dos investimentos está direcionada aos Recursos Humanos em duas vertentes: admissão de novos recursos e capacitação de pessoas. A Fig.(3) mostra o histórico de contratação de engenheiros desde 1995. Estes engenheiros são os responsáveis pela concepção dos produtos a serem entregues, e, em conjunto com a área de manufatura, pela redução do ciclo de vida do produto visando atingir as metas de entrega de aeronaves. A redução do ciclo de vida pode ser verificada na Fig. (2). Contudo, é visível o desafio dos staff Embraer de reduzi-lo ainda mais.

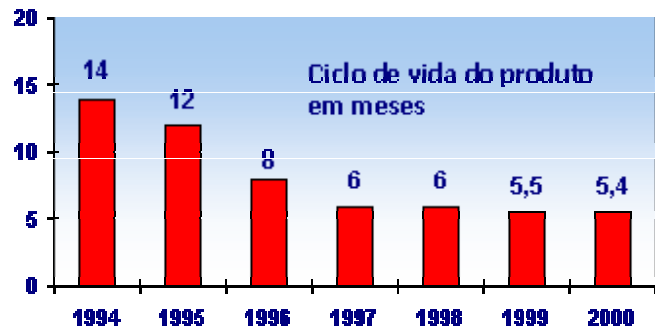
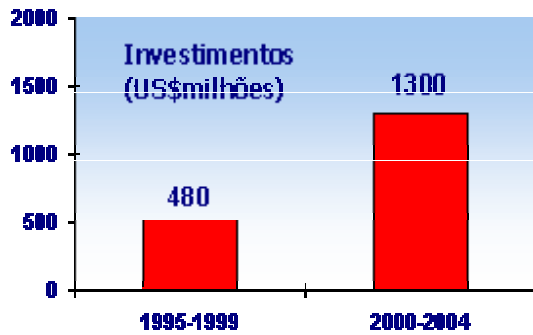


Figura 1. Crescimento dos investimentos ( fonte: Embraer)

Figura 2. Ciclo de vida do produto (fonte: Embraer)

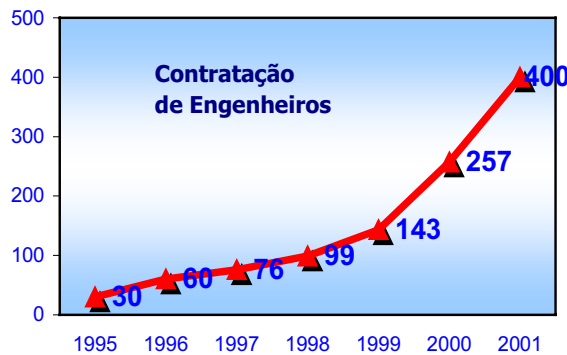


Figura 3. Evolução da contratação de engenheiros (fonte:Embraer)

### 3. Aspectos Teóricos

A seguir são apresentados alguns conceitos que serviram de base para o trabalho: Desenvolvimento Integrado do Produto, Ciclo de Treinamento e Universidade Corporativa (UC).

#### 3.1. Desenvolvimento Integrado de Produto – DIP

A Embraer apresenta um crescente envolvimento com as formas mais modernas de gestão de desenvolvimento de seus produtos. A cada produto corresponde um Programa, que é conduzido de acordo com a filosofia de Desenvolvimento Integrado do Produto. O DIP tem por base um ambiente que integra quatro dimensões fundamentais: processos, ferramentas, planejamento e organização (pessoas). A Fig. (4) mostra estas dimensões integradas de modo a direcionar os esforços no uso sistemático dos recursos disponíveis (Araújo, 1999).

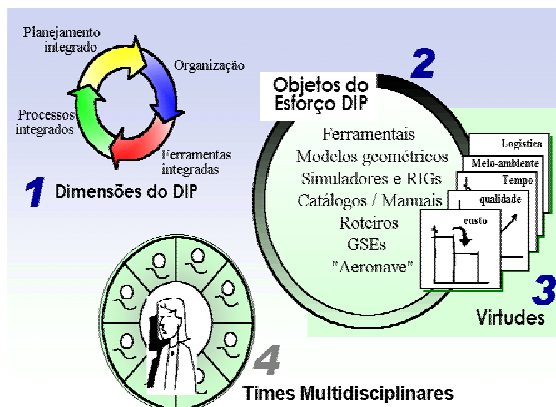


Figura 4. Elementos fundamentais do DIP (fonte: Araújo,1999)

A Organização que permite o desenvolvimento do DIP é a estrutura matricial, que favorece uma ligação estreita entre os membros de um mesmo Programa, uma vez que estes membros são ligados não somente a seus gestores funcionais (engenharia, marketing, finanças, etc.) como também ao gestor de projeto ligado a um Programa. Esta organização é essencial para empresas que demandam uma coordenação ágil e diversa entre várias funções para o desenvolvimento de novas tecnologias e novos produtos. A Fig. (5) mostra esta organização. Na vertical estão posicionados os *Integrated Product Teams* (IPT)s, times que representam as áreas funcionais (hidráulica, elétrica, manufatura, suporte ao cliente, etc.), bem como os próprios clientes, parceiros e fornecedores integrados ao produto. Na horizontal estão posicionados os *Design Built Teams* (DBT)s, times multidisciplinares responsáveis pela integração física das partes da aeronave (asa, fuselagem, etc) a partir de “entradas” e “saídas” das áreas funcionais (IPT)s.

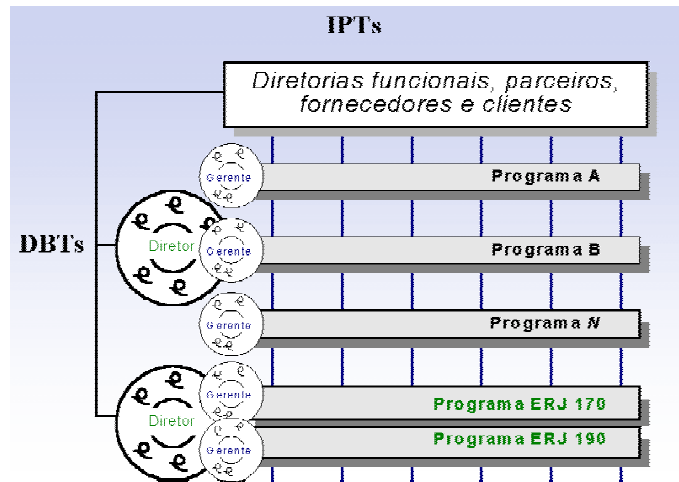


Figura 5. Organização matricial no DIP (fonte: Araújo,1999)

O Planejamento Integrado é peça fundamental na garantia da sincronização dos processos e recursos otimizados e na realização das metas. A Fig. (6) mostra o detalhamento deste planejamento a partir dos recursos das áreas funcionais.

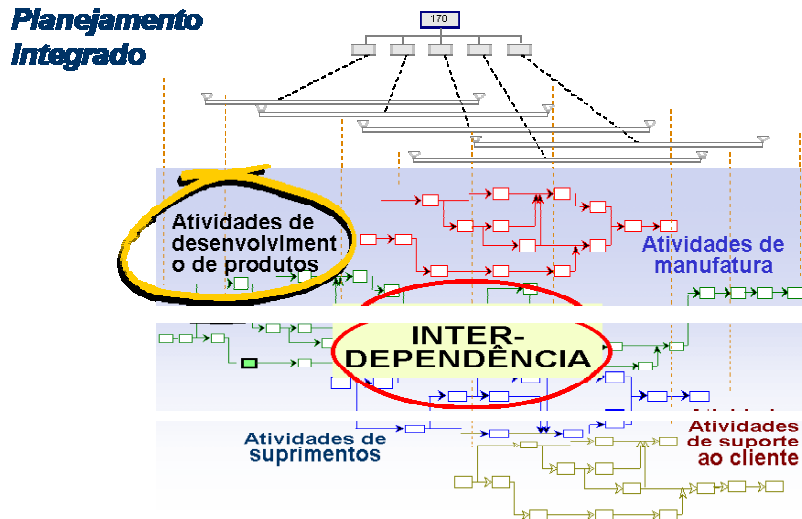


Figura 6. Planejamento Integrado dentro do DIP (fonte: Araújo,1999)

A dimensão do DIP ligada ao Processo corresponde ao conjunto estruturado de sete sub-processos que garantem o gerenciamento das tarefas ao longo de todo o ciclo. São eles: (Araújo,1999)

- Diretrizes do programa
- Identificação dos requisitos e desenvolvimento de especificações
- Execução de projeto conceitual e definições
- Detalhamento do projeto
- Desenvolvimento, aplicação, análise e validação de testes
- Gerenciamento do processo de certificação
- Atualizações do produto

A dimensão do DIP relacionada a Ferramentas consiste no arsenal de metodologias, aplicativos baseados em computador, princípios de trabalho necessários ao estabelecimento, execução e controle de atividades e tarefas no contexto do desenvolvimento do produto.

A principal motivação do DIP é a necessidade de se trabalhar com um método de definição e execução de um Programa que atenda às necessidades de mercado, observando a lucratividade da empresa e conferindo velocidade de lançamento de novos produtos e serviços. Esta motivação é reforçada a cada decisão tomada pelos membros do Programa, guiada por cinco pilares que compõem as virtudes do DIP: Tempo, Qualidade, Meio Ambiente, Logística e Custo (refere-se aqui tanto ao custo de desenvolvimento, que tem impacto direto na empresa como também a custos do ciclo de vida, tais como custo operacional, de manutenção, etc., que impactam diretamente o cliente e constituem um fator decisivo na hora da compra).

As virtudes do DIP guiam os requisitos de desenvolvimento do produto, que são os objetivos concretos das atividades. São requisitos do produto DIP:

- Concepção: mercado, clientes, órgãos homologadores
- Vendas (opções escolhidas, itens desejados pelo cliente e pela empresa)
- Projeto (desenhos, modificações)
- Planejamento (ordens de fabricação e de compras)
- Manufatura (estágios de manufatura, registros necessários à rastreabilidade, documentos relacionados à qualidade)
- Certificação (de homologação, de tipo e condições em que a aeronave foi certificada)
- Suporte (documentação técnica e boletins de serviço)
- Operações (manuais de operação e manutenção)

As mudanças ou o não cumprimento de um requisito afeta outras áreas do Programa, assim como toda a interação entre estes Requisitos, que deve ocorrer de forma simultânea e integrada.

Neste contexto, surgiu a necessidade de disseminação dos conceitos de trabalho de desenvolvimento do produto Embraer, a perspectiva do ciclo completo do produto. O DIP pode ser considerado como o guia de conteúdo das fases de Integração e Ciclo Básico do Programa de Capacitação da Engenharia Embraer descrito neste artigo.

### 3.2. Ciclo de Treinamento

#### Princípios de Educação, Treinamento e Desenvolvimento (ET&D)

Para que a Empresa possa concretizar seus projetos de crescimento e conquista de mercados e, desta forma, assegurar a sua perpetuidade, é necessário que as pessoas que nela trabalham tenham – ou venham a adquirir – determinadas qualificações, habilidades e competências consideradas essenciais para o negócio.

No esforço de aquisição das competências, gestores e empregados são, ao mesmo tempo, parceiros e co-responsáveis por garantirem que as competências identificadas sejam realmente essenciais e que também serão efetivamente adquiridas. As ações de ET&D, como consta na própria denominação, são agrupadas em:

- *Treinamento* - Processo de preparação para desempenhar as tarefas específicas do trabalho.
- *Desenvolvimento* – Processo de preparação para a evolução da carreira provendo novas habilidades e conhecimentos necessários.
- *Educação* – Processo de aprimoramento contínuo de auto-desenvolvimento do indivíduo visando a aquisição de novos conhecimentos.

Os investimentos em atividades de ET&D devem sempre cumprir 5 etapas básicas: Focar, Identificar, Planejar, Executar e Avaliar Resultados (Moreira et. all, 2000).

Na Fig. (7) são detalhadas cada uma destas etapas e as recomendações a serem consideradas quando da identificação dos Programas de Treinamento.



Figura 7. Etapas do Processo de ET&D (fonte: Moreira et. all., 2000)

FOCAR - O primeiro passo no desenvolvimento do Plano de Treinamento de uma equipe é identificar onde se situa o nível de competência dos empregados e aonde se pretende chegar em função do plano. Em geral deve-se verificar quais são os resultados desejados e como eles se relacionam com as necessidades de treinamento. Aqui é importante perguntar o que precisa ser mudado e por que precisa ser mudado, para dar sentido ao seu Plano de Treinamento.

IDENTIFICAR - Nesta fase, são relacionadas as necessidades de treinamento identificadas com os cursos e programas oferecidos pela área de ET&D.

PLANEJAR - com base nas solicitações das várias áreas da Empresa, a área de ET&D elabora um planejamento integrado, seguindo a ordem lógica dos conjuntos de treinamento: Básico, Especialização em Carreiras e Educação Avançada. Só assim é possível oferecer as melhores soluções de crescimento e desenvolvimento para os empregados, além de atender às necessidades corporativas.

#### EXECUTAR

Este é o momento da participação nas diversas atividades disponíveis, como:

- orientação sobre novos procedimentos;
- aquisição de novas qualificações, habilidades e competências para desempenhar novas atividades;
- acesso a informações sobre tecnologia ou produto;
- desenvolvimento de habilidades para a utilização de novas ferramentas ou sistemas;
- alinhamento com o ambiente empresarial e o contexto do negócio.

#### AVALIAR RESULTADOS

Na busca da melhoria contínua e da apropriação dos cursos à realidade de cada um, estão sendo considerados os seguintes níveis de avaliação de treinamentos (Kirkpatrick, 1998)

- Reação - mede a satisfação dos participantes em relação a vários aspectos dos cursos
- Aprendizagem
- Comportamento - adequação e utilização das habilidades no local de trabalho
- Impacto - retorno sobre o investimento.

No caso do programa descrito neste artigo, o levantamento de necessidades surgiu de uma demanda específica identificada pelo Diretor de Engenharia e relacionada à dificuldade de contratar no país engenheiros com experiência no setor aeroespacial e da necessidade de aprimoramento contínuo dos mais experientes. O desenho do programa, como já citado, baseou-se nos princípios do DIP. O esquema de execução procura garantir que todo engenheiro recém contratado passe pelo ciclo básico do programa antes de completar dois anos de casa. Para mais experientes, atua-se conforme a demanda. As avaliações deste programa têm se restringido ao primeiro nível: avaliação de reação. No item 4 serão fornecidos detalhes adicionais.

### 3.3. Universidade Corporativa

Neste trabalho aborda-se o conceito de Universidade Corporativa em decorrência do crescente interesse que o tema tem merecido, tanto pela academia como por empresas que têm adotado este modelo para sua Educação Corporativa, tais como Motorola, Grupo Accor, Natura e Bank Boston. Além disso, em março de 2001 a Embraer lançou seu Programa de Especialização em Engenharia considerado internamente como o embrião da Universidade Corporativa Embraer. Este programa será descrito com maiores detalhes no item 4 deste artigo.

Segundo Meister (1998), as Universidades Corporativas têm sido criadas para alinhar a educação dos empregados às estratégias de negócio de forma a prover vantagens competitivas às organizações. São normalmente entendidas como supra-estruturas que englobam esforços de ET&D de funcionários, clientes e fornecedores, de maneira a otimizar as estratégias organizacionais. Nos Estados Unidos, em apenas oito anos, o número de UC cresceu de 400 para 1000, enquanto que cerca de 200 faculdades fecharam as portas. Em 1997, o número de adultos participando em alguns programas de treinamento em 100 UCs equivalia a 125 vezes o número de estudantes matriculados na Universidade de Michigan.

Alguns princípios fundamentais têm norteado o projeto das UCs (Meister, 1998)

- Aprendizagem com suporte para atingir os objetivos organizacionais
- Estrutura por processos de sistematização de esforços de ET&D
- Múltiplas formas de aprendizagem
- UC como vantagem competitiva
- Foco global no desenvolvimento de aprendizagem

O conceito de universidade corporativa esteve presente quando da definição da estrutura do programa de capacitação e se consolidou no PEE. Além disso, o PC constituiu-se na primeira iniciativa no âmbito da diretoria de engenharia da empresa, no sentido de organizar-se um programa de capacitação de empregados novos experientes, levando em conta uma perspectiva mais relacionada àquela adotada nas escolas de engenharia: níveis fundamental e profissional e pós-graduação.



#### 4. Estudo de caso

Este item engloba inicialmente uma descrição da empresa e seus produtos. A seguir apresentam-se aspectos gerais da diretoria de engenharia. Finalmente é analisado o Programa de Capacitação de engenheiros recém contratados.

##### 4.1. Breve descrição da empresa

A Embraer é uma empresa aeronáutica responsável pela concepção, produção, comercialização e suporte de seus produtos em operação ao redor do mundo. Fundada em 1969 como empresa estatal de capital misto, ela foi privatizada em 1994. A Embraer está classificada entre os quatro maiores fabricantes de aeronaves comerciais do mundo. Para os programas de jatos comerciais, executivos e produtos de defesa a EMBRAER segue uma política de parcerias com fabricantes e fornecedores aeroespaciais do mundo. Atualmente a Embraer emprega mais de 10.000 funcionários, contribuindo ainda para a geração de mais de 3.000 empregos indiretos.

##### Produtos

A Embraer possui uma família de aeronaves como o EMB 120 Brasília (30 pessoas), passando pelo jato para 37 passageiros ERJ 135, pelo novo ERJ 140 de 44 assentos e chegando até o ERJ 145 para 50 passageiros. Para complementar essa linha de produtos, a Embraer lançou em julho de 1999 uma nova família de jatos - o ERJ 170, o ERJ 190-100 e o ERJ 190-200 - com capacidades para, respectivamente, 70, 98 e 108 passageiros. No momento, estão sendo desenvolvidos o EMB 145 AEW&C, para alerta aéreo antecipado, o EMB 145 RS/AGS, para sensoriamento remoto, e o EMB145 MP/ASW, para patrulhamento marítimo e guerra anti-submarina, todos baseados na plataforma do bem-sucedido jato comercial ERJ 145. Também estão sendo desenvolvidos o Super Tucano e sua versão leve de ataque denominada ALX, além do jato executivo Legacy, baseado no ERJ 135.

##### 4.2. Diretoria de Engenharia

A Diretoria de Engenharia da Embraer é composta por 1717 pessoas, sendo que 942 são engenheiros, público alvo do Programa de Capacitação. A Tab. (2) mostra a distribuição do *staff*.

Tabela 2. Recursos humanos na Diretoria e Engenharia (fonte: Embraer)

Recursos Humanos DTE	Total 1712
<b>engenheiros</b>	<b>942</b>
projetistas	279
técnicos	232
administrativos	92
líderes	27
operacional	100
profissional (nível superior, exceto engenheiro)	44
diretor	1

##### Missão da Diretoria de Engenharia

A missão da Diretoria de Engenharia é definir, especificar, projetar, testar, certificar e apoiar aeronaves respeitando prazo, custo e qualidade requeridos de forma a satisfazer clientes internos e externos, acionistas, empregados e a comunidade.

##### Visão da Diretoria de Engenharia

A visão da Diretoria de Engenharia é composta por quatro pilares:

- Otimização de métodos, processos e ferramentas de projeto.
- Melhoria contínua da organização e recursos humanos.
- Aplicação do Desenvolvimento Integrados do Produto - DIP, incluindo clientes, fornecedores e parceiros.
- Utilização do estado da arte tecnológico, quando agrega valor ao produto.

##### 4.3. Descrição do programa

O programa de Capacitação foi calcado nos moldes de um curso de engenharia, que via de regra possui um Ciclo Básico com disciplinas que proverão conhecimentos de base para as disciplinas de engenharia aplicada. As três fases do programa são apresentadas na Fig. (8) a seguir.

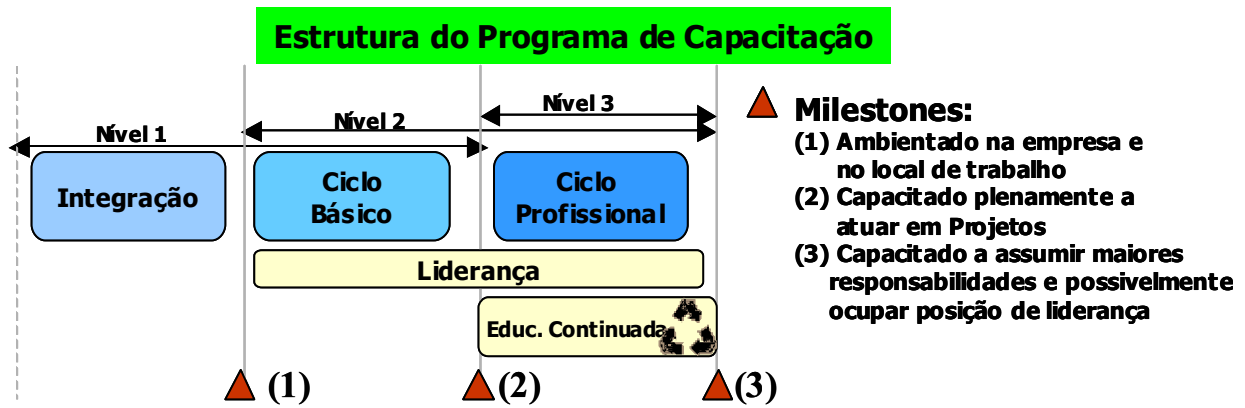


Figura 8. Estrutura do Programa de Capacitação

#### 4.3.1 Integração DTE

Trata-se de um ciclo de palestras que permite o contato com as áreas responsáveis pela concepção do produto Embraer e tem como objetivo fornecer a visão geral do Desenvolvimento do Produto e suas principais áreas de interface, permitindo uma maior produtividade das pessoas na realização de suas tarefas iniciais.

As palestras são organizadas em processos da própria diretoria, as interfaces com as áreas relacionadas através do DIP e que formam junto com a diretoria de engenharia os times multidisciplinares. Finalmente o ambiente da engenharia é detalhado pelas áreas funcionais. As palestras seguindo estas categorias são:

- Apresentação de Processos: O DTE, Apontamento de horas, Normas e Procedimentos
- Apresentação de Interfaces: Suporte ao Cliente, Manufatura, Suprimentos, Área Comercial
- Engenharia (Concepção do Avião): Estruturas, Aerodinâmica, Sistemas, Ensaio em Vôo, Segurança de Vôo, Certificação

#### 4.3.2. Ciclo Básico

O Ciclo Básico é composto por 8 módulos, chamados de módulos básicos e cobre as áreas relacionadas ao Desenvolvimento Integrado do Produto. São aprofundamentos do temas introduzidos pela Integração.

Os treinamentos que compõem os Módulo Básicos são:

##### I Fundamentos de Engenharia Aeronáutica

**Duração: 20 horas-aula**

Objetivos: Apresentar aos participantes conceitos básicos de engenharia aeronáutica: aerodinâmica, estruturas, desempenho, estabilidade e controle, sistemas, atmosfera e projeto de aviões.

Conteúdo: Introdução a engenharia aeronáutica; Tipos de escoamentos: Subsônico, Transônico e Supersônico; Asas e dispositivos hiper-sustentadores; Escolha de configuração de aeronaves

##### II Sistemas de Aeronaves

**Duração: 20 horas-aula**

Objetivos: Os participantes deste curso deverão compreender os principais fatores a serem levados em consideração no projeto de um sistema dentro da visão do DIP, a correlação entre os diversos sistemas e a correlação entre estes e a aeronave.

Conteúdo: Homologação e segurança dos sistemas; Instrumentos de vôo e navegação; Controle de vôo, controle automático de vôo e "fly-by-wire"; Sistemas ambientais; Sistemas pneumáticos e sistema hidráulico

##### III DIP – Desenvolvimento Integrado de Produto

**Duração: 4 horas-aula**

Objetivos: Visa prover os participantes de uma visão unificada da prática do Desenvolvimento Integrado de Produtos (DIP) na Embraer.

Conteúdo: Diferenças de entendimento do DIP - Motivação do treinamento; Evolução do DIP na Embraer (Ferramentas, filosofias, etc. introduzidas ao longo dos anos); Dimensões do DIP (Planejamento, Processos, Ferramentas e Organização); Planejamento do DIP; Processos do DIP

##### IV Processos Produtivos

**Duração: 18 horas-aula**

Objetivos: Os participantes deste curso deverão conhecer os processos produtivos utilizados na Embraer, os mecanismos de controle desta produção, o projeto e fabricação de ferramentas, os mecanismos de garantia da qualidade e as perspectivas futuras deste setor.

Conteúdo: Panorama atual da manufatura; Visita à fábrica; Construção de ferramental: conceitos e processos; Visita à Ferramentaria; Planejamento, programação e controle de produção: conceitos/sistemas/processos

##### V Suporte ao Cliente

**Duração: 4 horas-aula**

Objetivos: Através de palestras, os participantes devem conhecer o trabalho envolvido no suporte ao cliente e compreender como este trabalho deveria estar integrado com o trabalho da DTE.

Conteúdo: Introdução; Publicações; Suporte Operacional; Engenharia de Peças; Suporte de Material

### **VI Certificação Aeronáutica**

**Duração: 16 horas-aula**

Objetivos: O participantes devem compreender o processo de certificação aeronáutica no contexto do FAR21.

Conteúdo: Estrutura organizacional das autoridades de homologação; Base legal : regulamentos/issue paper; Regulamentos; Vistoria; Boletins de serviço

### **VII Homologação - FAR25**

**Duração: 4 horas-aula**

Objetivos: O participantes devem compreender o processo de homologação aeronáutica e a importância de seu papel neste desenrolar.

Conteúdo: Introdução; Organismos Regulamentadores de Aviação Civil no Brasil; Homologação Aeronáutica; Regulamentos de Homologação; Tipos de Aeronaves.

### **VIII Sistemas e Procedimentos DTE**

**Duração: 8 horas-aula**

Objetivos: Familiarizar os participantes quanto aos procedimentos do “dia-a-dia” do DTE

Conteúdo: Procedimentos; Lista de Peças (CGI e PDM); Desenhos CAD; Estrutura do Produto / Efetividade; Relação de Materiais Embraer (OMRME)

Após terminarem o Ciclo Básico, os engenheiros são inscritos em treinamentos específicos para cada área compondo o Ciclo Profissional descrito a seguir.

### **4.3.3. Ciclo profissional**

Tem como objetivo fornecer treinamento com foco nas necessidades específicas dos engenheiros do DTE. São em geral cursos de duração realizados sob medida visando prover conhecimento em metodologia, processo ou tecnologia utilizada em IPTs, os times verticais ligados à função ou DBTs, os itens transversais ligados a programa (item 3.1.).

A seguir alguns dos treinamentos específicos realizados em 2000:

#### **Experimentation and Uncertainty Analysis**

**Duração: 24 horas-aula**

Curso baseado no livro de mesmo nome e conduzido pelos autores Glenn Steele e Hugh Coleman, sobre análise de incertezas.

#### **Cargas e Estruturas**

**Duração: 24 horas-aula**

Destinado a familiarizar os engenheiros das áreas de Cargas e aeroelasticidade e da área de Estruturas (times funcionais).

#### **Tactical Data Links**

**Duração: 40 horas-aula**

Curso que objetivou fornecer uma visão de *Tactical data Links*, tecnologia de enlace de dados estratégicos. Foi destinado ao time Data Links da Engenharia ( 20 participantes)

#### **1309 Reliability and Design Analysis**

**Duração: 28 horas-aula**

Curso destinado a engenheiros de vários times funcionais – Aerodinâmica, Estruturas, Segurança de Voo, entre outras que objetivou fornecer uma visão de Análise de confiabilidade segundo o regulamento 1309.

#### **Project Management and Systems Engineering**

**Duração: 40 horas-aula**

Curso destinado a engenheiros de times multidisciplinares, fornecendo a visão sistêmica para o gerenciamento de projetos seguindo os preceitos de Engenharia de Sistemas.

## **5. Resultados**

São apresentados a seguir alguns resultados de ordem quantitativa e qualitativa.

### **5.1. Histórico de quantidade**

Segue na próxima página a Tab. (3) com resultados quantitativos. Neste primeiro ano, o programa teve uma participação de 71,6% na Integração e para uma população de 300 engenheiros de 0 a 2 anos de casa. Com relação ao Ciclo Básico esta aderência variou devido à existência de cursos já consolidados desde o início do programa (DIP, Engenharia de Sistemas, Fundamentos de Engenharia Aeronáutica) e cursos em fase de consolidação (Processos Produtivos, Suporte ao Cliente, Certificação Aeronáutica e Homologação Aeronáutica). O curso Processos Produtivos foi implantado em novembro de 2000. Com relação ao Ciclo Profissional grande parte das demandas por cursos foi atendida, resultando em 120 participantes em todos os cursos.

### **5.2. Avaliação de reação**

Cada um dos treinamentos foi avaliados através da avaliação de reação baseada no modelo (Kirkpatrick, 1998) . São avaliados os seguintes aspectos:

- O curso atendeu os OBJETIVOS?
- O CONTEÚDO PROGRAMÁTICO foi satisfatório?
- A METODOLOGIA (Recursos utilizados) favoreceu o aprendizado?
- A CARGA HORÁRIA foi adequada?
- Como você qualifica o INSTRUTOR?

A Fig. (9) ilustra a Avaliação destes aspectos e outros comentários com relação ao Módulo de Engenharia de Sistemas, turma de agosto de 2000.

Tabela 3. Resultados quantitativos – Participantes do PC no ano de 2000

Treinamento	Participantes
<b>Integração</b>	<b>215</b>
<b>Ciclo Básico</b>	
Fundamentos de Engenharia Aeronáutica	260
Engenharia de Sistemas	269
Processos Produtivos	102
Suporte ao Cliente	118
Homologação Aeronáutica	130
Certificação Aeronáutica	160
Procedimentos e Sistemas DTE	40
DIP – Desenvolvimento Integrado do Produto	320
<b>Ciclo Profissional</b>	<b>120</b>

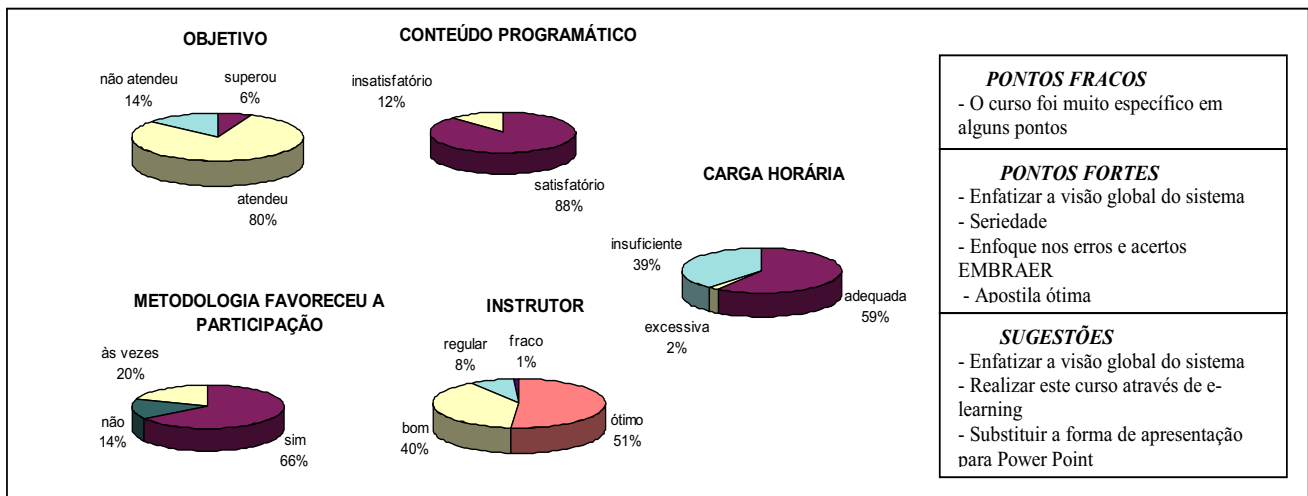


Figura 9. Análise Quantitativa – Avaliação de Reação do Módulo Engenharia de Sistemas

### 5.3 Análise comparativa com o Modelo da Universidade Virtual da British Aerospace (BAE)

Em visitas de benchmarking a outras organizações do setor aeroespacial buscando identificar melhores práticas no que concerne à estruturação das atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e de ET&D, chamou atenção o modelo adotado pela British Aerospace, descrito a seguir.

A Fig (10) a seguir ilustra a estrutura básica da Universidade Virtual composta de cinco unidades: *International Business School, Faculty of Learning, Faculty of Engineering and Manufacturing Technology, Benchmarking & Best Practices Center* e o *Sowerby Research Center*.

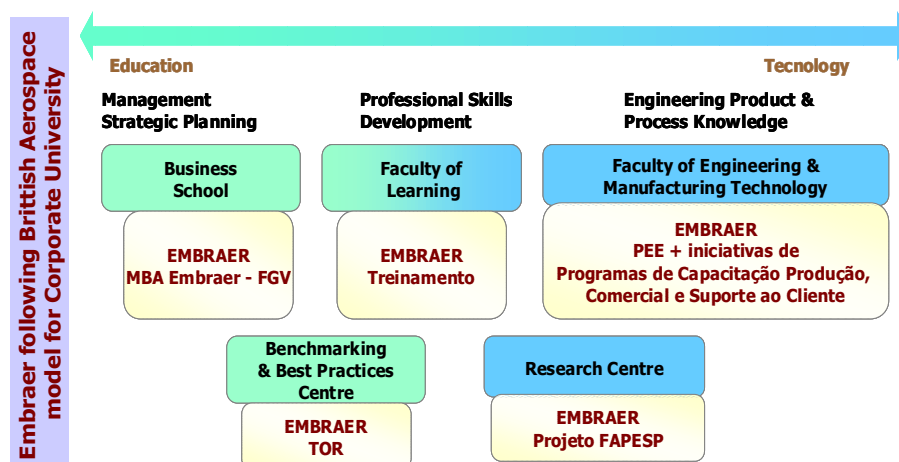


Figura 10. Comparativo iniciativas Embraer com o modelo da British Aerospace

Com vistas a analisar a estrutura adotada pela Embraer para lidar com as atividades de P&D e de ET&D e propor melhorias, procurou-se estabelecer um paralelo com o modelo BAE, também incluído na mesma figura. A iniciativa do MBA Embraer oferecido em parceria com a Fundação Getúlio Vargas (FGV) pode ser comparada à *International Business School* da BAE. O setor de Treinamento Corporativo assemelha-se à *Faculty of Learning*, cujo foco é o desenvolvimento de habilidades profissionais. O programa TOR - Transformando a Organização para Resultados, que na empresa preocupa-se com a identificação das melhores práticas equivale ao *Benchmarking & Best Practices Center*. A iniciativa da Embraer em coordenar a identificação de projetos de P&D estratégicos a serem desenvolvidos em parceria com as universidades e centros de pesquisa do Estado de São Paulo utilizando a linha de projetos da FAPESP assemelha-se ao centro de P&D de *Sowerby*. Finalmente o Programa de Capacitação descrito neste artigo juntamente com a recente criação do PEE, descrito em maiores detalhes no item 6 têm uma clara correspondência com a *Faculty of Engineering & Manufacturing Technology* da BAE. No entender dos autores, as iniciativas da Embraer tendem ser melhor articuladas como por exemplo com a criação de uma supra-estrutura denominada Universidade Corporativa Embraer, ligada à Presidência, da mesma forma que a BAE.

## 6. Comentários e Conclusões

Este trabalho apresentou o Programa de Capacitação de Engenheiros no contexto do DIP e cuja concepção seguiu fases de diagnóstico de necessidades, definição de estratégia, implementação e avaliação. Esta iniciativa consolidou-se com a criação do PEE, em que 165 engenheiros receberão 18 meses de treinamento intensivo de modo a acelerar sua formação técnica que normalmente seria adquirida ao longo de 5 anos. Vide Fig.(12) a seguir. O PEE será futuramente a porta de entrada para os engenheiros DTE e outros programas similares têm sido desenvolvidos nas Diretorias de Produção, Programas de Defesa, Suporte ao Cliente e Comercial, ressaltando assim a importância desta iniciativa em conjunto que promova o conhecimento dos produtos e processos Embraer, bem como o alinhamento da capacitação de pessoas às direções estratégicas da empresa.

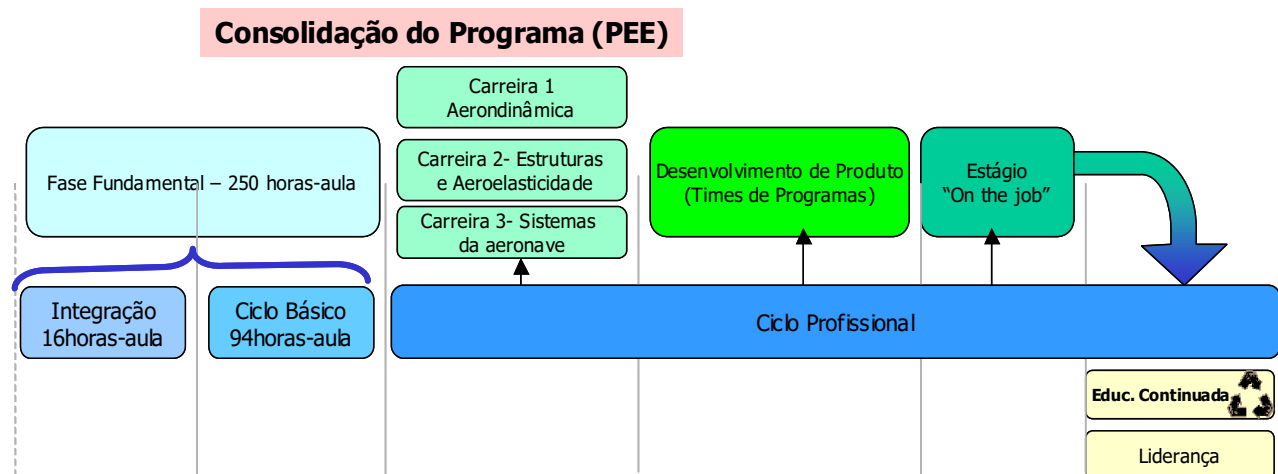


Figura 11. Consolidação do PEE e relação com o Programa de Capacitação (PC)

## 7. Referências

- ARAÚJO Jr., C. S. & CRUZ, J. L. *Visão da Prática de Desenvolvimento Integrado de Produtos na Embraer*. São José dos Campos : Embraer (publicação interna), 1999.
- CHIAVENATO, I., *Gestão de Pessoas; O Novo Papel dos Recursos Humanos na Organizações*. Rio de Janeiro : Ed Campus, 1999.
- KIRKPATRICK, D., *Evaluating Training Programs: The Four Levels*. New York : ASTD, 1998.
- MEISTER, J. C., *Corporate Universities*. New York : Mc Graw Hill, 1998.
- MOREIRA, M. et. al. *Manual de Educação, Treinamento e Desenvolvimento*. São José dos Campos : Embraer (publicação interna), 2000.

## **ENGINEER QUALIFYING PROGRAM INCLUDED IN EMBRAER PRODUCT DEVELOPMENT CYCLE**

### **Luciane Hitomi Yasuda**

EMBRAER – Av Brigadeiro Faria Lima, 2170 PC 061 RTD – CEP 12270-901 – São José dos Campos  
luciane.hitomi@embraer.com.br

### **Paulo Lourenção**

EMBRAER – Av Brigadeiro Faria Lima, 2170 PC 061 RTD – CEP 12270-901 – São José dos Campos  
paulo.lourencao@embraer.com.br

**Abstract.** *Some time ago aircraft was the only focus for engineering development efforts, the product itself. This concept has changed for EMBRAER's new programs. Now the aircraft is the central object of the development but also involves around it all objects also needed in order to define the final product. This progression occurs following the DIP (Product Integrated Development) methodology. DIP is a set of all activities related to the product cycle structures in order to guarantee the product development in an incorporated way and all tasks management during the whole cycle. It aims for increasing capacity to insert new products in the market faster, improving quality and decreasing costs. DIP methodology considers all configurations from the point of view of marketing, sales, manufacturing, quality and technical support areas. In order to provide the knowledge necessary in the steps of the cycle, EMBRAER Engineering Area has implemented a Qualifying Program following a Corporate University feature. This Program is focused in integrating new engineers by minimizing their impact in their new duties, providing a basic knowledge in the aircraft field, and permitting access and dissemination of new technologies. Program Structure: a) Integration focused on the Aircraft Development Cycle; b) Basic Cycle, providing aircraft engineering basic concepts for engineers of other areas and studies about customer technical support, manufacturing and the DIP itself. c) Professional Cycle bringing and spreading technologies and tendencies concerning the Aircraft Industry. This Program has allowed the development and recycling of Engineers aiming for the achievement of a systemic vision of all product cycles and the impact of all activities in the whole product.*

**Keywords.** *Corporate University, Product Integrated Development, Product (DIP), Education, training and Development (ET&D)*

## EMPIRICAL MODELLING IN PRODUCT DESIGN

### Carlos N. Fischer

Departamento de Estatística, Matemática Aplicada e Computação, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Brasil.  
Rua Dez, 2527; CP 178; Santana; Rio Claro, SP. 13500-230  
cfischer@rc.unesp.br

### Meurig Beynon

Department of Computer Science, University of Warwick  
Coventry CV4 7AL, UK.  
wmb@dcs.warwick.ac.uk

***Abstract.** The purpose of this paper is to introduce and illustrate the application of an approach to modelling known as Empirical Modelling (EM), a collection of principles and techniques that has been under development at the University of Warwick, UK. The environment for EM supports a high level of interaction with a model. EM tools allow the user to build a model that is always open to extension, refinement and revision. Our case studies illustrate the application of EM and demonstrate its potential as an alternative approach to modelling a product in its situated context.*

***Keywords:** computer-based model, computer simulation, empirical modelling, product design, product modelling.*

## 1. INTRODUCTION

Modelling has a very important role in modern product design. In representing a product, it is sometimes appropriate for the designer to model the product in isolation, without considering its environment. However, where the product interacts closely with its environment and with human agents, the designer must focus on representing the product in its situated context even whilst the modelling is in progress. For this purpose, the product must ideally be represented in such a way as to allow potential re-use, convenient interaction and scope for easy integration into many different contexts.

Product modelling has benefited greatly from the use of computational environments. An appropriate computational environment for product modelling must provide the designer with the high degree of interaction with the model that is needed to achieve the best representation of a product [6,12] and to reflect its interaction with its environment. The knowledge acquired from such interaction is very helpful in suggesting improvements to the product itself.

Empirical Modelling (EM) - so called because the modelling principles are based on observation and experiment - is an unconventional approach to modelling systems under development at the University of Warwick [11]. It offers an environment very appropriate for applications that demand a high level of interaction with a computer-based model. Central to the EM perspective is an emphasis on the power of the computer to represent states, in particular, states that are easily interpretable. An EM model metaphorically represents a particular state of the system under study.

In this paper, section 2 presents a brief overview about product design and relevant topics. Section 3 introduces the concepts of EM approach, describing some interesting characteristics and tools. Two case studies, modelling the states and interactions associated with a clock and a simple 3-dimensional block jigsaw puzzle, are presented in section 4; the objective is to show the application of the principles and tools of EM in the construction of models and demonstrate that this alternative approach is well-suited for developing tools for the field of product design. Section 5 discusses the way in which EM can impact on information management, and speculates upon its possible implication for business models.

## 2. PRODUCT DESIGN

Product design is the activity of generating a solution that meets the requirements imposed on a product [7,12]. Such activity relies heavily on the creativity of the designer, which derives from the designer's capacity for observation and especially from knowledge about the product or its requirements that generally evolves as the design progresses. Indeed progress in the design is intimately associated with the evolution of knowledge about the current product, so that there is positive feedback in both directions between acquisition of knowledge about the product and progress in the design [9].

Product modelling involves creating a concrete or virtual representation (a model) of characteristics of a physical product under study. Modelling is a very important activity in modern product design processes [6,7]. An appropriate model provides the designer with a richer, higher-level and more intelligible representation of a design concept than natural language affords.

In representing a product, it is sometimes appropriate for the designer to model the product in isolation. That is, the

model represents the product without considering the influence of the context in which the product will be situated. However, where the product interacts closely with its environment and with human agents, the designer must focus on modelling the product in its situated context. That is, the model must take account of the context where the product is to be inserted, representing product features that are dependent on the environment.

The computer is already extensively used as a tool for modelling within product design. The computational environment for modelling must provide the designer with a high level of interaction with the model that is needed to achieve the best representation of a product. It must also offer the designer tools that allow a model to be modified in a simple and quick manner by taking advantage of potential re-use of existing models, and permit convenient interaction and integration with an external environment. Ideally, a modelling environment should also support designers in the sharing of their knowledge about the product and the integration of their ideas about its model that leads to the evolution of product knowledge and consequently to the progress of the design. In many cases, another important feature is that the modelling environment should support animation of the model.

In this paper, a computer-based model is referred to as an *artefact* and the object under study as the *referent*.

### 3. THE EMPIRICAL MODELLING APPROACH

Empirical Modelling (EM) is a collection of principles and techniques that has been under development at the University of Warwick [1,2,11]. EM offers a set of tools for modelling and visualisation of general systems that allows a user to build an artefact that is always open to subsequent extension, refinement and revision. Animation of an artefact is also possible, through visualisation of sequences of states of the referent subject to some behaviour.

The EM principles are based on three fundamental concepts: *observable*, *dependency* and *agency*. The term *observable* is used to refer to elements that relate to our understanding of the referent. A *dependency* is a relationship among observables that expresses expectations about how the values of observables are indivisibly linked in change. An *agent*, with its associated observables, has privileges for actions to change the values of those observables. For example, when modelling a room, the modeller might consider the light and the light switch as observables that can be on or off; might assert a dependency between the light switch and the light: when the light switch is pressed on, the light comes on at the same time; and, an agent could be a user of the room who may switch on and off the light switch.

The identification of the relevant properties (observables, dependencies and agents) of a referent is subjective, based on the observation and interpretation of the modeller. Generally, this identification is provisional as it depends on the modeller's personal experience of both the referent and the artefact. Through experimentation with the artefact, the designer gains knowledge and new ideas related to the referent, so that new properties may arise apart from those initially identified. In an EM artefact, any new property can be added to the artefact at any stage during the modelling activity without the need to revise the whole artefact or revert to an earlier version. Moreover, as the changes in observables can be executed during the simulation, modifications in the artefact are immediately executed, which allows subsequent revision of the artefact and the complete development of the artefact in an incremental fashion. This flexibility of EM distinguishes it from many conventional modelling approaches in which the modeller has to preconceive what the inputs and outputs are going to be before starting the construction of the model in order to prescribe the required behaviour. In such modelling paradigms, the boundary of the proposed system must be determined in advance, and if there is a need for a new input or output, e.g. an additional system feature is required, then the whole system may have to be revised and re-designed at substantial cost. Part of the flexibility of EM stems from the fact that the focus is initially on the *state* of a model or domain, rather than on the behaviours the modeller wishes to produce.

The dependencies among observables are represented by *definitions*. A typical definition takes the form  $x = f(y, z)$  where  $x$ ,  $y$  and  $z$  are artefact observables associated with the referent observables, and  $f$  is a function that defines the relationship between those observables. Such a definition expresses a dependency relating  $x$ ,  $y$  and  $z$  that is automatically maintained by the EM tools. That is, changes in the observables  $y$  or  $z$  will result indivisibly in a change in  $x$ , the dependent observable. Such dependency amongst observables obviates the need to verify whether a dependent observable is up to date in the artefact. A definition can also assign an explicit value, as in  $y = 5$ . The set of definitions forms a *definitive (definition-based) script* to be interpreted by the EM tools.

The particular values of the observables and the dependencies associated with the artefact represent one of the possible states of the referent. Changes of state occur in the artefact either through the re-definition of observables or the addition of new definitions. Through automatic re-definition of observables and consequent visualisation of a sequence of representative states of a referent, an EM artefact can be animated so as to give the impression of a behaviour.

Another important characteristic of EM is that there is a distributed version of the modelling environment [14] that allows communication between users who can access and visualise their representations of the same artefact over a network. In this way, many designers may interact with an artefact, allowing their viewpoints to be integrated during the modelling process.

The principal modelling tool that has been developed at Warwick is the *TkEden interpreter*, which is implemented in C. TkEden supports definitive scripts in which the variables represent a variety of two-dimensional graphical elements, including shapes, point and lines, text strings, windows and displays. TkEden incorporates three definitive notations: *DoNaLD*, for line drawing, *SCOUT*, for screen layout, and *EDEN*, an evaluator for definitive notations that



allows definitive scripts to be formulated over scalar types, non-homogeneous recursive lists and strings. The EM artefact described in section 4.2 and illustrated in Fig. (2) makes use of two additional definitive notations: SASAMI – a geometric modelling extension implemented by Ben Carter, and ARCA, for describing artefacts such as finite state machines and combinatorial graphs. The TkEden interpreter and its SASAMI extension are available for download as open source [13].

The EM tools are still primarily research ones, but they are sufficient for proof-of-concept of the principles of EM, and previous work [3,5,15] has demonstrated that they allow the construction of artefacts that are always open for interaction and revision. Moreover, any components from an artefact can be integrated within another artefact, thereby making modelling easier and quicker.

#### 4. EM IN PRODUCT DESIGN

The qualities of Empirical Modelling (EM) described in section 3 are particularly significant when the modeller needs to construct an artefact with a high degree of interaction and flexibility, as in product design. To illustrate this, we present in this section two case studies of artefact development. The objective is to show that EM offers an open-ended environment that provides an alternative approach to product design processes.

##### 4.1 The Clock Artefact

The first case study is a simulation of a clock. Various artefacts derived from a simple clock model are depicted in Fig. (1). Each artefact can be seen as representing one of many different states of the clock model. Five coloured input buttons are used to set the power on/off and to update the time. These buttons are used to change the state of the clock.

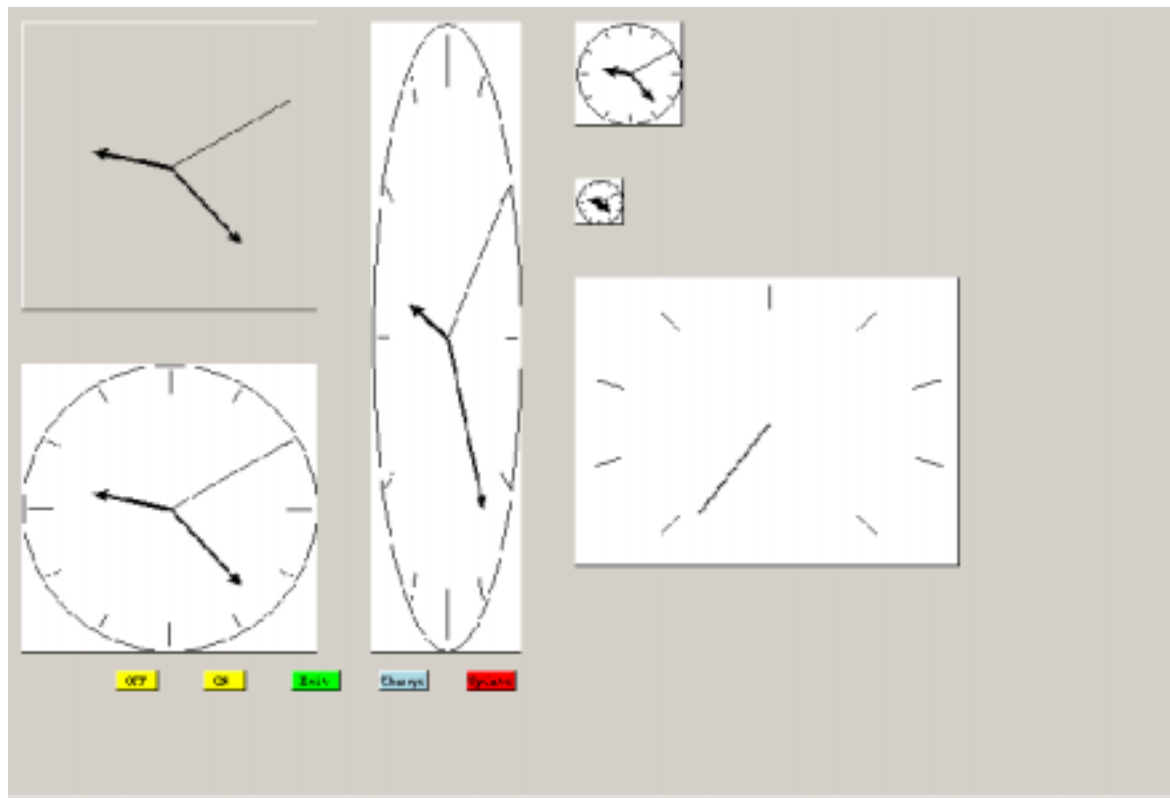


Figure 1. EM artefacts derived from a clock model.

The current values of the observables of an EM artefact represent a particular state of the referent. Changes in the values of these observables imply new representative states for the artefact, which are reflected in the visual elements of the model. These values can be changed by external and internal agents of the artefact. An example of an external agent is a user who can set the power on by pressing the *ON* input button; this action changes the value of an observable called *power\_s* to a non-zero value that triggers a procedural action for switching the clock on. A similar action continuously checks the current time in the artefact and after a period of time changes the value of *power\_s* to zero (simulating exhaustion of the battery) and so stops the clock. That procedural action is associated with an internal agent of the artefact. Another internal agent continually updates the value of an observable called *new\_time* with

reference to the computer system clock; each new value of *new\_time* changes the state of the artefact. These consecutive state changes are automatically displayed on the screen, and so simulate the clock in operation.

The artefact associates states of a real clock with instantiations of agents. For example, the *clock* agent represents the clock itself and the *power* agent its power supply. In the specification of each agent, the identifiers refer to observables that are significant for the agent. In the model, the *power\_s* observable represents the energy that is supplied to the clock and an observable called *live* indicates whether the agent *power* is present or absent according to the definition:  $live = (power_s > 0)$ .

The dependencies in the artefact reflect several different types of agency. The primary purpose of these dependencies is to bind the visual elements and the indivisible internal state of the model together so to reflect interaction with the external observables they represent. Simple instances of definitions and agencies are illustrated by the clock. In an engineering model, the hands of a clock may be coupled mechanically so that when the minute hand moves, the hour hand moves simultaneously. In the artefact, this dependency can be expressed by an explicit definition:

$$angle\_hour\_hand = (angle\_min\_hand / 2 \pi) * (\pi / 6).$$

Whilst such a definition is extant in the artefact, any movement of the minute hand entails simultaneous movement of the hour hand, both in simulating the clock in its normal operation and in setting the clock. The normal operation of the clock is associated with agents that can act autonomously without the intervention of the designer. The designer can nonetheless intervene to interfere with these agents, for instance to simulate a clock running down or malfunctioning. The role of the user in setting the clock, which conforms to no preconceived pattern of interaction, can be played directly by the designer.

The relation between second and minute hands illustrates another role for agency in constructing an artefact. In our chosen clock mechanism, the motions of the second and minute hands are mostly independent but are synchronised by updating the position of the minute hand at regular intervals. In this case, the movement of the minute hand is not within the scope of the indivisible action of moving the second hand. To model this, an independent agent was introduced. This monitors the position of the second hand and updates the minute hand in discrete steps as the second hand registers that a minute has elapsed.

The building of the clock artefact illustrates some characteristic features of EM. The artefact was incrementally constructed whilst running as a background process on a PC computer. Control over dependency and agency made it possible to take account of the new views of the design process as they arose. Interactive development sessions typically involved the addition of a group of definitions to attach a new visual component to the artefact or of procedural actions to simulate the introduction of new agents. The artefact was constructed stage-by-stage: first introducing the clock geometry; then the mechanism and finally the input buttons. Several types of re-use featured in the modelling activity. For example, the codes for the structures of a coloured input button were simply replicated (with new texts and positions only) to construct the other buttons of the artefact. The script that describes the window at the bottom in Fig. (1) was replicated three times, and the positions and sizes were modified, so as to generate the other variants of the clock artefact shown in the display. Through a simple modification of the initial clock model we also derived the artefact depicted in the bottom right window in Fig. (1) that could represent, for example, a meter.

The development exercise in some ways resembled conventional engineering: it was sometimes useful to develop portions of the script independently, or to trace problems by extracting pieces of the script and exercising them in isolation; this was the case in particular for the clock mechanism, represented in the top left window in Fig. (1). The ease with which we could adapt alternative computer models on the fly contrasts with the considerable ingenuity that would be required to modify a clock mechanism.

#### 4.2 The Jigsaw Puzzle Artefact

The case study presented here takes as its target product a four-cube jigsaw puzzle such as is suitable for a young child. An EM artefact to represent such a puzzle is depicted in Fig. (2). A four-cube jigsaw puzzle comprises 4 blocks that can be configured in six different ways so that their uppermost faces display different pictures. For this purpose, each of the six faces is textured using a different quadrant from one of six pictures. From a design perspective, one of the relevant issues is how to dispose the textures on the blocks in such a way as to make the task of transforming one solution to another more or less taxing. One way of doing this that is instructive and satisfying for a child, and does not involve the essentially independent solution of all six jigsaws, is to ensure that when one of the jigsaws is solved, each of the other solutions can be derived by performing the same symmetry operation on each of the four cubes in turn. The subtlety of the interaction between the choice of pictures, the mode of texturing, and the symmetries of the blocks leads to interesting issues both for the jigsaw design and for the manufacturing process. The implications of adopting a particular design for the manufacturer and the solver are hard to predict without modelling and experiment that embraces the situated context. In particular, the number of possible configurations of four cubes is such that, if suitable side-conditions are imposed on solutions, their difficulty can range from quite trivial to exceptionally hard.

The artefact in Fig. (2) models a design scenario that leads to jigsaws that have solutions of moderate difficulty, where there is a fixed configuration of the four blocks, in which each is associated with a particular quadrant, such that all six solutions to the jigsaw can be derived by manipulating each block *in situ*. This limits the number of abstract configurations that would have to be considered in an exhaustive search for solutions to  $24^4$  rather than  $24^5$ . Coloured

faces of six different colours have been used to identify the textures that make up the different pictures: these too have been disposed in such a way as to simplify the transformation of one solution of the jigsaw puzzle into another. The artefact represents four cubes with an associated state diagram in the form of a Cayley diagram [10] that dynamically traces the effect of applying primitive symmetry operations to the cube. Explicitly, the traversal of a red, green or blue edge in the Cayley diagram is associated with a rotation of a cube about an axis that joins the midpoints of a specific pair of opposite edges. By a sequence of such primitive rotations any physical operation that permutes the vertices of the cube can be carried out. By using six input buttons (on the top left corner of the Fig. 2), we can apply primitive rotations to change the state of a specific cube or to change the state of all the cubes in the same fashion at the same time. The interpretation of the Cayley diagram displayed on the left of Fig. (2) depends upon whether a specific cube or all of the cubes are currently selected: the small black square on this diagram indicates what symmetry operations have been applied to the cubes, singly and collectively, in order to realise their current configuration. Each node in the Cayley diagram represents a possible cube state and each transition between cube states is associated with an edge that is coloured according to which input button is pressed. The diagram is viewed as a representation of reliable knowledge about how the cubes will react to inputs. All the changes of state within the diagram represent particular observed transformations of the four-cube jigsaw.

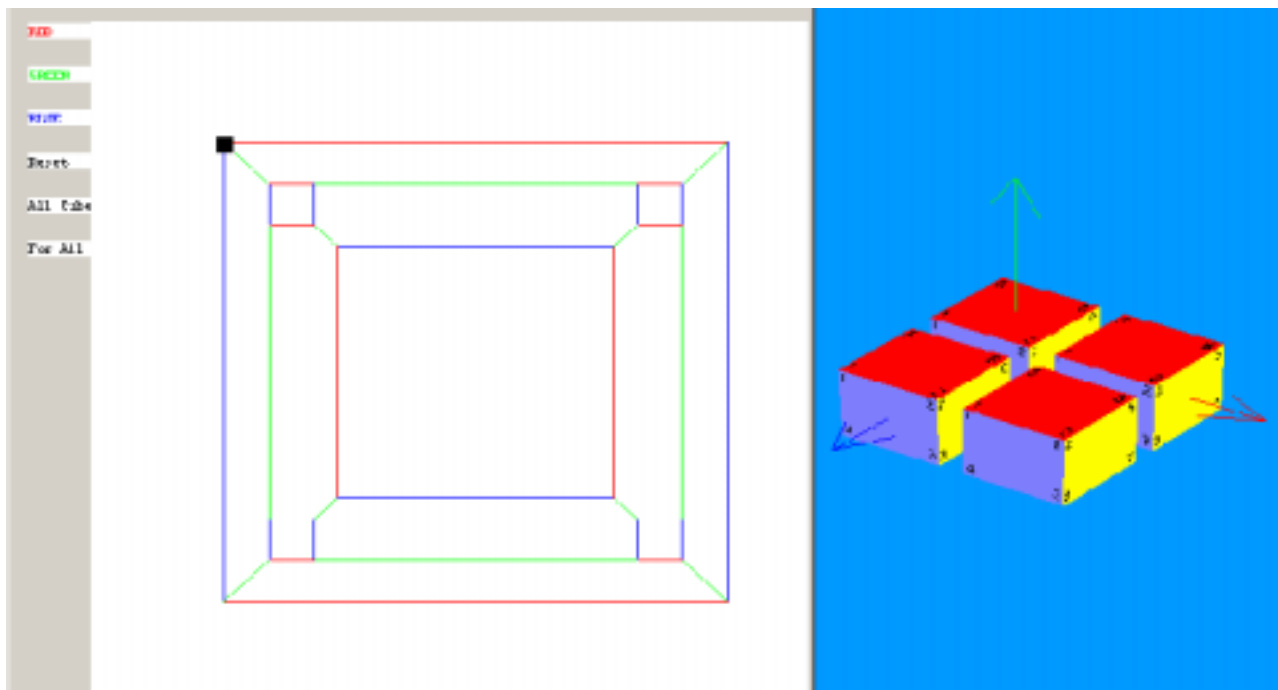


Figure 2. EM artefact of a Four-Cube Jigsaw Puzzle.

When suitable textures have been added to the blocks in Fig. (2), the artefact represents a particular state of the jigsaw, together with latent state transitions that reflect what the modeller expects to happen in response to a particular action. Each state of the referent is specified in terms of the current values of a collection of observables of the artefact. The visual elements in the model represent the current values of the observables, which can be changed by pressing the buttons. The input buttons trigger the agents that act to change those observables. Using the buttons we can simulate the direct action of a solver experimenting with the cubes.

The simple interface through which the modeller can simulate button pressing is one very limited way mode of interaction. The modeller also has access to the state of the artefact through the textual input window for the underlying TkEden interpreter for the modelling environment. This window is the interface through which the entire artefact is constructed: it gives scope to extend and modify all the definitions, functions and triggered actions interactively in a manner that illustrates the openness of EM artefacts.

The jigsaw artefact in Fig. (2) was constructed in the following way:

1. by first constructing one cube and the associated Cayley diagram;
2. by constructing the other cubes and joining them together;
3. by repeatedly texturing the uppermost faces of the four cube, then rotating all the cubes in the same direction.

Exploiting the high degree of interaction with the model allowed by the EM environment, the initial artefact was constructed in an incremental fashion: firstly, by constructing a single cube; secondly, by introducing the input buttons; and then adding the state diagram. The other three cubes were obtained by direct replication of pieces of script (for

defining the geometry of the cube and associating procedural actions), and these were then combined to form a single artefact. The testing phase itself demanded a high degree of interaction leading to the revision and refinement of the artefact.

The process of developing the four-cube jigsaw illustrates issues encountered in many processes of product development, both in respect of design and construction. In developing a strategy for manufacturing such jigsaws, it is useful to be able to model the physical operations and intermediate states involved. By building a script using EM, the modeller develops a state-based representation of the entire configuration of cubes that is useful not only when considering the perspective of the solver (the “user”), but can also be used to track state-changing operations associated with different human agents and purposes. It is possible to organise the dependencies between cube positions, and so link the movement of one cube to another in such a way as to trace the consequences of alternating lamination of the exposed uppermost surfaces of the cubes with cutting out blocks of cubes, for instance. By such means, different ways of creating a particular puzzle can be examined in a virtual environment prior to building the manufacturing platform. Further discussion and illustration of the way in which EM can be useful in studying a manufacturing process is given in [8].

As a final illustration of the flexibility of the jigsaw artefact, it is worth mentioning a well-known puzzle that can be reproduced by making minor modifications to the artefact in Fig. (2). This puzzle, popularly known as “Instant Insanity” [16], comprises four blocks, each face-coloured using four distinct colours to its own specific pattern, that are to be arranged in a row in such a way that when viewed from the front, the top, the back and from below faces of all four distinct colours are visible. Once the similarity between this puzzle and a four-cube jigsaw was remarked, essentially the same modifications of the artefact were simultaneously and rapidly made both in the UK and Brazil to create a virtual model of Instant Insanity. This was then used to trace the steps of the graph-theoretic solution to the puzzle described by Ivars Peterson in his Math Trek column [16] in such a way that the physical transformations involved could be recorded using the Cayley diagrams. The difficulty of this particular puzzle underlines the richness of the potential solution spaces that are associated with four-cube jigsaws, and emphasises the usefulness of modelling that encompasses the product together with its context. It will be of interest to determine to what extent EM artefacts can capture the exceedingly complex solution spaces that can arise in connection with other commercially distributed puzzles. In this connection, an EM artefact of particular relevance is the model of a Rubik’s cube that was created by Ben Carter to illustrate the features of the SASAMI 3-d geometric modelling environment. Extending the techniques applied in this paper to model the solution of the Rubik’s cube puzzle is a natural subject for future work in this area.

## 5. EM FOR INFORMATION MANAGEMENT

Despite the dramatic fall in the cost of computer resources, product modelling by computer remains a costly activity. The main overheads in modelling are associated with capturing and managing information about the product - activities that make essential and considerable demands for human involvement and time. By their nature, traditional modelling approaches also raise major issues in information management. Each different aspect of the product modelling typically generates its own set of data and integration is complicated. It is also difficult to modify models incrementally, as is necessary if adaptation to the evolving product is to be possible.

On this basis, computer-based modelling of a product is generally confined to what is prerequisite for its manufacture, and to those factors associated with its use that are critical in respect of safety or efficiency. More comprehensive modelling is only justified for major products with particular significance for society (such as cars, planes and power plants), where large investments are involved. The usefulness of conventional computer-based modelling is also constrained by the availability of suitable mathematical modelling techniques and algorithms, and is generally targeted at specific engineering concerns (such as the aerodynamics and control aspects of an aeroplane) [14].

The technique for product modelling introduced and illustrated in this paper suggests applications of a different nature. For several reasons, the EM approach is better suited than traditional modelling approaches to developing and maintaining more comprehensive models of small products. Using EM, it is possible to model many diverse aspects of the product in a way that promotes integration, and to address issues relating to the design manufacture, structure and use in a single model. In addressing each particular aspect, the main overhead in the modelling activity is in developing the first useful model. Once this point has been reached, a large variety of simple “what-if?” experiments can be performed for little extra cost. It is also typically possible to update the model in a relatively inexpensive manner.

The motivation for comprehensive “lightweight” modelling in the context of a small product can be illustrated with reference to a fanciful but not entirely implausible e-business scenario that might be adopted for the sale of the four-cube jigsaw puzzle. The concept behind this scenario is that, at the same time as we construct and supply actual jigsaw puzzles, we also create and maintain virtual realisations of puzzles that can serve a variety of different roles. For instance, we might wish to record virtual models as one aspect of a catalogue for our puzzle designs, to use them as an interface for evaluation and marketing on the Internet, and to exploit them in connection with repair, change management and maintenance.

To elaborate on this, imagine that we develop virtual jigsaw puzzles that are available for children to manipulate across the Internet. The level of complexity of such manipulation can be constrained to rotating cubes *in situ* or such as to allow unrestricted movement of the cubes in space via a graphical interface. The content of the jigsaw puzzle can be determined by the manufacturer, but could also be to some degree under the control of the user, who could supply

images of personal interest to serve as textures. The objective would be to allow a child to gain some experience of a product prior to acquiring its physical embodiment. With this in mind, it might be that certain virtual jigsaw puzzles were available to a particular user for a trial period.

There are several ways in which such an exercise in making virtual products might assist marketing. The degree and nature of interest in solving such puzzles across the net would itself be a potential indicator of the viability of the concept. If there were sufficient interest and use, the potential feedback from usage would be helpful in a whole variety of ways: indicating the popularity and difficulty ratings of different jigsaw designs; suggesting themes that might be of particular interest to children; allowing scope for the experimental investigation of different marketing strategies.

The technical details of the jigsaw modelling exercise described in section 4.2 already illustrate how the degree of flexibility in the model and character of the script representation is suited to the demands of such business activity. The direct correspondence between definitions in a script and observables in an actual four-cube jigsaw establishes a convenient direct connection between the description of the virtual product and its physical realisation. This can clearly simplify the task of cataloguing designs and retrieving their counterpart virtual puzzles, thereby reducing the information management overheads.

The potential benefits of better information management can be further illustrated by our fictitious business concept. In present manufacturing paradigms, especially where products are inexpensive to manufacture, the relative cost of maintenance is so high as to be prohibitive. Though it may be very important to a child to be able to recover a lost piece of a favourite jigsaw, it is normally uneconomic for the manufacturer to produce it. The major cost in this regard is that of identifying precisely what has to be replaced - a problem that could be addressed via Internet access. A customer could relatively easily specify the missing part on the virtual puzzle, for instance, and replacing this particular part, rather than wholesale replacement - might be a solution giving greater customer satisfaction having regard to expense and convenience. In so far as precisely targeted information can eliminate unnecessary production work, such a maintenance model might also be more efficient for the manufacturer.

A particular merit of the EM approach to product modelling in this context relates to possible future extensions of a business concept that rely on variations to existing products. In the case of the four-cube jigsaw, there is evidently scope for using the same manufacturing technology to produce another type of product that could be useful in education at a more advanced level. For instance, pupils who were able to master the manipulation of the cube through the abstract interface supplied by the complex of Cayley diagrams in Fig. (2) would be able to use this as a vehicle for illustrating key concepts in abstract group theory. To develop a product line, for instance, in the form of a software package to be used in conjunction with a physical artefact would involve little extension of the existing modelling activity.

In the above discussion, the potentially unrealistic nature of our illustrative example in section 4.2 is acknowledged, but this does not detract from the general significance of the observations that have been made. On this basis, there is some indication that EM can be helpful as an enabling technology for the new business paradigms that will emerge through applications of the Internet.

## 6. CONCLUSION

This paper describes an approach, Empirical Modelling (EM), that is well suited for the construction of conceptual representations of the experiential knowledge associated with real-world phenomena. Observation and experimentation are the key principles in EM. EM is essentially informed by the knowledge about the referent acquired during the model construction. This knowledge is used to extend the model and evolves as the modelling process progresses. By exploiting the flexibility offered by an EM environment we can construct models that are always open to extension, refinement and revision. This flexibility distinguishes EM from many conventional modelling approaches. Our case studies and discussion of them demonstrate that EM is a promising alternative approach to modelling products in design processes.

## 7. ACKNOWLEDGMENTS

The authors are indebted to Ben Carter, Allan Wong and Michael Evans for practical support that has contributed to the artefacts discussed and developed in this paper.

## 8. REFERENCES

- [1] Allderidge, J., Beynon W.M., Cartwright, R.I., Yung, Y.P., 1998. "Enabling Technologies for Empirical Modelling in Graphics". Proc. Eurographics UK, 16th Annual Conference, 199-213.
- [2] Beynon, W.M., 1999. "Empirical Modelling and the Foundations of Artificial Intelligence". Computation for Metaphors, Analogy and Agents. Lecture Notes in Artificial Intelligence 1562, Springer, 322-364.
- [3] Beynon, W.M., Bridge, I., Yung, Y.P., 1992. "Agent-Oriented Modelling for a Vehicle Cruise Control System". Proc. ASME Conf. ESDA'92, Istanbul, 159-165.
- [4] Beynon, W.M., Rungrattanaubol, J., Sun, P-H, Wright, A., 1998. "Exploratory Models for Open-Ended Human-Computer Interaction". Research Report RR346, Dept. of Computer Science, University of Warwick, UK.

- [5] Beynon, W.M., Yung, Y.P., 1992. "Agent-Oriented Modelling for Discrete-Event Systems". Proc. ICC Coll. Discrete-Event Dynamic Systems, Digest 1992/138, June.
- [6] Erens, F.J., McKay, A., Bloor, S., 1994. "Product Modelling Using Multiple Levels of Abstraction: Instances as Types". Computers in Industry, Vol.24, No.1, 17-28.
- [7] Euwe, M.J., Schuwer, R.V., 1993. "Configuration of Complex Products". Computers in Industry, Vol.21, 1-10.
- [8] Evans, M. Beynon, W., Fischer, C.N., 2001. "Empirical Modelling for the Logistics of Rework in the Manufacturing Process". In these proceedings.
- [9] Fischer, C.N., Beynon, W.M., 2001 "Empirical Modelling of Products". Proc. WMC01, Phoenix, Arizona (to appear).
- [10] Grossman, I., Magnus, W., 1965. "Groups and their Graphs". The Mathematical Association of America, New Mathematical Library Series.
- [11] <http://www.dcs.warwick.ac.uk/modelling>.
- [12] <http://www.lar.ee.upatras.gr/icims/noewww/sotastc.htm>
- [13] <http://www.sourceforge.net/projects/eden>
- [14] Koenig, J.S., Sharp, W., Linda, K.M., Wells, V., Metzger, R.P, Rodriguez, A.A., 2001. "Development of A Rotorcraft Modeling, Simulation, Animation, and Real-Time Control (MoSART) Environment. Proc. WMC01, Phoenix, Arizona (to appear).
- [15] Ness, P., Beynon, W.M., Yung, Y.P., 1994. "Applying Agent-Oriented Design to a Sail Boat Simulation". Proc. ASME Conf. ESDA'94, London.
- [16] Peterson, I., 1999. "Averting Instant Insanity". [http://www.maa.org/mathland/mathtrek\\_8\\_9\\_99.html](http://www.maa.org/mathland/mathtrek_8_9_99.html).
- [17] Sun, P.H., Beynon, W.M., 1999. "Computer-Mediated Communication: a Distributed Empirical Modelling Perspective". Proc. of CT'99, San Francisco, August.

## Empirical Modelling for the Logistics of Rework in the Manufacturing Process

**Michael Evans**

**Meurig Beynon**

Department of Computer Science, University of Warwick, Coventry CV4 7AL  
csuhl, wmb@dcs.warwick.ac.uk

**Carlos N. Fischer**

Departamento de Estatística, Matemática Aplicada e Computação, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Brazil.  
Rua Dez. 2527; CP178; Santana; Rio Claro, SP, 13500-230  
cfischer@rc.unesp.br

***Abstract.** The application of a new modelling paradigm ("Empirical Modelling") to issues associated with rework in a manufacturing process is illustrated with reference to the construction of an "interactive situation model" for a simple production process. This model is built up incrementally in a manner that is guided at every stage by experience gained through its execution, and in this respect imitates the manner in which systematic processes are generated from interaction with artefacts, other people and the environment that is at first unconstrained. The roles of the producer and the assembler in our model can be performed manually on different clients in a network, and each can also be independently executed automatically. This approach to modelling offers more insight than a conventional process model into how concrete activities underpin the abstract process. It can also be used as to stimulate imaginative problem identification and solution, and to assist conflict resolution.*

***Keywords:** manufacturing process, rework, logistics, Empirical Modelling.*

### 1. Introduction

Empirical Modelling is a new paradigm for computing that has been developed at the University of Warwick, UK [EM Group, 1999]. It exploits principles for computer-based modelling that focus on identifying patterns of agency and dependency through observation and experiment, and embodying these patterns in artefacts that are constructed in an incremental fashion using special-purpose software tools. Previous papers have described applications of EM to engineering design [Beynon et al, 1994] and product modelling [Fischer and Beynon, 2001]. The aim of this paper is to illustrate, by means of an artificial but instructive example, how EM can in principle be used to address logistic issues in the manufacturing process. Our particular focus is on issues associated with rework.

Rework activities arise in connection with an established process model that operates in the context of diverse real-world factors, such as constraints on assembly, availability of parts, current status of the partially constructed product etc. Routine rework occurs when the relationship between the current stage of the process and the "real-world" state is inappropriate but nevertheless has been anticipated. For instance, a process may make exceptional provision for damage of a part during assembly. More radical rework, potentially involving re-engineering of the process itself, occurs when an unprecedented discrepancy between process stage and real-world state is encountered. The revision of the manufacturing process must typically reflect a yet broader range of factors, relating to cash-flow, employee capability and safety etc.

In a traditional modelling approach, it is difficult to take account of the manufacturing process and the associated real-world factors in a unified way [Curtis et al, 1992; Kratz and Rose, 1996]. For instance, the process could be represented by a Petri-net and the partially constructed product by a CAD model, but the precise correspondence between stages in the process and status of the product would typically be hard to represent. In any event, failures in the process might be attributable to other logistic factors, such as the location of personnel. The strength of EM in this context is that it allows real-world state to be modelled in an open-ended extensible fashion so as to take account of new factors as they become relevant. It also enables explicit modelling of singular conditions and gives scope for the opportunistic intervention that is required to model rework scenarios.

#### 1.1. The logistics of rework

Three kinds of practical activity are involved in a manufacturing process: standard work within the normal scope of the process, routine rework where the nature of the rework problem is familiar and remedial procedures are in place, and exceptional rework where unprecedented or ill-understood problems are encountered. The complex interaction between these activities frames the logistics of rework. Typical tasks and objectives to be addressed include:

- monitoring the process in operation and identifying and classifying rework
- setting up new routine rework scenarios and associated administrative and recovery procedures
- improving the manufacturing process to reduce the need for rework
- exploring the implications for rework of changes to the normal process
- decision-making for recovery in the event of exceptional rework.

A major issue in this logistics exercise is that the scope of the factors to be taken into account is exceptionally broad. Many of these factors are not typically referred to in the abstract process. For instance, there are practical considerations affecting the execution of the normal process, such as the capabilities and location of workers, the environmental conditions and the characteristics of the equipment used. There are business issues relating to financial and personnel matters. The decision-making takes place in a context where there are real-time concerns and live issues concerning suspended processes to be reckoned with. There are many viewpoints to be taken into account, potentially involving conflict and the need for diplomacy, and – for exceptional rework scenarios – the issues raised may be outside the scope of normal contractual requirements.

It is instructive to compare the logistics exercise for rework with the traditional requirements analysis and design activity involved in the conception of a manufacturing process. The typical approach to process specification is to make an in-depth analysis of the manufacturing objectives and business needs, and model this requirement before proceeding to implementation. Dealing with rework entails adding error detection and exception handling to this framework – as well as potentially revising the specification of the normal process – in a dynamic fashion that is guided by feedback from the practical execution of the process itself. This poses an exceptional challenge, bearing in mind that the conception of a process and its subsequent execution are activities that are typically associated with entirely different contexts. Taking rework into consideration also promotes volatility in the manufacturing process: minor changes in the manufacturing context that are abstractly insignificant – such as a change in personnel or in the supplier of a component – may expose hidden reasons for consistently successful execution, and motivate process re-engineering.

## 1.2. Process Modelling

Modelling is a natural way in which to give support to decision-making [Klein and Methlie, 1995]. The complexity of the issues associated with the logistics of rework pose a particular challenge for a model-based strategy. The principal concern is the feasibility of devising an informative model of rework activity.

Traditional approaches to process modelling are problematic where rework is concerned. Whether our process model is abstract or has the character of a simulation, its construction relies upon comprehensive prior knowledge of the pattern of states and transitions that is to be represented. Whilst this enables us to model routine rework to some degree, it cannot deal with exceptional rework, where the circumstances that arise and the factors that must be taken into consideration are – by definition – not known in advance. The modelling that can be done in a traditional paradigm is an application of the expert's pre-existing knowledge of the manufacturing process, but the model that would be most useful in the logistics exercise must deal with knowledge as it is being discovered by the expert through observation and interaction in the actual manufacturing environment.

To elaborate on this issue, it is helpful to contrast two perspectives on the manufacturing process: the one idealised, the other realistic. In the idealised view, the activities of the process are viewed abstractly with reference to very specific ways of observing the actual activity. Not all the actual activity that goes on in executing the process is seen as significant. In the realistic view, the process is understood with reference to how it is experienced by the participants and viewed by a manager in a specific instance. In the realistic view, the characteristic interactions of the process are only a part of the total observation, some of which may have either hidden or no apparent relevance to the process itself. In normal circumstances, it is natural to think of the idealised and realistic views both separately and as conjoined. For instance: the worker who says 'this is a tricky process' refers to the realistic view; the business analyst who says 'this is a over-complicated process' refers to the idealised view; the manager who asks 'how do we know when to begin the testing phase?' is referring to both views.

In a rework scenario, the normal way in which we can conceive the idealised and realistic views both separately and conjoined is no longer appropriate. Rework relates to circumstances in which the standard relationship between the idealised process and the manufacturing activity itself breaks down, and it becomes impossible to view both together in a coherent way. There are always many ways in which such a breakdown can occur: through flaws in the process, extraordinary events in the actual environment, or human error. The aim of the rework activity is to realign the actual situation with the state of the idealised process, but there is no guarantee that this is possible in general. It all depends upon the severity of the discrepancy, and any process dealing with rework will always have an escape clause (resembling an 'exception handling routine' in a program) to trap problematic scenarios that could not possibly have been foreseen.

This discussion shows that modelling for logistic support in rework must in some way integrate the systematic activity associated with the idealised manufacturing process with realistic observation of the manufacturing environment in a highly flexible and possibly ad hoc manner.

The domains of activity associated with standard work, with routine rework and exceptional rework, as defined by the current process status when viewed from both the idealised and the realistic perspective can be conceived as nested as in Fig. (1). The three regions of the figure, from inner to outer, correspond to what an external observer (such as the work scheduling manager) sees in the manufacturing environment when the process is going according to plan, when



rework is in progress according to preconceived plan, and when there is an unprecedented discrepancy between the abstract process and what is being actually observed. The outermost boundary, fuzzily defined, delimits those situations from which recovery of the process is conceivable – for instance, a catastrophic event at the factory would create a situation outside this scope.

Traditional process modelling techniques target the activities that can be captured in systematic processes. They can represent what lies within the scope of the work and routine rework processes, and each modelling approach can take account of different aspects abstracted from the idealised and realistic perspectives on these. Many different approaches, including programming models, functional models, plan-based models, Petri-net models and quantitative models, are reviewed in [Hua et al, 2000; Warboys et al, 1999], where the prospects for an integration of approaches to take account of transaction processing together with communication and coordination are also examined. In principle – and at the cost of a much greater investment in formalising the manufacturing process – it may be possible for such integration to address a richer range of concerns encompassing to some degree environmental factors and human observation and interaction.

For logistic purposes in dealing with rework, this is not enough. Such techniques for modelling the process cannot take account of the human observation and assumptions about context that are tacit in normal successful execution, nor can they be integrated with the human intervention that is necessary in general to deal with the unforeseen.

### 1.3. Empirical Modelling

Our approach to tackling the logistics for rework problem is based on a new approach to modelling (“Empirical Modelling”) developed at Warwick (cf. other refs on EM for decision-support). EM is unusual in that it first focuses upon modelling the states and potential agency in the environment in which a process is enacted, rather than the pattern of states and transitions that define the abstract process itself. The model of environmental state constructed in EM metaphorically serves the role of a canvas on which the modeller can trace the process, taking account of whatever environmental factors become relevant in an open-ended fashion as the model is being developed. This will be illustrated in our case study.

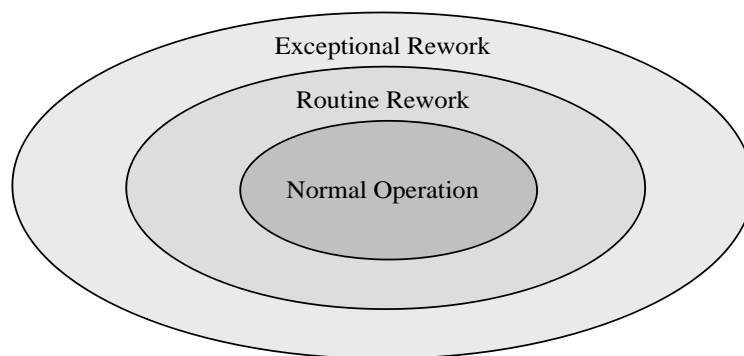


Figure 1. Normal operation, routine rework and exceptional rework

The orientation of EM towards representing the manufacturing process can be best understood with reference to Fig. (1). Conceptually, the representation of the manufacturing process in Fig. (1) is interpreted by viewing the activities from the innermost outwards. Normal operation of the process takes precedence over (presumably much more infrequent) routine rework, which in turn takes precedence over (presumably very infrequent) exceptional rework. When viewing the manufacturing process from the realistic – and from the EM – perspective, it is more appropriate to interpret Fig. (1) from the outermost inwards. For the uninitiated observer in the manufacturing environment, abstracting the observations that are significant in the manufacturing process, and distinguishing those that are associated with instances of rework, is difficult – if not impossible. Identifying the idealised view of the manufacturing process and correlating this with what is observed in practice typically involves a long process of familiarisation and the observation of many instances of the process in operation.

The outermost-inwards interpretation of Fig. (1) is also the most relevant to the logistics of rework. The original conception of the manufacturing process and its subsequent evolution are shaped by the identification and systematic organisation of reliable patterns of interaction that are first encountered – in ways that are not clearly differentiated into categories as in Fig. (1) – in the experience of the participants. Whereas it is usual in the idealised view to interpret Fig. (1) as describing the way in which normal operation degenerates into rework situations ranging from standard to chaotic abnormality, the manufacturing process is seen in the realistic view as emerging through evolution and growing

familiarity from chaotic experience. The latter view is characteristic of the ongoing comprehension and re-engineering activities that are associated with the agenda for logistics set out in section 1.

Our principal objective in this paper is to show that, by applying EM principles and tools to an artificial but instructive case study, it is possible to trace the activities that lead to the identification of the work and rework processes, and so provide computer-based modelling support for their execution and development.

## **2. The production process case-study**

### **2.1. Principles of EM**

From a semantic perspective, the models developed in EM resemble spreadsheets, rather than conventional programs with a specific function and behaviour. A spreadsheet is viewed in a particular state, and this state corresponds directly to the state of an external referent. EM exploits scripts of definitions ('definitive scripts') – similar to the network of definitions that connect the values of spreadsheet cells – to represent state. Transitions are then represented both by the redefinition of existing variables in the script and by the introduction of new definitions (the counterpart of extending a spreadsheet through the addition of new cells). This approach to representation of state by computer is exceptionally expressive and powerful – it makes it possible to construct artefacts that imitate the state of a real-world environment in ways that are beyond the scope of computer models targeted at the goal-directed specification of pre-conceived patterns of state change, such as characterise the idealised manufacturing process. The quality of the imitation of state that EM provides is not primarily concerned with realism, but with representing the patterns of agency and dependency that the modeller projects on to the referent. This is similar to what happens in a spreadsheet – the user changes the cost of a component by redefining a cell (exercising agency), and expects the cost of the product and the profit from its sale to change accordingly (through a dependency).

In modelling a manufacturing process using EM rather than a conventional modelling technique, there is a trade-off. Conventional process modelling describes patterns of state change explicitly, but describes the states only in an abstract implicit manner. No matter how rich the choice of observables used to describe the manufacturing process, there will be observables, evident in the realistic perspective, that have not – and, without revising the model, cannot – be taken into account. EM explicitly addresses the modelling of state-as-experienced, but – in the first instance, at any rate – represents processes only implicitly as particular patterns of state change that can be enacted by the modeller. Naturally, no definitive script can take account of all the observables associated with a particular realistic state to which it refers, but the explicit control that the modeller can exercise over the script at any stage allows the choice of observables to be opportunistic rather than constrained by prior commitment. This is similar to the way in which an interaction with a spreadsheet can signify a change of state ("the price of a component has been reduced") or a change of model ("the sale price now takes account of a new tax regulation").

A detailed account of EM principles and tools is beyond the scope of this paper. This section concludes with a brief review of the main ideas needed to appreciate the case-study that follows.

With the concept of the outermost-inwards development of a manufacturing process in mind, the initial focus for EM is on the observables, dependencies and agency in the environment in which the process is to operate. The product of the modelling is a script, together with an appropriate family of automatic agents. This is developed by the modeller stage-by-stage and step-by-step in an interactive manner so as to reflect the emergence of a systematic process from an initially ill-defined environment through observation and experiment. Because of the interactive and situated nature of the model-building activity, the evolving computer model is described as an "interactive situation model" (ISM) [Chen et al, 2000].

The construction of the ISM exploits a purpose-built software tool – the EDEN interpreter. This allows the modeller to create a definitive script to represent both the internal state of the computer and the state of the computer display, and automatically maintains the dependencies amongst all the ingredients of state prescribed by the script. The modeller can also devise operators to be used in the formulae associated with definitions, and introduce actions to redefine variables in the script automatically subject to appropriate preconditions. EDEN supports several different interfaces through which to extend or amend the definitions in the script. There is an input window, through which the model-builder can act as an agent with unrestricted access to the entire script. There are means within the modelling paradigm to supply customised interfaces designed for specific modes of interaction with the model. The interpreter can also be run in a distributed mode over several workstations in a client-server configuration.

### **2.2. Case study: a simple producer-assembler process**

The case study used to illustrate the potential application of EM to rework in a manufacturing process involves constructing a 'process-rework' ISM – the PRISM – in the form of an abstractly defined producer-assembler process. Where the logistics of rework is concerned, it is more important to model the activities that are involved in the process

than the actual nature of the components and assemblies being manufactured. On this basis, the PRISM involves generating characters and substrings – representing the components of an assembly – and combining these to form a sentence – representing the product to be manufactured. The roles of the producer and the assembler in the PRISM are to be played on two separate client workstations, connected to a server that mediates their communication and records the contents of an intermediate store.

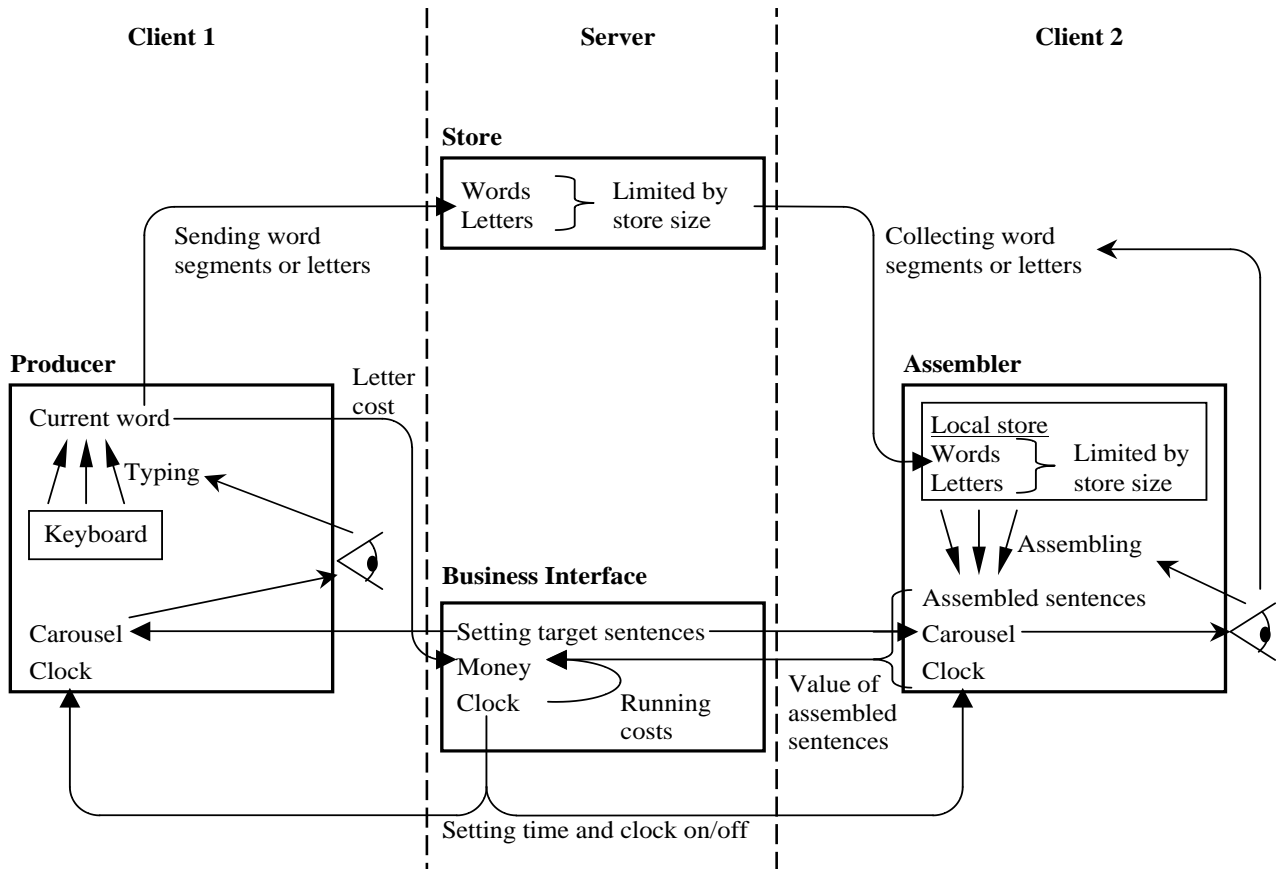


Figure 2. A diagrammatic representation of the distributed producer-assembler PRISM

As will be illustrated below, there is no particular conceptual or technical difficulty in extending the PRISM to handle more realistic components and products. This is just one of many possible extensions of the PRISM that can be developed by elaborating the model of the environmental state to include richer observables – an elaboration that in principle can be carried out by a seamless revision of the definitive script quite unlike the re-engineering of a conventional software model. Without such extension, the PRISM is a suitable metaphorical representation of the production process as it might appear to a manager with expert knowledge of business interaction but only a basic knowledge of the physical mechanisms in the assembly. It might be that even such a manager would in some circumstances need to know more about assembly at this level of detail, and ad hoc extension of the PRISM to reflect this need is also within the scope of the EM paradigm.

The primary motivation for the case study is to demonstrate that the development of an ISM can trace the emergence of a manufacturing process from interaction with the environment that is initially only loosely constrained and structured. This emergence of order from chaos is analogous to the way in which children develop a game out of casual interaction with each other and appropriate artefacts such as walls, tennis balls or toys. In the earliest phase of such development, the focus is on identifying activities that can be performed to a ritual pattern with some degree of reliability, often subject to acquired skill. After a time, a framework informally specified by rules of interaction is established, but these – like the business rules of the manufacturing process – generally need to be reworked as new scenarios are encountered and players become more skilful, or learn to take advantage of flawed rules and concepts. The logistics of re-engineering and refining games is similar to the logistics of rework. By way of illustration, an ISM that can be used to generate a family of games based on principles similar to OXO, including all manner of non-standard variants that can be freely devised by the modeller is described in [Beynon and Joy, 1994].

The PRISM was developed by Michael Evans. The first phase involved the construction of a suitable artefact to represent the role of the producer. Since the correspondence between the PRISM and its intended referent is shaped by

observables, dependency and agency, the goal of this construction was to provide an interface for generating letters that could imitate the production of real components. To his end, Evans experimented with a variety of different styles of keyboard, and with different strategies for displaying the results of actions to the producer. In the current model, as described in more detail below, the producer operates a mobile phone keyboard, and there is no direct indication on the display of which letter has been generated. The development of such a device illustrates the prominent role that experiential concerns play in EM – the response of the keyboard is governed by timing considerations, and has to be tuned to human expectations. It also underlines the shift in emphasis in EM: in abstract process modelling, an event such as the production of a basic component might correspond to any number of experientially different actual processes.

The major phase of the development involved the continuous evolution of the PRISM over a period of about two months. The initial model featured one user acting as both the producer and the assembler, with the construction of the alphabet as the target. The two roles were next separated and distributed to introduction of two roles, and a carousel to allow a sentence to be simultaneously displayed to the producer and assembler was added. Physical constraints concerned with movement between the store and the assembly area, with a restriction on the number of items carried, were then introduced. To reflect the business context, the time taken to assemble a sentence was taken into account, together with a financial model that incorporated a reward for sentence completion that depreciated with time. This was then complemented by the introduction of a richer interface, e.g. to allow access to more than one carousel, include the clock and cash balance in the display. The most significant feature of this development activity was the way in which the precise direction of the extension of the model at each stage was guided by experience of its use, and by the desire to ensure that as many diverse elements of a realistic manufacturing process as possible were represented. There is no conceptual reason why this enhancement of the model could not continue yet further – the chief limitation being the capacity of our modelling tool to record a definitive script and to manage the complex interaction of agents over an extended period of time.

### 2.3. An overview of the PRISM

Figure 3 is a screenshot of the assembler's interface in the latest version of the PRISM. In outline, the process involves a producer who generates letters and combines them into short segments of words selected from the target sentence, an assembler who combines these into a target sentence. The letters and word segments generated by the producer are passed to the main store depicted at the top right of Fig. (3), where they are collected by the assembler to be brought back to the assembling area. The production process is constrained in that letters and word segments once combined cannot be broken apart and that a target sentence must be assembled exactly in order to earn the financial reward.

The producer uses a mobile phone style keyboard to generate letters and word segments that are sent to the main store subject to space being available. This choice of keyboard, and the fact that there is no visual feedback to the producer when letters are generated, promotes errors when the producer's role is enacted manually. As shown in Fig. (2), the ISM runs on a client-server configuration where the producer and assembler run as clients to a server that implements the functions of the main store and supports a 'business interface' through which target sentences can be specified and where details concerned with time and money are displayed. The generation of letters and the working time for the producer and assembler are taken into account in the costing model. On collecting letters and word parts from the main store, the assembler retrieves them for assembly from a local store and uses them to assemble a sentence identical to the target sentence displayed on the carousel. The value of the sentence on successful assembly is assessed according to its timeliness. The calibration of the time and costing parameters was another subject for empirical determination during the modelling process.

The components of the screenshot include a clock, a carousel which displays the words of the target sentence one at a time, an automation button that allows the role of the assembler to be played either manually or automatically, and a sensitive region that, when in focus under the mouse, allows input from the computer keyboard. Similar components feature in the producer interface. The word segment and letter store features at both the main store and in the assembly environment, and movement between these environments is triggered via a mouse button. The mobile phone keyboard interface in this store region of the screen is used to select components either for collection in main store, or for insertion into a word within the sentence currently under construction. When parts are being collected from the main store, they are displayed in a box. The panel used for assembling sentences is active only in the assembly environment. The lower section of this panel is used to select the sentence currently under construction, or to initiate a new assembly task. The upper section is used for the sentence construction: in this section, blank words can be inserted, particular words can be selected, and the cursor can be positioned so as to indicate the position in which components retrieved from store are to be inserted.

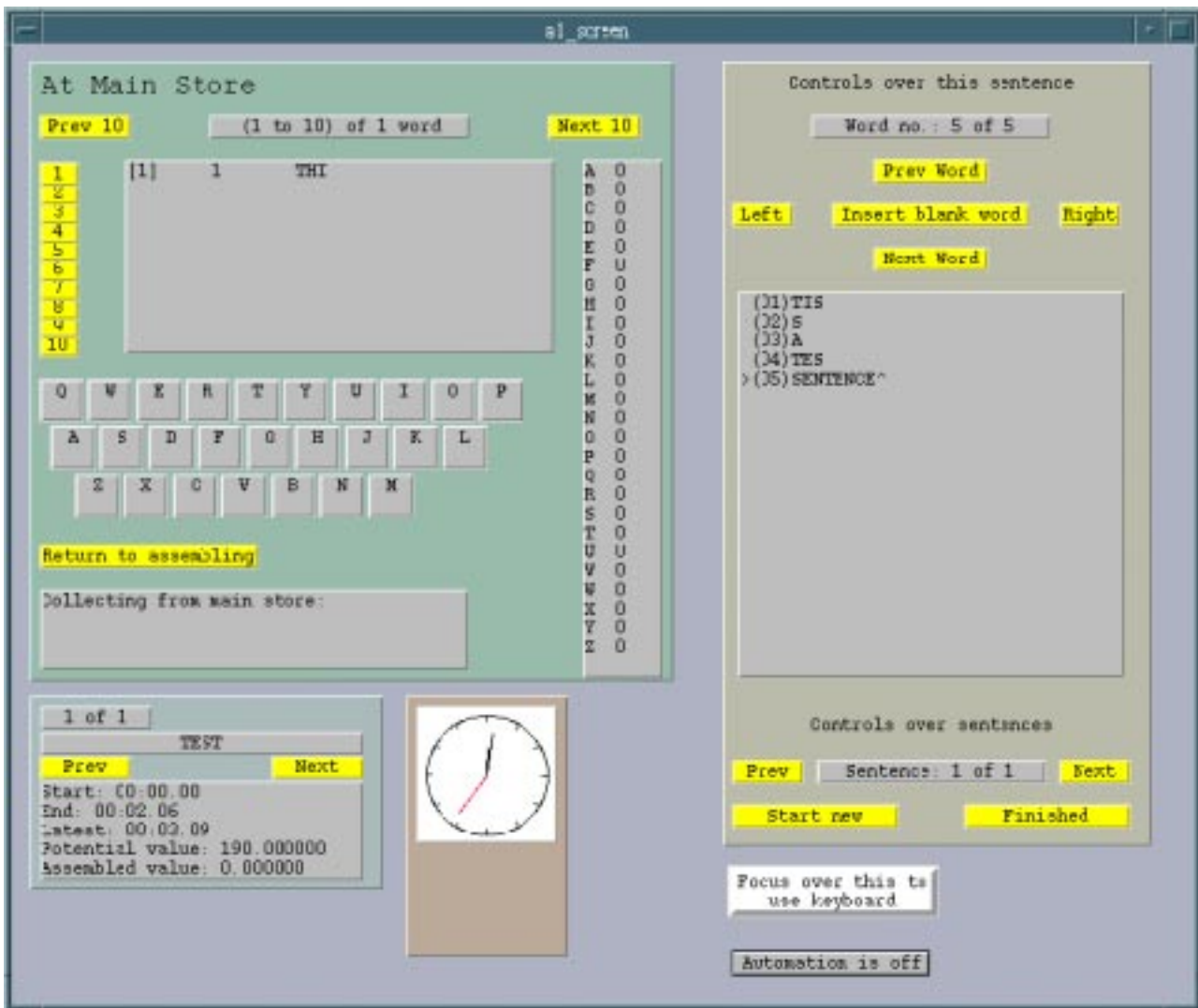


Figure 3. A screenshot of the interface for the assembler

The screenshot in Fig. (3) highlights a situation necessitating rework that was first identified through automatic execution of the PRISM. The target sentence in this instance is: “THIS IS A TEST SENTENCE”. The assembler composes the word segments “IS” – intended to serve as the word “IS” in the target, and subsequently composes the word segment “THI” as the beginning of the word “THIS”. As there is no communication between the producer and the assembler, the assembler is prone to locate word segments inappropriately. In this case, the segment “IS” is interpreted as part of the word “THIS”, so that there is subsequently no position in which the segment “THI” can be placed. Rework in this instance can be simulated by intervention on the part of the modeller, acting on behalf of the producer to generate the letters “T”, “H” and “I” that the producer can use to complete the target. A side-effect of such a rework problem is that the component “THI” remains unused in store, and the cumulative effect of such problems is eventually to fill up the store with redundant components.

### 3. Application of the PRISM

This section reviews the development of the PRISM with particular attention to those features that show the potential of EM in providing support for the logistics of rework.

- Exposing the empirical roots of a manufacturing process

It is characteristic of a person with insight into a manufacturing process that they know (or have a shrewd intuition about) what would be relatively easy to change, what would be difficult to change, and why. Where the logistics of rework are concerned, it is vital to have this kind of knowledge so as to be able to discriminate between modifications that can be made without serious disruption and those that involve complex re-engineering. Acquiring this intuition

involves understanding the empirical basis for the abstract process. A conventional process model is of limited use in this respect.

The ISM was constructed by tracing the empirical development that might typically lead to a manufacturing process. The product of this activity is an abstract manufacturing process together with an understanding of the empirical and experiential aspects on which it relies, and an ISM that embodies the experimental contexts required to confirm and corroborate this understanding. The development of the PRISM using EM more closely resembles traditional engineering than a business or software process methodology. At each stage, experience of use had to be gained and the reliability of interaction established prior to further development. For instance, the basic form the producer-assembler interaction was established at a relatively early stage, but the experiential aspects concerned with timing and the modes of observation and action evolved from experimental use. Likewise, the implications of machine failures or human error could only be considered after a reliable and intelligible process had been established. The way in which the development of PRISM creates a legacy of experimental environments is also characteristic of an engineering activity. For instance, PRISM has spawned several alternative models for character input via a graphical interface.

- Stimulating brainstorming through rich and imaginative process analysis

Because of the breadth of issues involved in the logistics of rework, it is essential to view the manufacturing process in an open and imaginative manner. Neither the triggers for rework nor the implications of rework are captured in an abstract process model. If the focus of the decision-maker is on a traditional process model, the idealised view of the manufacturing process acts as a filter through which to see the realistic behaviour, and this promotes a closed-world perspective.

A significant feature of developing the PRISM was the way in which the imagination of the modeller was engaged. Conceptual progress towards framing and comprehending possible production processes was typically made by imposing real-world interpretations upon the experience gained from experimenting with the PRISM. For instance, in the assembler's view of the PRISM, the movement from the assembly location to store location is animated in such a way as to provoke the consideration of several questions that are relevant to the real production environment: How long does it take to move between the assembly point and store? What constrains the number of items that can be retrieved from store at one time? When does the assembler have visual access to the store contents, to what extent is this comprehensive, and what is the role and benefit of memorising store contents to the assembler? Automatic execution of the model further highlights activity of this nature – when the automatic process breaks down, it is natural for the modeller to project on to the PRISM explanations that might apply to the real situation. A further benefit of an EM approach in this connection is that minor interactions with the PRISM enable the modeller to modify the relevant features so as to set up corresponding 'what if?' scenarios. This encourages exploration and experiment, and helps to create in-depth understanding of the mechanisms underlying the abstract process.

- Envisioning problems and solutions

A common and taxing issue in dealing with complex processes is the evaluation of potential solutions. It is well-recognised that such evaluation is difficult if not impossible in the abstract, and often has to involve empirical investigation (in the spirit of what Grandin and Sacks (1996) describe as 'envisioning'). Traditional simulation can be invoked in this context, but it is typically a slow and costly activity to be introduced with discretion, as when the implications of a poor decision are exceptionally serious. It is also cumbersome, in that the requirements for the simulation exercise are difficult to anticipate and subject to change dynamically as insight is gained.

The development of the PRISM shows that simulation in EM, though unsuitable for tackling large scale problems that for which traditional simulation is required, can be a relatively agile and lightweight activity. It was possible to take account of additional factors such as cost and time by extending the PRISM, to identify potential problems for sentence construction through the automation of the producer and assembler, and to carry out a range of 'what-if?' experiments to tune the process model for human use. The advantages of the PRISM include:

- scope to combine automatic manipulation and manual interaction with state in an opportunistic and efficient manner,
- means to revisit conceptual threads in an analysis without any dislocation of thought, and to further develop or adapt associated components of the PRISM,
- a coherent and integrated framework within which to conduct simulations to investigate a family of related problems.

This encourages a pro-active approach to the identification of possible pitfalls in a process specification. For instance, within PRISM, by judicious superagent intervention, it is possible to simulate the theft of components from store, human errors or equipment faults in the component generation, and synchronisation problems generated by mismatched workers.

- Conflict identification and resolution

The need to take account of so many different perspectives on the manufacturing process is a major issue in the logistics of rework. The view of a business analyst who focuses on the efficiency of an abstract process may well be a conflict with that of an actual participant, and take little account of the potential implications for rework. When a need for exceptional rework arises, the perceptions of the interested parties are not in general consistent, and stem from different kinds of knowledge and levels of understanding. A hierarchical personnel structure may be subverted in such scenarios – the least privileged worker may be the one who is best informed to make a decision.

The distributed and open-ended nature of the PRISM is well-suited to the investigation of such issues. By adopting the role of superagent, it is possible to simulate actions on behalf of all the participants, as if from their personal perspective. For instance, when – as can happen in the absence of communication between the assembler and producer – it becomes impossible for the assembler to complete the current sentence without improvised action on the part of the producer, the superagent can step in to resolve the problem by manual interaction.

#### 4. Conclusion

Many processes in science and engineering are precisely prescribed by theories and equations. Business processes are much less tightly prescribed, and cannot be completely closed in character – in particular, it is impossible to give a full account of the role of human agents. The solutions to problems in science are generally precisely determined by mathematical reasoning. In contrast, business solutions admit myriad minor adaptations. The distinctive characteristics of business processes are not reflected in the paradigms that are most commonly applied to process modelling and problem solving, which – following the example of science – can only take account of empirical evidence and techniques in a limited and predetermined way. The concept of an ISM offers an alternative paradigm in which automatic problem-solving activities and the intelligent intervention of human agents can co-exist harmoniously. By exploiting the way in which model-building in EM records the interdependency between different pieces of knowledge, and their relationship to experience, it becomes possible to explore many processes and many possible solutions in an integrated fashion.

#### Acknowledgements

The authors are indebted to the EPSRC for support under grant GR/M02675 associated with the AMORE project [Fernandes et al, 2000]. They are also grateful to Kiran Fernandes and Simon Rawles for useful discussions and helpful references.

#### References

- Beynon, W.M., Adzhiev, V.D., Cartwright, A.J. and Yung, Y.P., 1994, "A New Computer-Based Tool for Conceptual Design", Proc. Workshop Computer Tools for Conceptual Design, Univ. of Lancaster, pp. 171-188.
- Beynon, W.M. and Joy, M.S., 1994, "Computer Programming for Noughts-and-Crosses: New Frontiers", Proc. PPIG'4, Open University, January, pp. 27-37.
- Chen, Y-C., Russ, S. and Beynon, M., 2000, "Empirical Modelling For Business Process Reengineering: An Experience-Based Approach", Proc. Workshop on Perspectives in Business Informatics, Rostock, Germany, March.
- Curtis, B., Kelner, M.I. and Over, J., 1992, "Process Modeling", Communications of the ACM, Vol. 35(9), pp. 75-90.
- EM Group, 1999, <http://www.dcs.warwick.ac.uk/modelling>.
- Fernandes, K.; Raja, V., Keast, J., Beynon, M., Chan, P-S. and Joy, M., 2000, "Business and IT Perspectives on AMORE: a Methodology using Object-Orientation in Re-engineering Enterprises".
- Fischer, C.N. and Beynon, W.M., 2001, "Empirical Modelling of Products", in Proc WMC01, Phoenix, Arizona (to appear).
- Grandin, T. and Sacks, O.W., 1996, "Thinking in Pictures: And Other Reports from My Life With Autism", Vintage Books.
- Hua, B., Zhou, Z., Yang, S. and Cheng, S., 2000, Integration of Technology and Management for the Process Industry in 21<sup>st</sup> Century, Proc. IDPT 2000.
- Klein, M.R. and Methlie, L.B., 1995, "Knowledge-based Decision Support Systems with Applications in Business", 2<sup>nd</sup> edition, Wiley.
- Kratz, N. and Rose, T., 1996, "Modelling and analysing processes in production and administration, Computer-Assisted Management and Control in Manufacturing Systems", Springer-Verlag, pp. 122-147.
- Warboys, B., Kawalek, P., Robertson, I. and Greenwood, M., 1999, "Business Information Systems: a Process Approach", McGraw-Hill.

## ESTRATÉGIA ÓTIMA DE CONTROLE EM PROBLEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

**SILVA, M.G.** – mgsilva@feg.unesp.br  
Organização Guará de Ensino ( O.G.E.)  
Av. Pedro de Toledo, 195 - Vila Paraíba  
125000-000 – Guaratinguetá - SP

**ORTIZ, L.M.R.**  
Organização Guará de Ensino ( O.G.E.)  
Av. Pedro de Toledo, 195 - Vila Paraíba  
125000-000 – Guaratinguetá - SP

**AZEVEDO, J.L.F.** – azevedo@iae.cta.br  
Centro Técnico Aeroespacial (CTA)  
Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE)  
Depto. de Aerodinâmica (ASE-N)  
12228-904 - São José dos Campos - SP

### 1. INTRODUÇÃO

O termo logística industrial é um conceito bastante abrangente. Ele incorpora várias formas de atividades de suporte as quais, segundo uma visão *macro*, podem ser categorizadas em três grandes blocos: suporte de produto, suporte de produção e suporte do setor industrial. Embora não seja um conceito novo, tem havido um surto recente de interesse em logística industrial. Segundo Bowersox e Closs (1997), as estratégias logísticas adotadas por empresas de classe mundial são parâmetros decisivos que diferenciam suas capacidades em relação aos concorrentes.

Na concepção atual, a logística não engloba apenas a distribuição física de produtos finais, mas todas as atividades relacionadas com transporte, manutenção de estoques, processamento de pedidos, armazenagem, movimentação e outras atividades de apoio, as quais, facilitam o fluxo de bens e serviços, desde a aquisição de matérias primas até o consumo de produtos finais. Segundo Morales, Morabito e Widmer (1997), o objetivo da logística é providenciar, com o menor custo possível, os bens e serviços certos, no lugar certo, na hora certa, e na condição desejada pelos clientes, e isso só é possível por meio de uma gestão coordenada das atividades logísticas. Cada uma destas atividades são a principal fonte de oportunidade para ganhos de eficiência e vantagem competitiva.



Dentro desta área de atuação, este trabalho pretende estabelecer uma metodologia para o estudo de sistemas de distribuição constituídos de múltiplos “reservatórios” destinados a satisfazer demandas de suprimentos e/ou fluidos em setores de uma determinada empresa. A metodologia adotada permite o estudo de sub-sistemas acoplados em série e/ou paralelo. Estes reservatórios operam sob rígidas condições de controle. Parte-se da hipótese de que nas aplicações práticas do processo de controle supracitado, todas as informações provenientes das sub-áreas de atendimento possam ser transferidas para um terminal de computador, no qual, também estão armazenados dados referentes às entradas e respostas do sistema administrador nos instantes anteriores. Estas informações constituirão curvas de conhecimento que poderão ser utilizadas na previsão de uma nova entrada. De posse desta informação estabelece-se uma **estratégia ótima** para a saída no próximo intervalo de tempo utilizando-se a técnica de programação linear (PL), Murty (1983). As decisões são transferidas aos reservatórios individuais através de sinais de controle do sistema. Essencialmente, a preocupação principal é o estabelecimento sistemático dos limites de utilização da rede de distribuição. Neste contexto, o fluxo ótimo na rede é função do tempo, e, em conseqüência, a variável de decisão do problema.

## 2. METODOLOGIA DE OTIMIZAÇÃO

### 2.1. Função Objetivo

Considere um reservatório com capacidade  $C^{\max}$ . A entrada, a saída e o conteúdo do reservatório em um instante  $t$  serão dados por:  $in(t)$ ,  $out(t)$  e  $C(t)$ , respectivamente. A capacidade livre do reservatório,  $L(t)$ , será a variável de controle relativa às futuras entradas  $in(t + \Delta t)$ , ou seja:

$$L(t) = C^{\max} - C(t). \quad (1)$$

O objetivo do controle é maximizar ou minimizar a capacidade livre do reservatório satisfazendo simultaneamente as restrições impostas ao funcionamento do sistema.

Na resolução de problemas práticos, deve-se levar em consideração as restrições de demanda, ou seja, cada reservatório apresenta uma vazão de descarga máxima, denominada por  $Q$ :

$$q(t) \leq Q, \quad (2)$$

sendo  $q(t)$  a descarga do reservatório em um instante  $t$ .

Para um sistema constituído de  $n$  reservatórios de controle de alimentação, a capacidade livre é definida como sendo a soma ponderada das capacidades disponíveis em cada reservatório individual, ou seja:

$$L(t) = \sum_{i=1}^n \beta_i L_i(t), \quad (3)$$

sendo que o índice  $i$  representa a disponibilidade individual e o coeficiente  $\beta_i$  o fator peso associado à cada reservatório pertencente ao sistema. Uma das formas de se avaliar  $\beta_i$  é através do cálculo do parâmetro  $G_i$ , definido conforme segue:

$$G_i = \frac{F_i N_i}{C_i^{\max}}, \quad (4)$$

sendo  $F_i$  correspondente à área de atendimento controlada pelo reservatório  $i$ ;  $C_i^{\max}$  a capacidade do reservatório  $i$  e  $N_i$  o conteúdo de entrada máximo referente ao reservatório  $i$ . Definindo-se  $G$  como sendo  $G = \sum_i G_i$ , pode-se calcular  $\beta_i$  de acordo com a expressão:

$$\beta_i = \frac{G_i}{G}, \quad \forall i. \quad (5)$$

Está claro que  $\sum_i \beta_i = 1$ . Tratamento similar foi realizado por Oliveira, Silva, Ebinuma e Luz Silveira (2000) na definição da variável “fator de custo”, apenas que, naquele trabalho, o objeto de estudo era uma rede de distribuição de vapor, e o fator peso estava associado à distância entre um cliente e a central de distribuição de vapor e de seu consumo.

O objetivo do controle pode ser formulado de acordo com a função:

$$\text{F.O.: MAX} \left\{ \sum_i^n \beta_i L_i(t) \right\}. \quad (6)$$

Utilizando a equação da “continuidade”, Eq.(1), pode-se escrever:

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = in_i(t) - out_i(t) = -\frac{dL_i(t)}{dt}. \quad (7)$$

A equação diferencial supracitada pode ser integrada segundo o método trapezoidal:

$$L_i(t + \Delta t) = L_i(t) + \frac{\Delta t}{2} [in_i(t) + in_i(t + \Delta t) - out_i(t) - out_i(t + \Delta t)]. \quad (8)$$

*A priori*, as disponibilidades dos reservatórios  $L_i(t)$ , as entradas  $in_i(t)$  e as decisões correntes  $out_i(t)$  são conhecidas. As entradas futuras  $in_i(t + \Delta t)$  devem ser previstas. A metodologia de previsão dependerá da disponibilidade de recursos e dados que o sistema oferece. A forma mais simples é utilizar curvas de conhecimento obtidas a partir de relatórios de utilização do sistema. Neste contexto, as disponibilidades dos reservatórios no instante  $t + \Delta t$  são funções lineares apenas das saídas controláveis, ou seja:

$$L_i(t + \Delta t) = f_i[out_i(t + \Delta t)]. \quad (9)$$

Substituindo-se a Eq. (9) na Eq. (6) obtém-se:

$$\text{MAX} \left\{ \sum_i^n \beta_i L_i(t + \Delta t) \right\} = \text{MAX} \left\{ \sum_i^n \beta_i f_i[out_i(t + \Delta t)] \right\}. \quad (10)$$

## 2.2. Restrições

De forma geral, a maximização da função objetivo, Eq. (10), está sujeita ao conjunto de restrições:

► Restrições de não negatividade:

$$\begin{aligned} out_i(t + \Delta t) &\geq 0 \\ L_i(t + \Delta t) &\geq 0 \end{aligned} \quad (11)$$

► Restrições de capacidade:

$$L_i(t + \Delta t) = f_i[out_i(t + \Delta t)] \leq C_i^{\max}, \quad (12)$$

► Restrições de descarga:

$$q_i(t + \Delta t) \leq Q_i. \quad (13)$$

### 3. RESERVATÓRIO

#### 3.1. Avaliação da Resposta

O sistema linear constituído de entrada única tem como saída, Ogata (1997):

$$\text{out}(t) = \int_0^u h(\tau) \text{in}(t - \tau) d\tau. \tag{14}$$

A função  $h(\tau)$  é chamada de Kernel. Esta função representa a contribuição da função entrada no instante  $t - \tau$  no cômputo final da saída no instante  $t$ . O parâmetro  $u$  especifica o que é conhecido na literatura como “comprimento de memória” (*memory lenght*) do sistema em estudo. Digno de nota, a propriedade crucial do sistema linear é a necessidade de se conhecer a informação de entrada,  $\text{in}(t - \tau)$ , em  $0 \leq \tau \leq u$ .

#### 3.2. Condição Inicial

A inicialização do sistema pode ser feita de duas maneiras: utilizando-se funções discretas representativas da excitação inicial ou a solução de estado estacionário. O primeiro caso não oferece grandes dificuldades, visto que a excitação inicial pode ser aproximada por curvas de ajuste e integradas de forma direta. No caso da segunda opção, a condição de estado estacionário é definida como segue:

$$\begin{aligned} \text{out}(t = 0) &= \int_0^u h(\tau) \text{in}(t = 0) d\tau \\ \text{out}(t = 0) &= \text{in}(t = 0) \psi(0, u). \end{aligned} \tag{15}$$

Os estados  $\text{in}(t = 0)$  e  $\text{out}(t = 0)$  denotam o estado estacionário.

Para o intervalo de memória  $0 \leq t \leq u$ , tem-se:

$$\text{out}(t) = \int_0^u h(\tau) \text{in}(t - \tau) d\tau = \int_0^t h(\tau) \text{in}(t - \tau) d\tau + \int_t^u h(\tau) \text{in}(t = 0) d\tau. \tag{16}$$

Considerando que:  $\psi(t, u) = \begin{cases} \text{in}(t = 0) \int_0^u h(\tau) d\tau & , t \leq u \\ 0 & , t > u \end{cases}$ , obtém-se a partir da Eq. (16):

$$\text{out}(t) = \psi(t, u) + \int_0^t h(\tau) \text{in}(t - \tau) d\tau. \tag{17}$$

A Eq. (17) representa a forma contínua da equação de previsão da saída do sistema. Dentro do enfoque de implementação numérica se faz necessário a discretização temporal da equação supracitada.

### 4. MÉTODO NUMÉRICO

#### 4.1. Discretização Temporal

Na discretização do operador linear, as funções kernel,  $h(\tau)$ , entrada,  $\text{in}(t - \tau)$ , e saída,  $\text{out}(t)$  são substituídas pelas seguintes expressões:

$$\begin{aligned} h(\tau) &= h_j, \\ \text{in}(t - \tau) &= \text{in}^{i-j} \text{ e} \\ \text{out}(t) &= \text{out}^i, \end{aligned} \tag{18}$$

sendo  $\tau = j\Delta t$  e  $u = m\Delta t$ . Logo, para um processo com  $k$  passos discretos pode-se construir a equação matricial representada na Eq. (19). Em notação simplificada, pode-se reescrever a Eq. (19) como sendo  $A \cdot \text{in} = \text{out}$ .  $A$  é a matriz de transformação linear a qual estabelece o mapeamento entre a entrada  $\text{in}(t)$  e a saída  $\text{out}(t)$  do sub-sistema reservatório. Os elementos da matriz são denotados por  $a_{\xi\eta}$  sendo  $\xi$  o índice que define a linha e  $\eta$  o índice representativo da coluna.

$$\begin{bmatrix} \sum_0^m h_j \\ \sum_1^m h_j & h_0 \\ \sum_2^m h_j & h_1 & h_0 & & 0 \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{m-1}^m h_j & h_{m-2} & h_{m-3} & \dots\dots & h_0 \\ \sum_m^m h_j & h_{m-1} & h_{m-2} & \dots\dots & h_1 & h_0 \\ 0 & h_m & h_{m-1} & \dots\dots & h_1 & h_0 \\ \dots\dots\dots \\ 0 & \dots\dots & 0 & \dots\dots & h_m & \dots\dots & h_1 & h_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \text{in}^0 \\ \text{in}^1 \\ \text{in}^2 \\ \dots\dots\dots \\ \text{in}^{m-1} \\ \text{in}^m \\ \text{in}^{m+1} \\ \dots\dots\dots \\ \text{in}^k \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \text{out}^0 \\ \text{out}^1 \\ \text{out}^2 \\ \dots\dots\dots \\ \text{out}^{m-1} \\ \text{out}^m \\ \text{out}^{m+1} \\ \dots\dots\dots \\ \text{out}^k \end{Bmatrix}. \quad (19)$$

**4.2. Algoritmo Aplicado à Redes**

**4.2.1. Descrição da Rede**

Esta seção procura demonstrar a aplicação do método. Para tanto será construído um exemplo fictício no qual o sistema em estudo apresenta três reservatórios de controle, conforme ilustra a Fig. 1. A rede representativa do sistema é constituída dos reservatórios I, II e III; nós numerados de (0)–(9); ramais numerados de acordo com as extremidades nodais, ou seja, (2-3), (3-6), (5-6), (6-7) e (8-9). As informações de entrada estão denotadas por  $\text{in}_1$ ,  $\text{in}_3$  e  $\text{in}_4$ . A descarga na extremidade  $i$  de um ramal ( $i$ - $j$ ) é denotada por  $q_{ij}$ . Na extremidade  $j$  a vazão é denotada por  $\bar{q}_{ij}$ . As saídas controladas dos reservatórios I, II e III são, respectivamente,  $\text{out}_2$ ,  $\text{out}_3$  e  $\text{out}_4$ . Os limites toleráveis nas seções 3, 6 e 9 são as descargas  $Q_3$ ,  $Q_6$  e  $Q_9$ . A capacidade livre nos reservatórios é denotada por  $L_i$  com  $i = \text{I, II, III}$ . A Tab. 1 ilustra as relações e notações utilizadas no caso estudo.

**4.2.2. Função Objetivo**

A partir da Eq. (10), pode-se definir como função objetivo no passo temporal  $k$ :

$$\text{MAX} \{ \beta_1 L_I (\text{out}_2^k) + \beta_2 L_{II} (\text{out}_3^k) + \beta_3 L_{III} (\text{out}_2^k, \text{out}_5^k, \text{out}_8^k) \}. \quad (20)$$

De acordo com a Eq. (8) tem-se:

► Reservatório I:  $L_1^k = L_1^{k-1} + \frac{\Delta t}{2} [\text{in}_1^{k-1} + \text{in}_1^k - \text{out}_2^{k-1} - \text{out}_2^k]$ .

Note que todos os valores com índice  $k-1$  são conhecidos a partir dos passos anteriores ou em termos de medidas reais. Convém ressaltar que, neste exemplo,  $\text{in}_1^k$  é avaliado a partir da

solução de estado estacionário, ou seja,  $in_1^k = h_0^k + \sum_{j=0}^{k-1} h_0^j a_{01}^{kj}$ , sendo que  $a_{01}^{jk}$  denota o elemento da linha k e coluna j da matriz  $A_{01}^k$ . Substituindo estes conceitos na equação do reservatório tem-se:

$$L_I^k = L_I^{k-1} + \frac{\Delta t}{2} \left[ in_1^{k-1} + h_0^k + \sum_{j=0}^{k-1} h_0^j a_{01}^{kj} - out_2^{k-1} - out_2^k \right]. \quad (21)$$

► Reservatório II: Analogamente ao reservatório I:

$$L_{II}^k = L_{II}^{k-1} + \frac{\Delta t}{2} \left[ in_4^{k-1} + h_0^k a_{04}^{kk} + \sum_{j=0}^{k-1} h_0^j a_{04}^{kj} - out_5^{k-1} - out_5^k \right]. \quad (22)$$

► Reservatório III: A equação discreta do reservatório é dada por:

$$L_{III}^k = L_{III}^{k-1} + \frac{\Delta t}{2} \left[ \bar{q}_{67}^{k-1} + \bar{q}_{67}^k - out_8^{k-1} - out_8^k \right]. \quad (23)$$

Depois de algumas manipulações, a entrada prevista para o reservatório pode ser calculada através da expressão:

$$\bar{q}_{67}^k = \left\{ out_5^k a_{56}^{kk} + \sum_{j=0}^{k-1} out_5^j a_{56}^{kj} + \left[ h_0^k a_{03}^{kk} + \sum_{j=0}^{k-1} h_0^j a_{03}^{kj} + out_2^k a_{23}^{kk} + \sum_{j=0}^{k-1} out_2^j a_{23}^{kj} \right] a_{36}^{kk} + \sum_{j=0}^{k-1} q_{36}^j a_{36}^{kj} \right\} a_{67}^{kk} + \sum_{j=0}^{k-1} q_{67}^j a_{67}^{kj}$$

Substituindo a expressão acima na Eq. (23) obtém-se a equação do reservatório III. A função objetivo do problema é obtida através das equações (20), (21), (22) e (23).

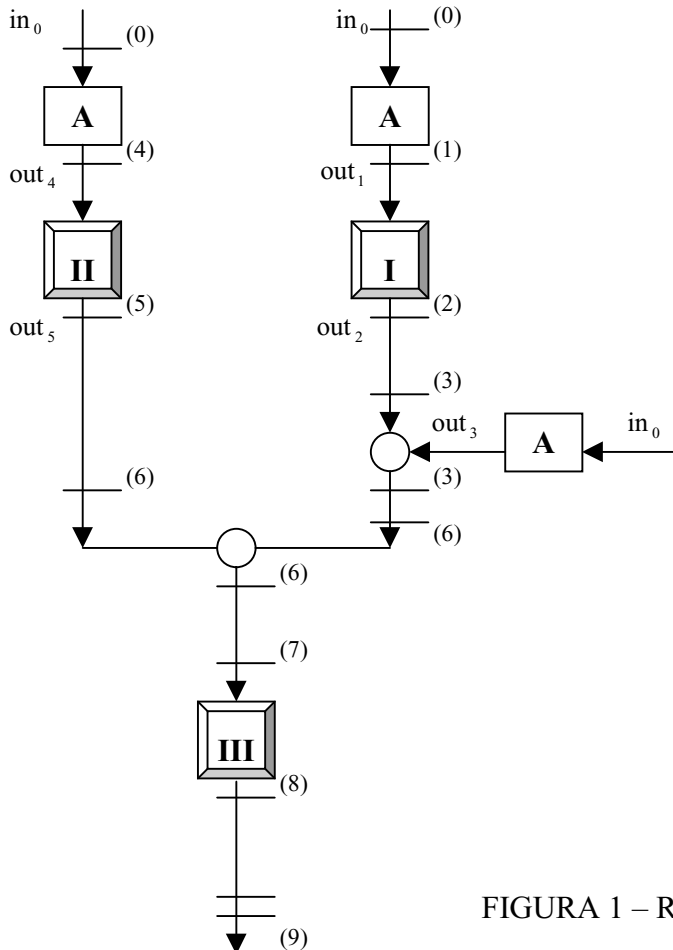


FIGURA 1 – Rede de Distribuição em Estudo

TABELA 1 – Notações e Relações Utilizadas

ENTRADAS CONTROLADAS

Nó	Entrada	Saída	Relação de Transformação
(0)	$in_0^k$	$out_1^k$	$A_{01}^k$
(0)	$in_0^k$	$out_3^k$	$A_{03}^k$
(0)	$in_0^k$	$out_4^k$	$A_{04}^k$

DESCARGA

Ramal	Entrada	Saída	Relação de Transformação
2 – 3	$out_2^k = q_{23}^k$	$\bar{q}_{23}^k$	$A_{23}^k$
3 – 6	$q_{36}^k$	$\bar{q}_{36}^k$	$A_{36}^k$
6 – 7	$q_{67}^k$	$\bar{q}_{67}^k$	$A_{67}^k$
8 – 9	$out_8^k = q_{89}^k$	$\bar{q}_{89}^k$	$A_{89}^k$
5 – 6	$out_5^k = q_{56}^k$	$\bar{q}_{56}^k$	$A_{56}^k$

JUNÇÕES

Nó	Entrada	Saída	Relação de Transformação
(3)	$in_3^k + \bar{q}_{23}^k =$	$\bar{q}_{36}^k$	Continuidade
(4)	$\bar{q}_{36}^k + \bar{q}_{56}^k =$	$\bar{q}_{67}^k$	Continuidade

RESERVATÓRIO

Reservatório	Entrada	Saída	Relação de Transformação
I	$in_1^k = out_1^k$	$out_2^k$	Eq. Reservatório
II	$in_4^k = out_4^k$	$out_5^k$	Eq. Reservatório
III	$\bar{q}_{67}^k$	$out_8^k$	Eq. Reservatório

**4.2.3. Restrições**

As restrições referentes ao problema encontram-se dispostas na Tab. 2.

TABELA 2 – Restrições

Não Negatividade	$out_2^k \geq 0, out_5^k \geq 0 \text{ e } out_8^k \geq 0,$ $\forall k$
Capacidade	$L_I^k \geq 0, L_{II}^k \geq 0 \text{ e } L_{III}^k \geq 0,$ $\forall k$
Capacidade de Descarga	$q_{36}^k \leq Q_3, q_{67}^k \leq Q_6 \text{ e } \bar{q}_{89}^k \leq Q_9,$ $\forall k$

**5. COMENTÁRIOS FINAIS**

Este trabalho apresenta uma metodologia de controle de sistemas de alimentação de suprimentos construídos com vários reservatórios associados em série e/ou paralelo. A discretização temporal permite uma aproximação quase linear das equações que modelam o comportamento do sistema. A estratégia ótima de controle é obtida através do uso da técnica de programação linear. Deve-se ressaltar que o modelo apresentado não estabelece nenhuma restrição com relação ao número de reservatórios que podem ser controlados. Basicamente esta imposição é definida em função do algoritmo de programação linear utilizado. A hipótese mais rigorosa é a relação de linearidade estabelecida entre as “forças” de excitação, ou seja, as entradas, e as saídas do sistema. Após um determinado período de experimentação é possível atualizar o sistema através da realimentação do banco de dados central gerado a partir de relatórios de utilização.

O desenvolvimento supracitado representa a conclusão da primeira fase do Projeto de Simulação de Sistemas Energéticos Industriais desenvolvido pelo grupo de trabalho da Faculdade de Administração de Empresas (Organização Guará de Ensino).

**REFERÊNCIAS**

BOWERSOX, D.J. e CLOSS, J.D., 1997, *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Perspective*. McGraw-Hill, Inc., New York.  
 MORALES, S.R., MORABITO, R., e WIDMER, J.A., 1997, *Gestão & Produção*, Vol.4, No 2 .  
 MURTY, K.G., , 1983, *Linear Programming*, Ed. John Wiley & Sons.  
 OGATA, K., 1997, *Engenharia do Controle Moderno*, Prentice-Hall do Brasil.  
 OLIVEIRA, P.A.P., SILVA, M.G., EBINUMA, C.D. E LUZ SILVEIRA, J., 2000, “Análise de Escoamento em Linhas de Distribuição de Vapor”, ENCIT Congresso de Engenharia e Ciências Tecnológicas.

**ABSTRACT.** *A control strategy for a multi-unit system of flood protection reservoirs, which can be connected in series or in parallel is proposed. At every discrete control step the free reservoir capacity of the entire system is maximized utilizing the sum of the weighted disposable reservoir capacities as a linear objective function. The problem can be solved even for a large number of reservoirs without substantial difficulties, since a linear programming approach is possible.*

**KEYWORDS:** *Linear Programming, Systems Management, Adaptative Control, Logistics*

## “FEATURES”: UM NOVO PARADIGMA EM SISTEMAS CAD/CAM.

### **Luís Cuevas Rodríguez.**

Escola Politécnica Universidade de São Paulo.  
Universidade de Holguín - Cuba.  
Departamento Mecânica e Sistemas Mecânicos.  
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, 05508-900, São Paulo, SP.  
[luis.cuevas@poli.usp.br](mailto:luis.cuevas@poli.usp.br)

### **Marcos de Sales Guerra Tsuzuki.**

Escola Politécnica Universidade de São Paulo.  
Departamento Mecânica e Sistemas Mecânicos  
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, 05508-900, São Paulo, SP  
[mtsuzuki@usp.br](mailto:mtsuzuki@usp.br)

*Resumo. A área de Projeto e Manufatura Auxiliados por Computador (CAD/CAM) aplicada à Engenharia Mecânica apresentou um grande avanço na última década. Identificou-se um estado de transição do tradicional projeto baseado na geometria para um projeto baseado em “features” denominado “Design by features”. Neste paradigma, a unidade básica é uma “feature”, que é um elemento que possui informações geométricas e não geométricas. As peças são construídas por uma seqüência de operações em que as “features” são acrescentadas e vão compondo um modelo do produto. Neste caso está se acrescentando informações ao modelo sólido, que são informações não geométricas, permitindo definir uma das várias possíveis interpretações da forma. Outras possíveis interpretações podem ser associadas por meio de reconhecimento de “features”. Este trabalho busca mostrar aspectos relevantes dos estudos já apresentados sobre este assunto visando solucionar questões referentes às “features” como: conceito, classificação, representação, reconhecimento e dependência da aplicação. Estes aspectos permitem uma avaliação das vantagens e necessidades desta nova abordagem. Neste trabalho foi feita uma revisão bibliográfica de aproximadamente 100 trabalhos. As conclusões deste estudo contribuem para esclarecer o tema e ampliar a utilização de “Design by features”.*

*Palavras chave: features, CAD/CAM, Design by features*

### **1. Introdução.**

A área de Projeto Auxiliado por Computador (CAD) aplicado à engenharia mecânica sofreu um grande avanço na última década; entretanto, o seu uso ainda permanece muito limitado. Uma razão para isto é que os sistemas atuais de CAD são de difícil manipulação e gasta-se muito tempo para aprender a utilizá-lo eficientemente. Isto é consequência de que os sistemas atuais de CAD não suportam uma interação amigável com o usuário, por meio de uma linguagem de engenharia afim à aplicação. O projetista necessita expressar o seu projeto através de uma linguagem suportada pelo sistema de CAD específico, ao invés de utilizar uma linguagem afim à aplicação. Para definir um sólido razoavelmente complexo é necessário utilizar funções que manipulam o sólido segundo um grande nível de detalhe, portanto, o projetista necessita “traduzir” o seu modelo mental expressado em termos específicos da aplicação para termos de representação utilizados pelo sistema de CAD. Seria preferível que o projetista pudesse definir o Modelo do Produto<sup>1</sup> associado ao seu projeto utilizando uma terminologia familiar a sua aplicação (Figura 1).

O atual estágio de pesquisas na área de Projeto Auxiliado por Computador (CAD) pode ser identificado como um estado de transição do tradicional projeto baseado na geometria para um projeto baseado em “features”<sup>2</sup> que denominaremos por Modelador DbF<sup>3</sup>. Grande parte dos trabalhos atuais é concentrado na solução de problemas fundamentais como: O que são “features”? Como elas são classificadas? Como elas podem ser representadas? Existe um conjunto canônico de “features” ou elas são dependentes da aplicação? Como dados de “features” podem ser intercambiados entre Modeladores DbF diferentes? Apesar desta tecnologia estar apenas surgindo e existirem várias

<sup>1</sup> Neste trabalho estaremos considerando que **Modelo do Produto** corresponde a uma representação computacional do **Produto** que possui todas as informações tecnológicas necessárias para projetar e manufaturar o produto (Kimura, 1987).

<sup>2</sup> Tradução do termo em inglês “*Feature Based Modeling*” que também é denominado por alguns autores por “*Design by Feature*”. É importante observar que preferimos evitar a tradução do termo “*feature*”, pois consideramos que a tradução por “*características*” como tem sido realizada por alguns autores não reflete o sentido atribuído ao termo original. O termo “*form feature*” tem sido utilizado para se referir a “*features*” que possuem alguma forma ou geometria associada. O termo “*feature*” tem sido utilizado para representar um elemento que pode ou não ter uma geometria associada. Entretanto, como neste trabalho estamos interessados apenas em “*form features*”, por facilidade utilizaremos o termo “*feature*” para se referir a “*features*” que possuem geometria associada.

<sup>3</sup> Iniciais do termo “*Design by Feature*”.



diferenças filosóficas entre os conceitos no qual os Modeladores DbF estão baseados, é possível encontrar alguns pontos comuns nas diversas propostas:

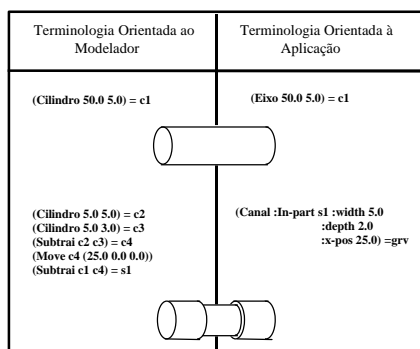


Figura 1. Modelagem de um eixo com um canal utilizando uma terminologia

- procuram estabelecer uma definição genérica de “feature”;
- procuram desenvolver uma especificação uniforme de Modeladores DbF para fornecer aos usuários a liberdade de escolher as ferramentas e métodos necessários para suas tarefas específicas;
- desenvolver um mecanismo de mapeamento de “features” a partir do ponto de vista do projetista para o ponto de vista da aplicação;
- fornecer padronizações para intercâmbio de dados de “features”.

Até o momento, grande parte das pesquisas relacionadas com “features” foram realizadas na área de planejamento de processos e muito pouco foi apresentado com relação à área de Modeladores DbF. Entretanto, muitos vendedores de sistemas CAD dizem que já possuem ou que já são capazes de desenvolver um sistema que auxilie o projetista oferecendo “features” como opções do menu. Geralmente, isto significa que o projetista possui a sua disposição um conjunto fixo e limitado de entidades de alto nível, que podem ser utilizadas para criar um modelo paramétrico, ao invés de utilizar entidades convencionais de modelagem geométrica.

Baseando-se no conceito de que uma “feature” pode ser associada a um conjunto de operações de usinagem, na área de planejamento de processos, vários métodos de reconhecimento de “features” foram pesquisados. As maiorias destes métodos procuram por padrões de associações de entidades geométricas presentes no modelo sólido do produto. Como usinagem significa que algum material deverá ser removido, a correspondência entre uma “feature” e uma operação de usinagem nem sempre pode ser definida de maneira exata. Por exemplo, uma saliência não se refere a nenhum material que deva ser removido. Ao contrário, é o material ao redor da saliência que deve ser removido e este fato é que deve ser associado a um conjunto de operações de usinagem.

Vários trabalhos na área de projeto com “features” também se orientaram para as áreas de planejamento de processos e usinagem, pois seus autores imaginavam que o projeto poderia ser realizado utilizando-se exclusivamente de “features” voltadas à usinagem. Entretanto, raramente as “features” utilizadas pelo projetista são as mesmas “features” utilizadas em outros processos, por exemplo, manufatura ou planejamento de processos. Um exemplo deste fato foi citado por Wingard (1991), a mesma peça foi fornecida a quatro engenheiros que atuavam nas áreas de planejamento de usinagem, planejamento para inspeção, análise por elementos finitos e projeto. Todos os engenheiros determinaram conjuntos diferentes de “features” e os conjuntos não apresentavam muitos pontos em comum. A conclusão lógica, é que cada etapa do desenvolvimento de um produto, deve possuir o seu modelo baseado em “features”<sup>4</sup> próprio. Cada modelo baseado em “features” representa uma interpretação específica do produto associada a algum processo. Neste capítulo discutiremos inicialmente as várias propostas para se criar modelos baseados em “features” e apresentaremos alguns conceitos básicos importantes.

## 2. “Feature”

### 2.1 Definição de “Feature”

A existência de uma definição comum de “feature” é muito importante para a comunidade que atua na área de projeto com “features” devido ao papel primário que ela executa nas especificações funcionais de sistemas de projeto com “feature”.

Apesar de várias tentativas diferentes de definir “feature” já terem sido publicadas na literatura (vários exemplos de tentativas podem ser encontrados na referência (Wilson, 1990), a tendência comum parece ser que “features” representam o significado técnico da geometria do produto, peça ou montagem. A definição feita por Shah diz o seguinte: “Uma “feature” é definida como uma entidade que satisfaz as seguintes condições: ser um constituinte físico de uma peça, ser mapeável para uma forma genérica, possuir um significado técnico e possuir propriedades previsíveis”. Portanto, existem quatro pontos principais nesta definição:

<sup>4</sup> Tradução do termo “Feature Model”.

- “features” são constituintes físicas de peças, onde peças são componentes semânticos completos em um nível de complexidade mais alto. Neste espectro, existe uma diferença essencial entre peças e “features”: peças possuem sua existência associada a si próprias, enquanto “features” podem existir apenas segundo uma aplicação específica; em outras palavras, a “feature” não possui um significado isolado sem a peça associada, pois a “feature” corresponde a uma possível interpretação da forma da peça. Portanto, o relacionamento entre montagens, peças e “features” deve ser conforme ilustramos na Figura.

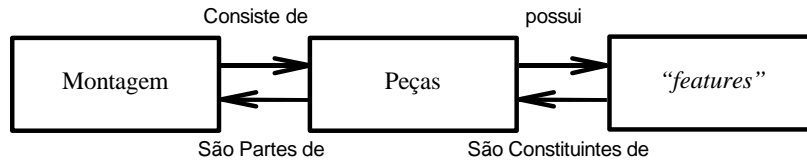


Figura 2. Relacionamento entre "Features", Peças e Montagens.

- “features” podem ser desenvolvidas geometricamente utilizando definições de forma genérica que devem ser representadas por meio de métodos de modelagem convencionais;
- o significado técnico das “features” está relacionado às funções a que a “feature” se destina, às regras tecnológicas que devem ser satisfeitas ou como ela deve ser produzida. Por exemplo, um canal em um eixo pode ser interpretado como uma superfície de apoio; entretanto, para a área de planejamento de processos, um canal em um eixo pode ser interpretado como o ato de realizar o sangramento em um eixo;

## 2.2. Classes de “Features”

A definição de “feature” apresentada na seção anterior afirma que uma “feature” deve ser mapeável para uma forma genérica. O fato de a forma ser genérica implica que “features” podem ser caracterizadas como pertencendo a uma certa classe de acordo com as suas propriedades de forma. Também deve ser possível classificar “features” de acordo com as suas propriedades de significado técnico. O problema de como classificar “features” está relacionado ao domínio da aplicação e foge ao escopo deste trabalho.

Desta maneira, “features” podem ser classificadas como membros de classes de acordo com critérios variados de seleção, e dependendo da aplicação critérios distintos devem ser utilizados. O fato de que “features” podem ser arranjadas em classes implica na possibilidade de distinguir entre a representação de classes de “features” e a representação de instâncias de “features”. Neste trabalho tentaremos manter esta distinção; desta maneira, quando não estivermos utilizando todo o termo por extenso, o termo classes se referirá ao termo classes de “features” e o termo instâncias se referirá ao termo instâncias de “features”. Entretanto, convém salientar que freqüentemente utilizaremos o termo “feature” para referirmo-nos as classes e instâncias de “features”.

Nós não desejamos impor nenhuma restrição quanto às possíveis classes de “features”. A solução deve permitir que o usuário defina as suas classes de “features” específicas necessárias para sua aplicação, o que estenderá a gama de instâncias de “features” permitidas. Para este fim, é desejável que o projetista disponha de uma linguagem através do qual ele poderá definir a forma, o significado tecnológico e os métodos aplicáveis a uma classe de “features”.

Shah (1988a) implementou um “Feature Modeling Shell” que permite ao usuário definir as suas próprias classes de “features”. De acordo com os exemplos ilustrados por Shah, classes de “features” definidas pelo usuário podem ser associadas apenas aos sólidos primitivos (“sweep” rotacional, “sweep” linear e lâmina); entretanto, não está claro como classes de “features” complexas podem ser definidas. Dong e Wozny (1991) fizeram algumas considerações sobre o uso das representações B-Rep e CSG para o desenvolvimento de um Modelador DbF que fosse capaz de suportar classes de “features” definidas pelo usuário. Entretanto eles não consideraram a possibilidade de uma representação híbrida CSG/B-Rep.

## 3. Propostas para Criar Modelos de “Features”

Como mencionamos acima, a utilidade de “features” em sistemas de CAD/CAM foi inicialmente reconhecida na área de planejamento de processos. As “features” foram necessárias para automatizar e fornecer suporte para a seleção de máquinas e ferramentas e para a geração dos caminhos de corte. A primeira proposta, também conhecida como método de definição de “features” auxiliada pelo usuário<sup>5</sup>, supõe que o usuário definirá todas as “features” presentes em um modelo sólido selecionando interativamente as entidades geométricas primitivas que compõem a “feature”. Entretanto, várias “features” simples como furos passantes e rasgos podem ser descritas de uma maneira genérica, por meio de uma aglutinação entre entidades geométricas e topológicas. Portanto, métodos para identificá-las automaticamente em modelos sólidos de produto foram desenvolvidos e foram denominados por métodos de reconhecimento automático de “features”<sup>6</sup>. Recentemente, a necessidade de melhores interfaces para o usuário nos

<sup>5</sup> Tradução do termo “User Aided Feature Definition”.

<sup>6</sup> Tradução do termo “Automatic Recognition of Features”.

sistemas de CAD, onde o projetista pudesse utilizar uma terminologia mais familiar, voltada a sua aplicação, tem sido amplamente reconhecida. Isto resultou no desenvolvimento de taxonomias para “features” e de métodos para serem utilizados em Modeladores DbF. Parece ser uma opinião genérica que nenhum dos últimos dois métodos solucionará todos os problemas. Caso a integração entre diferentes processos como por exemplo projeto e planejamento de processos, seja realmente desejada, então ambos os métodos devem ser utilizados. Nas próximas seções descreveremos estas duas últimas propostas.

### 3.1 Reconhecimento de “Features”

O primeiro algoritmo para reconhecimento automático de “features” foi desenvolvido por L. Kyprianou e descrito em sua tese de doutorado (1980). Ele trabalhou com a representação B-Rep onde, inicialmente, as arestas são classificadas como convexa, côncava, suave convexa ou suave côncava. Laços<sup>7</sup> e vértices também são classificados de maneira similar. Analisando os laços de contorno das faces, este método seleciona as potenciais faces que representam o fundo de uma depressão e as potenciais faces que representam o topo de uma saliência. Posteriormente, alguns padrões são procurados. Por exemplo, um furo é limitado por um laço de arestas convexas que devem limitar faces laterais e estas faces laterais, por sua vez, devem estar associadas à face do fundo da depressão. Mais recentemente, esta proposta foi muito utilizada por outros pesquisadores, geralmente em combinação com alguma linguagem ou métodos de reconhecimento de padrões (Henderson, 1986; Joshi, 1988; Sakurai, 1988; Tsuzuki, 1991; Wu, 1995; Stefano, 1997).

Outros métodos propostos para realizar o reconhecimento de “features” incluem manipulação da árvore CSG (Lee, 1987; Woodward, 1988) e decomposição por volumes<sup>8</sup> (Woo, 1984). A maior dificuldade em reconhecer “features” presentes em uma árvore CSG é que a representação não é única - existem diversas maneiras pela qual uma “feature” pode estar representada em uma árvore CSG. Entretanto, estes pesquisadores ainda não solucionaram o problema da não unicidade. Grande parte dos pesquisadores que estavam originalmente relacionados à representação CSG, posteriormente adotaram uma proposta intermediária onde o contorno estaria representado explicitamente (Requicha, 1986; Rossignac, 1990). Em decomposição por volumes, opera-se no modelo do material a ser removido para que a peça seja criada a partir de uma peça bruta. O volume a ser removido é dividido em sub-volumes que correspondem às operações simples de usinagem. Este método é classificado como uma técnica de reconhecimento de “features”, pois ele diferencia os diversos tipos de “features” que serão associados às operações de usinagem.

Outro método para o reconhecimento de “features” a partir de desenhos 2D e 3D é proposto por Leen-Wen (1997). A partir de um desenho o sistema proposto extrai os laços geométricos e faz uma extrusão para formar partes 2.5D. A partir de uma biblioteca de features básicas descritas por cinco atributos geométricos: depressão, direção de acesso externo, status de saída, perímetro do limite e geometria de limite.

Na área de reconhecimento de “features”, entretanto, ainda existem vários problemas a serem resolvidos. Um problema é como tratar “features” interferentes, como no exemplo em que a adição de uma “feature” resultou na remoção ou modificação dos elementos de alguma “feature” já existente.

### 3.2 Modeladores DbF

Na área de Modelagem DbF o trabalho é realizado de certa forma no sentido inverso. O modelo baseado em “features” é criado no início pela combinação de instâncias de “features” que geralmente estão disponíveis em uma biblioteca. Posteriormente, o correspondente modelo geométrico é criado a partir do modelo baseado em “features”. Em alguns casos não é necessário nem criar uma representação explícita, pois os valores dos parâmetros das instâncias já são suficientes para que várias análises sobre o Modelo do Produto sejam realizadas. A diferença principal entre estes dois métodos é que o reconhecedor de “features” informa ao usuário que a presença de um buraco cilíndrico foi encontrado em uma peça. Entretanto, esta informação que o projetista já estava consciente ao criar o modelo sólido foi perdida quando o sistema reduziu todas as ações do projetista em entidades de baixo nível topológico e geométrico (Pratt, 1984). É possível classificar as propostas nesta área em três grupos: “Feature Databases”, Modelagem Destrutiva<sup>9</sup> e Síntese por “Features”.

### 3.3 “Feature Databases”

Este método é tipicamente utilizado com o objetivo de fornecer dados para sistemas de planejamento de processos. Usuários preparam um arquivo texto contendo informações sobre as “features” de acordo com uma sintaxe específica. Alguns exemplos são os sistemas de entrada para os planejadores de processo GARI (Descotte, 1984) e HiMapp (Berenji, 1986).

<sup>7</sup> Tradução de “loop” que corresponde a um ciclo de arestas ao redor de uma face.

<sup>8</sup> Tradução de “Volume Decomposition”.

<sup>9</sup> Tradução de “Destructive Modelling”.

### 3.4 Modelagem Destrutiva

Neste caso o modelo de uma peça é criado por meio de diferenças Booleanas aplicadas a uma peça bruta. O projeto e o plano de manufatura são desenvolvidos simultaneamente pela transformação da peça bruta no modelo sólido final através da aplicação de operações que correspondem à remoção de material. Alguns exemplos desta proposta são os sistemas desenvolvidos em Purdue (Turner, 1988) e por Cutkosky em Stanford (Cutkosky, 1988). Em ambos os sistemas, o programa de comando numérico e os planos de inspeção são gerados automaticamente. O sistema comercial Pró-Engineer também suporta este método. Chamberlain (Chamberlain, 1993; Kim, 1992) propôs um método para permitir que saliências possam ser acrescentadas ao leque de opções do projetista. O modelo sólido criado pelo projetista é processado de maneira a encontrar a menor peça bruta necessária e todas as operações são convertidas para retirada de material.

### 3.5 Síntese por “Features”

Os sistemas que permitem ao usuário projetar uma peça, acrescentando e retirando “features” sem restrições quanto ao estado inicial estão classificados neste grupo. Para entendermos os vários trabalhos que foram realizados nesta área será necessário discutirmos alguns conceitos básicos importantes. Estes conceitos compreendem “features” intencionais, “features” implícitas, “features” explícitas, “features” de volume e “features” de superfície<sup>10</sup>.

Uma “feature” intencional é uma abstração para acessar grupos de entidades geométricas e para associar a estes grupos um tipo e conseqüentemente algumas propriedades definidas para todas as “features” deste tipo em particular. Por exemplo, uma “feature” do tipo rasgo pode ser acrescentada a uma peça, isto significa que o projetista deseja que um rasgo esteja presente na peça que está sendo projetada, isto é, um espaço vazio delimitado por três faces - uma face de fundo e duas faces laterais. A “feature” intencional deve possuir referências para as entidades geométricas que a compõem. Entretanto, devido a manipulações sobre o modelo, as entidades geométricas associadas à “feature” podem ser modificadas ou até mesmo eliminadas do modelo B-Rep. O que restar das entidades geométricas e do espaço vazio

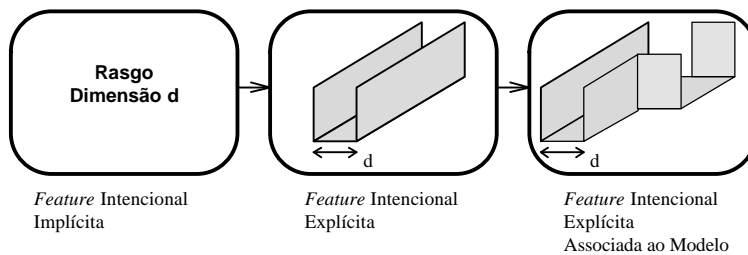


Figura 3. "Feature" intencional e sua representação.

pode constituir algo que não apresenta mais nenhuma propriedade relacionada com o rasgo.

“Features” intencionais podem ser representadas explicitamente ou implicitamente. Geralmente, a representação implícita está associada a uma linguagem que será utilizada pelo usuário e a representação explícita está associada ao método de representação adotado para o sistema. É possível considerar dois níveis de representação explícita, no primeiro nível as entidades geométricas que definem a “feature” implícita estão presentes e no segundo nível estão presentes as entidades geométricas que resultaram da associação da “feature” ao modelo sólido. A Figura 3 ilustra estes vários níveis. “Features” intencionais devem ser consistentes com a real geometria da peça, isto pode ser realizado relacionando-se às entidades geométricas entre os dois níveis de representação explícita. É possível que algumas destas referências não correspondam a nenhuma entidade geométrica no contorno do sólido em algum particular estágio do processo de projeto. Por exemplo, uma “feature” intencional do tipo furo cilíndrico pode estar associada com entidades geométricas que foram removidas do modelo sólido por alguma Operação Booleana e portanto esta “feature”, neste momento, não corresponde a nenhum furo válido. Esta “feature” intencional está em um estado inválido, entretanto não podemos considerar esta possibilidade como indesejável, pois o projetista pode ter criado (temporariamente ou não) uma situação em que várias “features” definidas previamente passaram para um estado inválido. A validade global poderá ser restabelecida ajustando-se algum parâmetro ou reposicionando algumas das “features”.

A validade de uma “feature” é algo muito subjetivo e de fato depende do papel associado à respectiva aplicação. Por exemplo, um furo cilíndrico é uma “feature” detalhada válida que pode ser descartada ao serem feitas algumas análises quando o raio é suficientemente pequeno; em um outro caso, o furo cilíndrico é uma “feature” válida com respeito a usinagem quando o espaço delimitado pelo furo é vazio e acessível. Critérios de validade para “features” podem ser expressos em termos de referências as entidades geométricas e a sua topologia associada. Para verificar a validade das “features” intencionais acrescentadas ao modelo sólido é necessário que elas sejam desenvolvidas, isto é, que a representação explícita da associação da “feature” ao modelo sólido seja determinada. Conseqüentemente, a

<sup>10</sup> Respectivamente, tradução dos termos: “Intentional Features”, “Implicit Features”, “Explicit Features”, “Volumetric Features” e “Surface Features”.

identificação de “features” em estados inválidos é algo muito importante para realizar correções no projeto. Usualmente, a presença de uma “feature” intencional implica no desejo do projetista em acrescentar uma certa funcionalidade a alguma parte do sólido. Portanto, “features” intencionais fornecem conselhos importantes quando alterações no modelo forem necessárias e auxiliam os usuários envolvidos em outros processos para que entendam as considerações realizadas pelo projetista.

“Feature” implícita é uma “feature” não desenvolvida que possui todas as informações suficientes para que não ocorram interpretações duvidosas durante o seu desenvolvimento. Esta é uma forma compacta de representação. Um exemplo típico é um furo cilíndrico sendo representado pela sua linha de simetria, pelo seu raio e pela sua altura. A representação implícita pode possuir muitas outras aplicações, por exemplo, uma peça pode exibir um grande número de “features”, neste caso o produto pode ficar incompreensível devido ao volume de detalhes presente na tela. Neste caso seria conveniente retirar algumas “features” da tela, ou simplesmente substituí-las por algo que apenas indique a sua presença (p. ex., o paralelepípedo envoltório da “feature”). Entretanto, isto exigirá um nível maior de sofisticação, pois possíveis inconsistências podem surgir devido à múltipla representação das “features”. Todas as “features” devem ser desenvolvidas apenas quando houver necessidade. Outra aplicação da representação implícita é a possibilidade de criar-se classes de “features” que também são chamadas por taxonomias. A classificação em classes pode conduzir os mecanismos para suportar famílias de “features” ao invés de métodos específicos para cada “feature”.

Outra importante distinção foi indicada por Pratt (1988), que diferencia “features” de superfície que são coleções de faces de uma peça como as paredes laterais e o fundo de um rasgo, de “features” volumétricas que são conjuntos de pontos<sup>11</sup> de uma peça ou o seu complemento como no caso de saliências e furos. Raramente estes dois tipos de “features” são suportados simultaneamente pelo mesmo sistema. Pratt fornece uma discussão detalhada sobre as motivações históricas, os méritos atuais e as desvantagens de ambas as representações e conclui que as “features” de superfície oferecem uma maior flexibilidade para edição interativa e oferecem um volume maior de informações que facilitam a análise do modelo sólido e o desenvolvimento de programas aplicativos. Entretanto, a manutenção da consistência dos elementos que compõem a “feature” de superfície é mais complexa quando comparada com a manutenção das “features” volumétricas.

“Features” de volume são freqüentemente criadas de maneira incremental, inicialmente definindo o corpo global da peça e, posteriormente, acrescentando ou modificando detalhes pela criação ou edição de “features”. A criação de uma “feature” é necessariamente acompanhada pela modificação do volume ocupado pela peça e na maioria dos casos corresponde ao ato de acrescentar ou remover material. Esta transformação pode ser expressa como uma união ou diferença entre a peça e o volume da “feature”. Como o volume da “feature” pode ser interpretado como uma forma paramétrica complexa, esta proposta deverá ser muito eficiente no caso de modeladores híbridos onde a representação B-Rep do sólido é o resultado do desenvolvimento da árvore CSG.

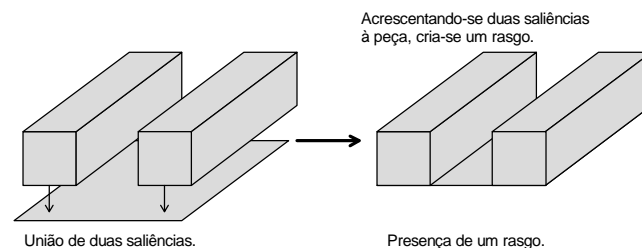


Figura 4. Identificação da "feature" rasgo a posteriori.

As “features” de volume resultantes de operações que modificaram a forma, nem sempre fornecem um conjunto suficiente de ferramentas de abstração para interagir com o modelo. Por exemplo, uma “feature” do tipo rasgo que é de interesse para aplicações de manufatura, pode ser criada como o efeito colateral de duas saliências paralelas (vide Figura 4). A “feature” de tipo rasgo pode ser uma abstração conveniente para expressar modificações de engenharia (por exemplo, modificação da largura), portanto, esta possível ferramenta para converter ou identificar “features” também deve estar acessível ao usuário. O uso destas “features” identificado a posteriori, requer a associação de “features” intencionais com um subconjunto da geometria já existente. Geralmente, esta associação é realizada interativamente selecionando uma coleção de faces do modelo da peça e tratando-o como uma “feature” de superfície.

#### 4. Métodos para a Representação de “Features”

As pesquisas na área de Modeladores DbF ainda estão em seu estágio inicial. Na seção anterior vários conceitos importantes foram apresentados. Entretanto, ainda não existe um consenso sobre como eles devem ser utilizados no desenvolvimento de Modeladores DbF. Qual nível de abstração deve ser utilizado (implícito ou explícito)? Qual dimensionalidade de “feature” deve ser adotada (volumétrica ou de superfície)? Como as “features” devem ser representadas (CSG, B-Rep ou Híbrido CSG/B-Rep)?

<sup>11</sup> Tradução de “Set of Points”.

Vários autores consideram “features” como possuindo três dimensões (Cutkosky 1988; Lee, 1987; Ostrowski, 1990; Shah, 1988a; Turner, 1988). Em alguns trabalhos, “features” também foram consideradas como possuindo duas dimensões (Chung, 1988; Gossard, 1988; Joshi, 1988; Kyprianou, 1980). Várias propostas para converter “features” de superfície em “features” volumétricas foram propostas (Markowsky, 1980); entretanto, a correspondência entre “features” de superfície e “features” de volume não é única. Alguns autores propõem a manipulação de um conjunto de faces chamado por closing faces que ao ser acrescentado à “feature” de superfície definirá uma “feature” de volume única. A Figura 5 ilustra um exemplo de closing faces. Infelizmente, às closing faces não podem ser obtidas pela simples extensão das faces adjacentes. Atualmente, métodos e heurísticas para criar automaticamente as closing faces são limitados às situações simples, e frequentemente é necessária a intervenção do usuário para que soluções aceitáveis

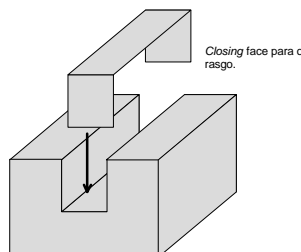


Figura 5. Exemplo de closing faces.

sejam criadas. Gossard (1988) utilizou um método em que “features” volumétricas são derivadas a partir de “features” de superfície. Gomes (1991) propôs uma representação pseudo CSG/B-Rep para permitir que “features” volumétricas e de superfície pudessem ser representadas simultaneamente.

Vários tipos diferentes de representação de Modelagem de Sólidos foram propostos, um bom resumo sobre o assunto foi escrito por Requicha e Voelcker (1982). Atualmente, apenas as representações B-Rep e CSG são consideradas viáveis para representar “features”. Os pesquisadores favoráveis à representação CSG citam a facilidade de edição pelo usuário como principal motivação. Entretanto, algumas aplicações como Dimensionamento e Tolerância exigem que elementos primitivos como faces, arestas e vértices estejam explicitamente acessíveis. Ostrowski (1990) desenvolveu um Modelador DbF baseado apenas em Operações Booleanas. Nesta proposta “features” volumétricas são definidas por meio da árvore CSG e primitivos padrões. Outros tipos de “features” como arestas e vértices são definidos por meio de uma extensão dos Operadores Booleanos. Apesar do sistema ter sido desenvolvido com sucesso, Ostrowski concluiu que caso fosse utilizada a representação B-Rep o esforço empreendido seria bem menor e haveria maior flexibilidade de projeto.

A representação B-Rep é a mais aceita pelos pesquisadores para o desenvolvimento de Modeladores DbF. A grande vantagem desta representação é a possibilidade de manipularmos simultaneamente “features” volumétricas e “features” de superfície. Entretanto são raros os sistemas que suportam as duas dimensionalidades. Caso “features” volumétricas sejam utilizadas, interações entre “features” serão manipuladas com maior facilidade e a função que remove uma “feature” será implementada de forma mais simples.

Gomes (1991) propôs uma representação pseudo-CSG/B-Rep que está estruturada em dois níveis de abstração. No nível superior, o objeto é hierarquicamente definido por meio de um grafo chamado por “Feature Adjacency Graph” (FAG), onde os nós representamos volumes positivos e/ou negativos e os arcos representam a interação entre estes volumes. No nível inferior, o objeto é representado pela estrutura de dados de um modelador de sólidos convencional que está associada a uma estrutura denominada “Feature Topological Structure” (FTS). A estrutura FTS é responsável pela manutenção da história de como o modelo sólido foi criado. Rossignac (1990) propôs modelos procedurais para editar “features” volumétricas e volumes corretivos para editar “features” de superfície.

## 5. Aplicações que Utilizam o Conceito de “Features”

Até o momento nós nos concentramos no ambiente de projeto. Nesta seção discutiremos outras aplicações em que “features” podem ser úteis.

- **Dimensionamento e Tolerância:** trabalhos iniciais em dimensionamento e tolerância associados a Modelagem de Sólidos utilizaram a representação B-Rep para descrever a forma das peças, onde estruturas auxiliares foram associadas às faces e arestas para representar informações de dimensões e tolerâncias. Estas estruturas estavam geralmente associadas a um conjunto de restrições que permitiam que as dimensões das peças fossem calculadas. Requicha (1983) propôs um método baseado em *offsetting* (exterior e interior) e “features” de superfície para criar modelos representando a Condição de Máximo Material<sup>12</sup> (MMC) e Condição de Mínimo Material<sup>13</sup> (LMC) correspondente a um conjunto fornecido de dimensões e tolerâncias. Para especificar tolerâncias, Requicha (1986) reconhece a grande utilidade da representação B-Rep, pois é necessário possuir acesso aos elementos primitivos que compõem o sólido. Gossard (1988) e Roy & Liu (1988) também propuseram *modelos baseados em “features”*

<sup>12</sup> Tradução de *Maximum Material Condition*.

<sup>13</sup> Tradução de *Minimum Material Condition*.

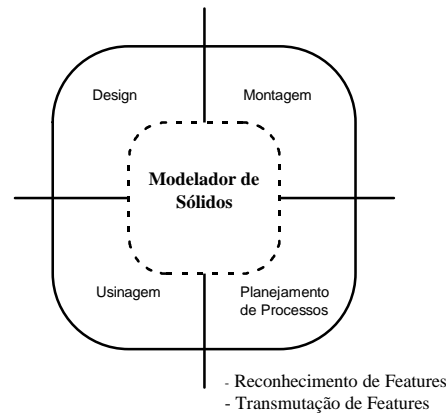


Figura 6. Arquitetura de um Sistema de Engenharia Simultânea.

com o objetivo de definir dimensões e tolerâncias, aonde as “*features*” são definidas por faces ou conjunto de faces estruturadas em árvores binárias e onde os nós internos são Operadores Booleanos modificados.

- **Planejamento de Processos:** “*features*” estão estreitamente associadas à Tecnologia de Grupo (TG), onde TG se refere à classificação de peças com o objetivo de facilitar o armazenamento e a reutilização do projeto, a reutilização de plano de processos, entre outras atividades. Existem vários esquemas para realizar os agrupamentos, mas todos são baseados em regras para classificar as peças segundo as “*features*” presentes na peça. O resultado da classificação é expresso em um código alfanumérico que é utilizado como chave para recuperar as informações associadas às peças nos bancos de dados. Tradicionalmente, a codificação é realizada por um usuário que analisará o desenho técnico e consultará um manual de TG contendo as regras de classificação. Shah (1988b) desenvolveu um sistema de classificação de peças tri-dimensionais em que os códigos de Tecnologia de Grupo são produzidos automaticamente.
- **Engenharia Simultânea:** Em um ambiente de engenharia ideal, engenheiros de diversas disciplinas podem trabalhar simultaneamente no projeto de um produto. Após a definição inicial do projeto conceitual, é possível acrescentar detalhes, realizar análises por meio de programas aplicativos como análise de fadiga, análise de custo ou planejamento de processo. Esta proposta é chamada por Engenharia Simultânea ou “*Concurrent Engineering*”. Cada engenheiro possui a sua maneira de observar um produto, isto é, possui a sua própria interpretação do produto. Muitas destas atividades podem implicar em modificações do projeto. Por exemplo, a análise de fadiga pode demonstrar que algumas partes necessitam ser modificadas. Todas as modificações necessitam ser manipuladas consistentemente pelo sistema de modelagem. Se “*features*” forem utilizadas em um contexto de Engenharia Simultânea, isto significa que todos os processos de projeto (conceitual e mais detalhado), e todas as aplicações possuem o seu próprio conjunto específico de “*features*” de acordo com o seu modo de interpretar o produto. Isto requer uma conversão automática entre “*features*” segundo um modo de interpretação para outro modo de interpretação. Conversão de “*features*” é uma vasta área onde as pesquisas estão apenas se iniciando. A Figura 6 ilustra um exemplo de arquitetura de um sistema de Engenharia Simultânea. O produto está representado com todos os níveis de detalhe no Modelador de Sólidos. No nível externo possuímos o Modelador DbF com os vários *Modelos baseados em “Features”* do produto associados às respectivas aplicações. Existe um mecanismo de conversão de “*features*” entre uma aplicação e outra; entretanto, nem todos os tipos de “*features*” possuem mecanismos de conversão. Nestes casos, faz-se necessário o reconhecimento de “*features*” diretamente da *representação desenvolvida* que é suportada pelo Modelador de Sólidos.
- **Padronização:** A padronização STEP é a continuação do trabalho iniciado com a padronização IGES, com o objetivo de desenvolver uma representação neutra que permitisse a representação completa de um produto em todo o seu ciclo de vida. O FFIM (Form Feature Information Model) é um dos vários modelos de dados de produto da padronização STEP, que quando completamente desenvolvido suportará um mecanismo para intercambiar dados de “*features*” segundo uma ampla gama de produtos. Quando o trabalho com o FFIM iniciou, não havia nenhum Modelador DbF comercial, mas apenas alguns Modeladores experimentais desenvolvidos em alguns laboratórios e universidades. Portanto, o FFIM (e o próprio STEP) foi uma padronização proposta para sistemas que ainda não existiam, mas que estavam sendo aguardados para um futuro próximo. Shah (1991) realizou um estudo para verificar o grau de comunicabilidade entre o FFIM e um Modelador DbF que foi desenvolvido independentemente do FFIM. Neste estudo ele concluiu que o FFIM é capaz de suportar os dados de qualquer Modelador DbF.

## 6. Conclusões.

Atualmente nas pesquisas na área de Projeto Auxiliado por Computador identifica-se um estado de transição do tradicional projeto baseado na geometria para um projeto baseado em Modelador DbF. As “*features*” são constituintes

físicas de peças, que podem ser desenvolvidas geometricamente por meio de modelagem convencionais e possui um significado técnico relacionado às funções a que a “feature” se destina. Cada etapa do desenvolvimento de um produto deve possuir o seu próprio modelo baseado em “features”.

Às “features” podem ser classificadas como membros de classes de acordo com critérios variados de seleção, e dependendo da aplicação, critérios distintos devem ser utilizados. É desejável que o projetista disponha de uma linguagem através da qual ele poderá definir a forma, o significado tecnológico e os métodos aplicáveis a uma classe de novas “features”.

As “features” podem ser reconhecidas ou inseridas ao modelo. Sendo que existem cinco conceitos básicos importantes que são: “features” intencionais, “features” implícitas, “features” explícitas, “features” de volume e “features” de superfície.

Para a representação de “features”, atualmente, apenas as representações B-Rep e CSG são consideradas viáveis. Mas, a representação B-Rep é a mais aceita pelos pesquisadores para o desenvolvimento de Modeladores DbF.

## 7. Referências.

- Berenji, H. R.; Khoshmeris B., 1986 “Use of Artificial Intelligence in Automated Process Planning”, *Computers in Mechanical Engineering*, pp. 47-55
- Chung, J. C. H., Cook, R. L., Patel, D., 1988 “Feature-Based Geometry Construction for Geometric Reasoning”, In *Proceedings 1988 ASME Computers in Engineering Conference*, pp. 497-504
- Cutkosky, M., Tenenbaum, J., Miller, D., 1988 “Features in Process Based Design”, In *Proceedings 1988 ASME Computers in Engineering Conference*, pp. 557-562]
- Descotte, Y., Latombe J. C., 1984 “GARI: An Expert System for Process Planning”, In M. S. Pickett and J. W. Boyse, editors, *Solid Modeling by Computers*, pp. 329-346
- Dong, X., Wozny, M. 1991 “Instantiation of User Defined Features on a Geometric Model”, *Product Modeling for Computer Aided Design and Manufacturing*, J. Turner, J. Pegna, M. Wozny (Editors), Elsevier Science Publishers B. V. (North-Holland), IFIP 1991, 183-195.
- Gomes, A. J. P., Teixeira, C. G., 1991 “Form Feature Modelling in a Hybrid CSG/BRep Scheme”, *Computer & Graphics*, 15(2):217-229
- Gossard, D. C., Zuffante, R. P., Sakurai, H., 1988 “Representing Dimensions, Tolerances, and Features in MCAE Systems”, *IEEE Computer Graphics & Applications*, 51-59
- Henderson, M.R., 1986 “Extraction and Organization of Form Features”, In *Software for Discrete Manufacturing*, pp. 547-557, J. P. Crestin, J. F. McWaters (Editors), North-Holland
- Joshi, S., Chang, T. C., 1988 “Graph-Based Heuristics for Recognition of Machined Features from a 3-D Solid Model”, *Computer Aided Design*, 20(2):58-64
- Kyprianou L., 1980 “Shape Classification in Computer Aided Design”, Ph. D. Thesis, University of Cambridge, Inglaterra.
- Lee J. L., Kim K., 1998, “A feature-based approach to extracting machining features” Vol. 30, No. 13, pp 1019-1035
- Lee, Y. C., Fu, K. S., 1987 “Machine Understanding of CSG: Extraction and Unification of Manufacturing Features”, *IEEE Computer Graphics & Applications*, 7(1):20-32
- Leen-Wen Tyan, Devarajan Venkat, 1997 “Automatic identification of non-intersecting machining features from 2D CAD input” *Computer Aided Design*, Vol. 30, No. 5 pp.357-366
- Markowsky, G., Wesley, M. A., 1980 “Fleshing Out Wire Frames”, *IBM J. Research and Development*, Vol. 24, pp. 582-587
- Ostrowski, M. C., 1990 “Feature-based Design using Constructive Solid Geometry”, In *SIGGRAPH Course Notes: Solid Modeling - Architectures, Mathematics and Algorithms*, Dallas.
- Ovtcharova, J., Pahl, G., Rix, J., 1992 “A Proposal for Feature Classification in Feature-Based Design”, *Computer & Graphics*, 16(2):187-195
- Pratt, M. J., 1984 “Solid Modeling and the Interface Between Design and Manufacture”, *IEEE Computer Graphics & Applications*, 4(7):52-59
- Requicha, A. A. G., 1986 “Representation of Geometric Features, Tolerances and Attributes in Solid Modelers Based on Constructive Solid Geometry”, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, RA-2(3):156-166
- Rossignac, J. R., 1990 “Issues on Feature-Based Editing and Interrogation of Solid Models”, *Computer & Graphics*, 14(2):149-172
- Sakurai H., Dave P., 1995 “Volumen decomposition and feature recognition, Part II: curved object” *Computer Aided Design*, Vol. 28, No. 6/7 pp.519-537
- Sakurai, H., Gossard D.C., 1988 “Shape Feature Recognition from 3D Solid Models”, In *Proceedings 1988 ASME International Computers in Engineering Conference*, pp. 515-519, San Francisco
- Shah, J. J., 1991 “Experimental Investigation of the STEP Form-Feature Information Model”, *Computer Aided Design*, 23(4):282-296
- Shah, J. J., Bhatnagar, A., Hsiao, D. 1988b “Feature Mapping and Application Shell”, In *Proc. ASME Computer in Engineering Conference*, San Francisco, Aug. 1988, 489-496.
- Shah, J. J., Rogers, M. T., 1988a “Expert Form Feature Modelling Shell”, *Computer Aided Design*, 20(9):515-524



- Stefano P. D., 1997 "Automatic extraction of form features for casting" Computer Aided Desing, Vol. 29, No. 11, pp. 761-770
- Tsuzuki, M. S. G., Miyagi, P. E., Moscato, L. A., 1991 "Automatic Feature Recognition". In: COMPUGRAPHICS'91 - First International Conference on Computational Graphics and Visualization Techniques, Sesimbra, Portugal, 1991. Proceedings. v.II, p.92-101.
- Turner, G. P., Anderson D. C., 1988 "An Object Oriented Approach to Interactive Feature Design for Quick Turnaround Manufacturing", In In Proceedings 1988 ASME Computers in Engineering Conference, San Francisco
- Wilson, P. R., 1990 "Feature Modeling Overview", Proceedings of the 17th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques SIGGRAPH'90, CN 12, Dallas, XI.1-XI.56
- Wingard, L., 1991 "Introducing Form Features in Product Models: A Step Towards CAD/CAM with Engineering Terminology", Licentiate Thesis, The Royal Institute of Technology, Stockholm
- Woo, T. C., 1984 "Interfacing Solid Modeling to CAD and CAM: Data Structure and Algorithms for Decomposing a Solid", Computer, 17(12):44-49
- Woodwark, J. R., 1988 "Some Speculations on Feature Recognition", Computer Aided Design, 20():189-196
- Wu M. C., Liu C. R., 1995 "Analisis on machined feature recogniton techniques based on B-Rep"Computer Aided Desing, Vol. 28 , No. 8 pp.603-616

### **"Features": a new paradigm in CAD/CAM systems.**

#### **Luís Cuevas Rodríguez.**

Polytechnic School of University of São Paulo.  
University of Holguín - Cuba.  
Department of Mecâtronica and Mechanical Systems.  
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, 05508-900, São Paulo, SP.  
[luis.cuevas@poli.usp.br](mailto:luis.cuevas@poli.usp.br)

#### **Marcos de Sales Guerra Tsuzuki.**

Polytechnic School of University of São Paulo.  
Department of Mecâtronica and Mechanical Systems.  
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, 05508-900, São Paulo, SP  
[mtsuzuki@usp.br](mailto:mtsuzuki@usp.br)

#### **Abstract:**

The area of Computer Aided Design (CAD) and Computer Aided Manufacturing (CAM) applied to the Mechanical Engineering presented a great progress in the last decade. It has been identified a state of transition from the traditional design based on the geometry to a design based on features, denominated Design by features. In this paradigm, the basic unit is a feature, that is an element that contains geometric and non geometric information. The parts are constructed by a sequence of feature attachment operations and they will compose a Product Model. In this case we added non geometric information to the solid model, allowing to define one of the several possible interpretations of a shape. Others possible interpretations can be associated through recognition of features. This work looks for showing important aspects of the studies presented on this subject, looking for to clarify several aspects of features as: concept, classification, representation, recognition and application dependence. These aspects allow an evaluation of the advantages and needs of this new approach. In this work it was made a bibliographical revision of approximately 100 articles. The conclusions of this study contribute to clarify the theme and to enlarge the use of features.

*Keywords: features, CAD/CAM, Design by features*

## TRANSFORMANDO PROJEÇÕES ORTOGRÁFICAS EM SÓLIDOS B-REP TRIDIMENSIONAIS.

### **Luís Cuevas Rodríguez.**

Escola Politécnica Universidade de São Paulo.  
Universidade de Holguín - Cuba.  
Departamento Mecânica e Sistemas Mecânicos.  
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, 05508-900, São Paulo, SP.  
[luis.cuevas@poli.usp.br](mailto:luis.cuevas@poli.usp.br)

### **Marcos de Sales Guerra Tsuzuki.**

Escola Politécnica Universidade de São Paulo.  
Departamento Mecânica e Sistemas Mecânicos  
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, 05508-900, São Paulo, SP  
[mtsuzuki@usp.br](mailto:mtsuzuki@usp.br)

*Resumo. O desenho técnico é muito utilizado e realiza um papel importante na engenharia mecânica tradicional, pois prove um meio para descrever facilmente a forma exata de um objeto. Existe uma grande quantidade de desenhos técnicos que ainda não foram transferidos para sistemas CAD. Ainda, existem sistemas CAD bidimensionais que não suportam a transformação para modelos sólidos tridimensionais. Assim, sem dúvida, existe a necessidade de reconstruir modelos sólidos a partir de suas representações bidimensionais, pois em várias áreas (incluindo o CAD/CAM, geração automática de trajetórias, elementos finitos, dentre outros) um grande número de aplicações manipulam diretamente modelos sólidos tridimensionais. Alguns desenhos técnicos não representam apenas um único modelo sólido, sendo possível associar duas ou mais interpretações ao mesmo desenho técnico. Vários trabalhos foram desenvolvidos para converter as projeções ortográficas de um objeto em seu modelo sólido, mas ainda não foi possível desenvolver um conversor que permita reconstruir todos os possíveis sólidos representados pelo desenho técnico. Neste trabalho buscamos propor um método para a conversão de objetos 3D de suas projeções ortográficas, baseando-se em um modelo celular sobre uma topologia não-“manifold” e um sistema de manutenção da verdade, “assumption-based truth maintenance system” (ATMS). Neste trabalho será feita uma revisão da literatura, apresentaremos o sistema ATMS e as regras utilizadas.*

**Palavras chave:** projeções ortográfica, B-Rep, ATMS (assumption-based truth maintenance system)

### **1. Introdução.**

Em várias áreas, incluindo CAD/CAM, existem aplicações que utilizam o modelo sólido de um objeto como dado de entrada. A modelagem de sólidos permite a manipulação de modelos tridimensionais, e esta característica auxilia o projeto e a manufatura de peças na engenharia mecânica. Sem dúvidas, nas empresas, uma grande quantidade de informação sobre o projeto e a manufatura encontra-se representada por meio de desenhos 2D.

Atualmente os desenhos 2D são comumente utilizados porque auxiliam muito nas especificações funcionais das peças. Mas a maioria dos dispositivos de entrada utilizados na engenharia são de duas dimensões. Por isso é desejada a implementação de um método para realizar a reconstrução do modelo sólido de um objeto a partir de sua representação segundo desenho 2D. E seria muito vantajoso que este método estivesse disponível nos modeladores de sólidos.

Considerando as várias formas de representação 2D de objetos (projeção axonométrica, projeção cavaleira, etc.), a representação de um objeto por suas projeções ortográficas pode ser considerada uma das mais populares e simples. Vários trabalhos foram desenvolvidos para a conversão de um objeto a partir de suas projeções ortográficas em seu modelo sólido. Mas ainda não foi desenvolvido um sistema conversor prático, devido ao tempo consumido pelos métodos convencionais e pela necessidade de selecionar um sólido a partir de uma grande quantidade de sólidos potenciais.

Em nosso trabalho nos apoiamos em um Sistema de Manutenção da Verdade (ATMS-Assumption Truth Maintenance Systems) para obter a representação do sólido em uma estrutura B-Rep tridimensional. Garantindo a construção do modelo 3D por meio da informação topológica dos primitivos que a compõem.

Partimos das projeções de um objeto nos planos xy, xz e yz, representadas por suas arestas Fig (1), a partir do que se implementa uma estrutura ATMS que com a aplicação de regras obtém-se os diferentes elementos geométricos, até obter o modelo B-Rep do sólido.

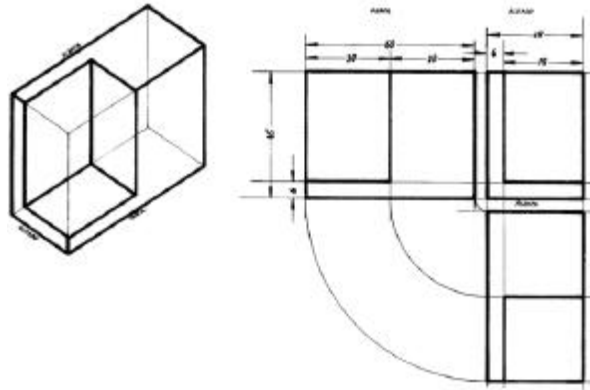


Figura 1. Exemplo das projeções ortográficas de um objeto.

## 2. Trabalhos prévios.

Alguns trabalhos foram realizados para a reconstrução do modelo 3D de um objeto a partir de suas projeções ortográficas. Desde 1970 já se vêm alguns trabalhos nesse sentido. Os trabalhos nesta área se podem agrupar em duas categorias (Simon, 1997): uma por aproximação para uma única vista e a outra uma aproximação para múltiplas vistas. A reconstrução para uma vista aplica métodos de programação linear, algoritmos de porcentagem, identificação de primitivos, etc. Por outro lado a aproximação para múltiplas vistas utilizam, geralmente, aproximações baseadas nas representações B-Rep e CSG.

No primeiro grupo, reconstrução para uma vista, os primeiros em propor um método foram Huffman (1971) e Clowes (1971). Eles propõem um método para interpretar as linhas de um poliedro em um desenho, em vértices e arestas de um sólido representado por uma vista. Foi introduzido o esquema de rótulo para as linhas do desenho, este método foi estudado e enriquecido mais tarde pelos outros pesquisadores. Mas seus trabalhos foram limitados porque só aceitavam objetos com vértices triedrais. Além de que o esquema de rótulo proposto não garantiu a manipulação de ambigüidade em termos de volume. Apesar disto, esta aproximação proporciona a informação 3D suficiente como base para investigações novas na reconstrução de sólidos em uma única vista.

Falk (1972) estudou a interpretação de linhas incompletas no desenho. Waltz (1975) estendeu os trabalhos de Huffman e Clowes incluindo no desenho linhas com sombras, e propõe um método de rótulos sucessivos para a interpretação das linhas do desenho.

Sugihara (1982) melhora o método de rótulos acrescentando linhas escondidas. Mackworth (1973) também usa o esquema de rótulos, e interpretou linhas utilizando um método de espaço gradual em duas dimensões.

Baseado no *framework* desenvolvido por Huffman (1971) e Clowes (1971), Minardi (198?) fez um método que procura todos os poliedros representados por um *wireframe*, reorganizando e completando o trabalho inicial de Huffman (1971) e Clowes (1971). Foi apresentada uma nova definição para tipos de interseção no *wireframe*,

Sugihara (1986) mostrou as condições necessárias e suficientes para que uma linha do desenho represente um objeto poliédrico. Para isto usou métodos de programação linear. Só que o domínio de entrada foi restringido aos objetos poliédrais.

Lamd (1990) mostrou um sistema que com a interação do usuário extrai a estrutura 3D a partir das linhas grossas do desenho. O usuário assina coordenadas 3D aos vértices em um gráfico. Mas este método não dá uma reconstrução exata do objeto 3D.

Wang (1989) informou um algoritmo para uma representação CSG que extrai blocos primitivos a partir de um poliedro utilizando alguns dos esquemas de rótulo anteriormente mencionados. Sem dúvidas, a solução, é incompleta e necessita da interação do usuário. Wang (1992) também propôs uma solução para o problema de reconstruir a representação CSG de um objeto a partir de um simples desenho em 2D.

No segundo grupo, reconstrução em várias vistas, foram utilizadas aproximações CSG e B-Rep. A aproximação CSG foi utilizada pela primeira vez por Aldefeld (1984) que observou que um objeto complexo é composto de elementos mais simples que estão relacionados no processo de reconstrução do sólido. Ho (1986) utiliza uma aproximação similar, mas em seu programa é requerida a interação do usuário e manipula uma grande quantidade de objetos de engenharia. Chen (1988) propõe um processo de reconstrução em três passos: decomposição, reconstrução e composição. Que também requer a intervenção do usuário.

Na aproximação B-Rep, aproximação que foi utilizada em nosso trabalho, os primeiros esforços foram feitos por Idesawa (1975) que mostrou em quatro passos a reconstrução de um sólido a partir de suas projeções ortográficas. Os principais passos foram:

- Gerar os vértices 3D a partir dos pontos 2D
- Gerar as arestas 3D a partir dos vértices 3D
- Gerar as face 3D a partir das arestas 2D
- Montar as faces em um objeto.

Mas o algoritmo de Idesawa pode gerar elementos que não são do objeto.

Lafue (1976) e Preiss (1981) trabalharam com uma aproximação heurística para procurar uma solução. Sem dúvidas, as relações entre as restrições gera múltiplas soluções para um problema.

Markowsky e Wesley (1980, 1981) apresentaram algoritmos que através de teste eliminam os elementos falsos e asseguram que todas as soluções que se obtém são corretas.

Sakurai e Gossard (1983) estendem a aproximação de Markowsky e Wesley para criar geometrias que incluem superfícies planas, cilíndricas, esféricas, cônicas e toroidais. Eles desenvolveram um programa gráfico interativo que permite a entrada das três vistas ortográficas de um objeto.

Outra parte dos pesquisadores trabalhou em estender o modelo desenvolvido por Markowsky e Wesley para ganhar em eficiência e robustez nos algoritmos.

Masuda e Numao (1997) propõem um método para converter projeções ortográficas em um modelo sólido, baseados em uma topologia *non-manifold* e ATMS. Dando um método de recuperação de erros no caso de projeções incorretas. O método armazena os sólidos candidatos em um modelo celular usando uma topologia *non-manifold*. E a partir de mapear as células do modelo celular com as projeções ortográficas se obtém o sólido.

Kuo (1998) propôs um esquema para interpretar as três vistas de um desenho técnico. Primeiro reconstrói um modelo *wireframe* a partir das projeções e depois usando um método de busca do menor ângulo interno (MIA) obtém todas as faces candidatas. Aqui se propõem técnicas para manipular ambigüidades no desenho.

Tanaka (1998) utiliza um método para decompor uma montagem 2D no desenho 3D de suas partes, utilizando um conjunto de equações de elementos sólidos, construídos a partir das vistas ortográficas. Este, método, gera mais de uma solução.

### 3. Modelagem de Sólidos.

Na atualidade, a modelagem de sólidos é muito utilizada para auxiliar as atividades de desenho e manufatura na indústria, pois permite manipular o modelo 3D de objetos. Mäntylä (1988) define a modelagem de sólidos como uma ramificação da modelagem geométrica que garante a aplicabilidade geral do modelo através da forma completa de representar um objeto físico. A forma completa de representar um modelo se deve ao fato de que esta possui toda a informação necessária que permite trabalhar com o modelo. Outros modelos (*Graphical model, Shape model, Surface model*) não possuem esta característica.

Na literatura, foram propostas várias técnicas para a modelagem de sólidos, sendo a mais significativa a representação B-Rep (Boundary Representation) e a representação CSG (Construtive Solid Geometry). Na representação CSG um sólido é descrito pela combinação de sólidos simples chamados primitivos, utilizando um conjunto de operações Booleanas. Todo o sólido fica representado em uma árvore binária, onde os nós internos são operações e as folhas são as primitivas.

Na representação B-Rep, o sólido é descrito pela definição de suas superfícies por um conjunto de faces. Usualmente esta definição é feita de tal forma que cada face tenha a sua representação geométrica. Então, o sólido fica limitado pelas faces, que constituem suas fronteiras, podendo-se classificar os pontos do espaço em internos ao sólido, externos ao sólido, ou sobre o contorno do sólido. Na representação B-Rep existem três componentes básicos: face, aresta e vértice. Cada um destes componentes limita o outro de nível superior. Assim cada face do sólido é limitada por um conjunto de arestas. As componentes arestas, então, ficam limitado por dois vértices, como é mostrado na Fig (2).

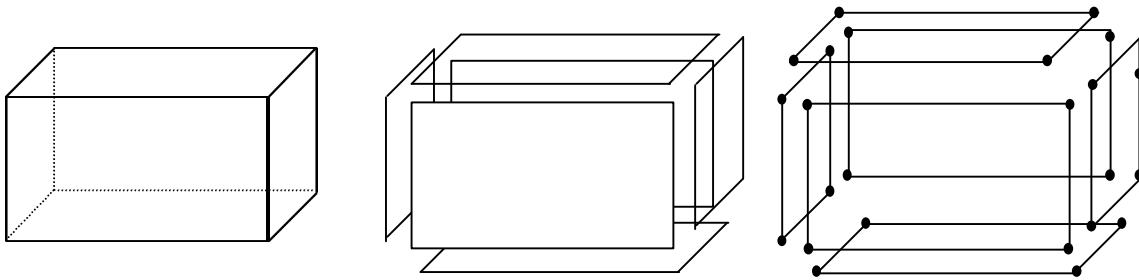


Figura 2. Componentes básicos da representação B-Rep

Para se garantir a representação do sólido, devem-se satisfazer alguns critérios topológicos. Deve-se armazenar como as faces, arestas e vértices se unem para representar o sólido. Para isto, o modelador de sólido deve possuir a facilidade de descrever como os elementos estão conectados, de maneira que se defina um volume totalmente fechado.

A representação B-Rep tem várias vantagens segundo Chiyokura (1985):

1. Desenho *wire-frame* de um objeto pode ser rapidamente desenhado, pois as arestas e vértices estão explicitamente representados.
2. É fácil e rápido verificar as relações topológicas – qual vértice está conectado a uma aresta, qual aresta está ligado a uma face e assim por diante.
3. Há poucas restrições na disponibilidade de operações. Assim uma grande variedade de operações podem ser utilizadas.

Mas a estrutura B-Rep é complexa e requer muito espaço de memória para ser armazenada.

Várias propostas existem para representar um sólido computacionalmente segundo a representação B-Rep. Serão citadas apenas três destas estruturas: estrutura *winged-edge* Chiyokura (1985), estrutura *half-edge* e estrutura unificada. Estas estruturas estão baseadas na aresta como elemento de referência. Fig (3)

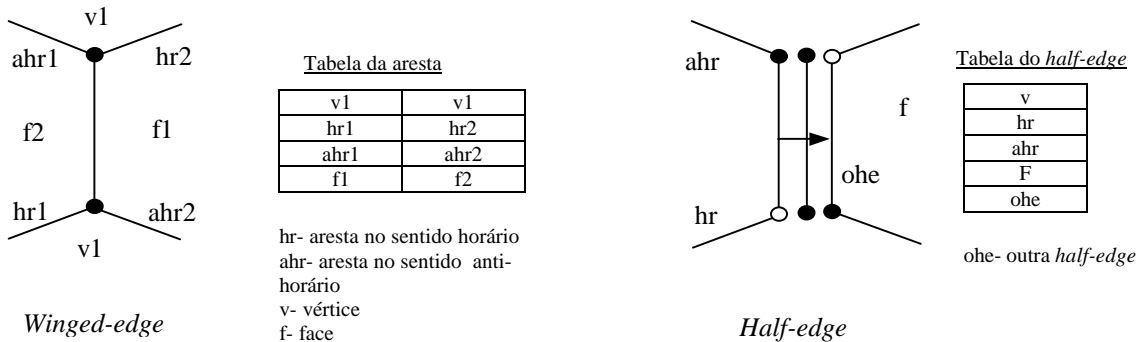


Figura 3. Estruturas de dados para a representação B-Rep

Na estrutura *winged-edge*, as informações de adjacência são mantidas através de ponteiros aos elementos adjacentes à aresta: duas faces, dois vértices e quatro arestas. Na estrutura *half-edge* surge um novo elemento o *half-edge* que representa a metade das informações de adjacência da estrutura *winged-edge*. Esta segunda estrutura permite separar as duas funções da aresta: representar o circuito direcional das faces e representar a aresta propriamente dita. Cada *half-edge* possui apenas uma orientação.

**4. Sistema de Manutenção da Verdade (ATMS-Assumption Truth Naintenance Systems)**

Os sistemas ATMS, segundo Kleer (1986), são uma poderosa ferramenta para organizar uma eficiente procura através de um conjunto de alternativas. Estes sistemas se derivam do sistema TMS (*Truth Maintenance Systems*) proposto por Doyle (1979). Estes sistemas são muito utilizados em IA (Inteligência Artificial) para a solução de problemas. Com o TMS se faz uma abordagem não monotônica para a verificação dos estados das hipóteses. Os sistemas TMS permitem a resolução de contradições que podem afetar uma hipótese inicialmente assumida pelo programa. Quando o TMS encontra uma contradição revisa as hipóteses iniciais e as atualiza, fazendo com que a contradição desapareça por um procedimento de remoção de suposições errôneas. Isto é possível pelos armazenamento e manutenção das razões para cada hipótese. O TMS é usado dentro dos Sistemas de Solução de Problemas, junto com Máquinas de Inferência (IE) como os sistemas baseados em regras, para manipular as hipóteses das máquinas de inferência e dar soluções. Os sistemas TMS dão explicações sobre as conclusões adotadas e reconhecem inconsistências, suportam argumentos por defeito. Além disso, o TMS permite acessar às derivações determinadas anteriormente e suporta a manipulação de dependências a partir de informações de retorno. É mantida toda uma Rede de Dependências.

O TMS tem algumas limitações, segundo Castro (1996), como: dificuldades quando se tem uma mudança de contexto, impedindo ter duas possíveis soluções aos problemas; a não existência de uma conexão direta com o resultado obtido em uma lógica não monotônica. Algumas daquelas limitações foram superadas pelo ATMS de Kleer, com o propósito de trabalhar também com a lógica clássica. Então, o ATMS é uma extensão do TMS.

A Fig (4) mostra que o ATMS sempre trabalha em conjunto com o solucionador de problema, no qual, enquanto é solucionado o problema, o ATMS informa sobre as suposições que podem ser declaradas e as deduções que podem ser feitas a partir destas.

Diferentemente no que ocorre no TMS, no ATMS, são manipuladas além das justificativas, os conjuntos de suposições. O ATMS permite trabalhar com informações inconsistentes, mudar facilmente do contexto sem a necessidade de retroceder na seqüência de inferência, pois não restringe o espaço de busca. Além disso dá possibilidades de explorar todo o espaço de busca para encontrar múltiplas soluções.

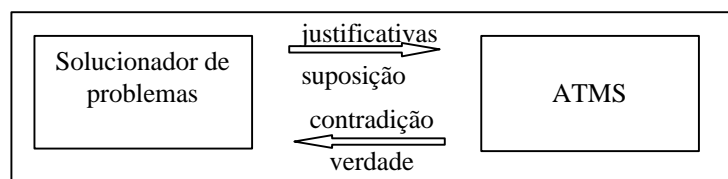


Figura 4. Solucionador de problemas = máquina de inferência + ATMS

O ATMS se apóia numa estrutura interna chamada nó, para armazenar as informações de dependência. Existem dois tipos de nó: as suposições (assumptions) e as conclusões (nodes). Uma suposição corresponde a uma decisão ou escolha, e é usada como um elemento para descrever o contexto. As suposições não dependem de nenhum outro nó. As conclusões dependem de outros nós e correspondem aos fatos ou dados que podem ser justificados em termos de outros nós ou suposições. Além disso existe um terceiro tipo de nó, chamado inconsistente (*nogood*). Neste nó o conjunto de suposições que se contradizem, são expressas em seu *label*, e, a sua justificativa indica os nós dos quais o nó deriva diretamente.

Toda a rede de dependências do ATMS é suportada pelo nó, que é a mínima informação que pode ser manipulada. Um nó é representado pelo trio (N, L, J), onde N (*datum*) é o nome do dado, que contém informações descritivas do nó e é usado pelo solucionador de problemas. L (*label*) é o rotulo do nó e representa o conjunto de suposições do qual o nó depende. E J (*justification*) são as justificações de cuja procedência é N, representando o conjunto de nós dos quais o nó é diretamente derivado. A representação de um nó é dada por:

Nome do nó: <*datum, label, justification*>

No ATMS o *label* tem um papel de definição de ambientes (*environment*) pois mostra o conjunto de suposições que estão envolvidas na dedução do nó. Um contexto (*context*) em ATMS é o conjunto formado pelas suposições de um ambiente consistente combinando todos os nós que são derivados a partir dessas suposições. Qualquer ambiente pode se tornar inconsistente (*nogood*), marcando o nó correspondente como FALSO. Quando uma contradição é descoberta, O ATMS fornece as suposições que produzem isto. Ao mesmo tempo elimina ou cancela o valor verdade das suposições, realizando a exclusão de determinadas combinações de suposições, mantendo seu *label* consistente, completo e mínimo. Desta forma, é reduzido o número de contextos válidos para a busca de soluções.

Uma das possibilidades dos nós conclusão é de verificar sua validade utilizando apenas as informações constantes em seu *label* e o conjunto de suposições que são consideradas válidas em um dado instante. Um *label* é consistente se nenhum ambiente no *label* tem valor falso.

Na Fig (5) temos a representação gráfica de uma rede ATMS para as relações:

$A \wedge B \rightarrow E$   
 $B \wedge C \rightarrow F$   
 $E \wedge F \rightarrow G$   
 $(NS_2, NS_3, NS_4) \rightarrow \textit{nogood}$

Adotando a notação de NS<sub>i</sub> (nó suposição) para o i-ésimo nó suposição, NC<sub>i</sub> (nó conclusão) para o i-ésimo nó conclusão e FALSO para os nós contradição (*nogood*). No exemplo A, B, C são suposições e E, F, G são nós conclusão.

No exemplo da Fig (5), por exemplo, no nó NC3 seu *datum* contém a descrição do nó, no caso G. Sua *justification* contém dois conjuntos de nós dos quais ele depende diretamente. No caso, ele depende de NC1 e NC2. O seu *label* contém dois conjuntos de suposições, dos quais o nó depende. Observamos que estes conjuntos de suposições são os mesmos dos quais o nó NC1 e NC2 também dependem. Nota-se que os nós suposição não dependem de outro nó, então pode-se interpretar que dependem deles mesmos. No caso, o *label* e as justificativas dos nós suposições são eles próprios também.

Um nó é considerado válido em um contexto, se o nó possui em seu ambiente, suposições que formam parte de seu *label*, um subconjunto do contexto no que é válido o nó. No ATMS, o contexto é definido como um conjunto de nós suposições que não incluem ambientes inconsistentes.

## 5. Gerar o modelo sólido de um objeto.

Pretendemos gerar o modelo sólido B-Rep de um objeto a partir de suas projeções ortográficas, utilizando ATMS. Nesta primeira proposta nosso problema estará limitado aos polígonos retangulares que terão um ou mais furos mas em cada caso retangulares. Um exemplo deste tipo de objeto é o da Fig (1). Utiliza-se uma estrutura ATMS para ir gerando de forma gradual cada um dos elementos que compõem o modelo B-Rep do objeto.

O algoritmo se baseia em definir uma estrutura *wire-frame* a partir das três projeções ortográficas. E analisando-se a estrutura *wire-frame* define-se um modelo de superfície, e por último determina-se o modelo sólido. Entretanto para a passagem de um modelo para outro acrescenta-se informações topológicas de vizinhança, definindo um sólido *não-manifold*.

### 5.1 Pré-processamento inicial.

Antes de começar a aplicar o AMTS, realiza-se um pré-processamento inicial, com o objetivo de acrescentar novos vértices em algumas das projeções. Estes novos vértices se obtém pela comparação das linhas 2D de duas projeções com os mesmos vértices terminais. Se em uma das projeções existem duas ou mais arestas, então um novo vértice é gerado na outra projeção. No exemplo da Fig (1), os novos vértices gerados são os representados na Fig (6)

Inicialmente deve-se considerar que está sendo processado as projeções ortográficas em três planos: xy, yz, zx. E que os vértices em cada um destes planos é um vértice bi-dimensional com coordenadas x e y para o plano xy, coordenadas y e z para o plano yz, e coordenadas z e x para o plano zx.

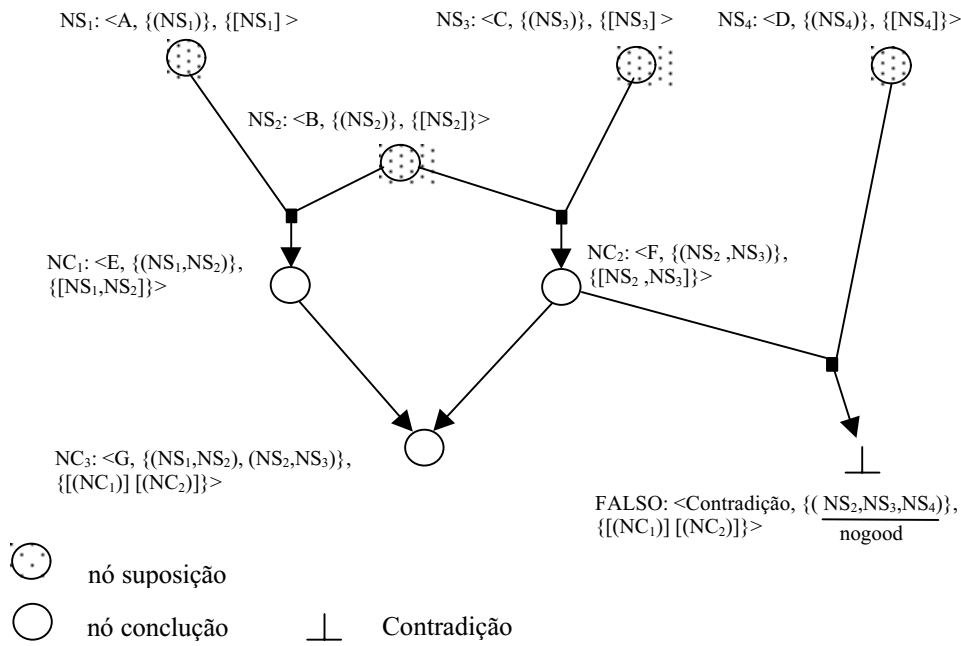


Figura 5. Exemplo de uma rede ATMS

Para este pré-processamento foi aplicada a seguinte regra:

$$\begin{array}{l}
 \text{Se } \exists e_{xy}(P_1, P_2) \wedge e_{xz}(P_3, P_4) \quad | \\
 P_{3z} = P_{4z} \quad \wedge \quad P_{1x} < P_{3x} < P_{2x} \\
 \Rightarrow e_{xy}(P_1, P_5) \quad \wedge \quad e_{xy}(P_5, P_2)
 \end{array}$$

Onde:

$e_{xy}(P_1, P_2) \rightarrow$  representa uma aresta na projeção XY, com vértices P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>.

A coordenda do vértice é representada por um índice associado ao nome do vértice.

A regra apresentada refere à análise das projeções XY e a projeção XZ, regras similares foram utilizadas para a análise das projeções XY com YZ, YZ com XY e com XZ, e XZ com YZ e XY. Gerando todos os vértices adicionais.

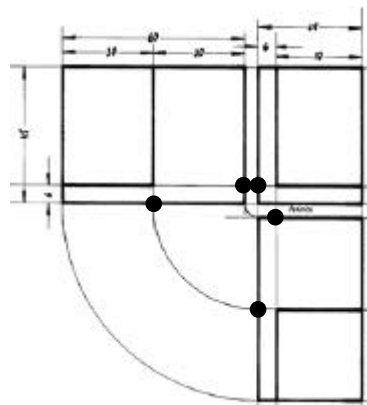


Figura 6. Exemplo da Fig (1), com os vértices adicionais criados após o pré-processamento.

### 5.3 Utilização do ATMS.

Como ferramenta para gerar o modelo B-Rep do objeto cujas projeções ortogonais serão analisadas, foi utilizado o ATMS. Para uma melhor compreensão do trabalho, será utilizada uma parte da estrutura ATMS correspondente ao exemplo da Fig (1). A Fig (8) e a Fig (9) ilustram um estado do ATMS na busca do sólido B-Rep associado á projeções ortográficas que estão sendo analisadas.

Em nosso ATMS existem dois tipos de nó. Os nós elemento (NE) que são as suposições iniciais do ATMS, em nosso caso, representam as arestas e vértices bi-dimensionais que compõem cada uma das projeções. E os nós derivados (ND) que podem ser a combinação entre nós derivados e as suposições.

Utilizando regras e aplicando-as aos nós elementos, de acordo com o caso, foram obtidos nó derivados que representam as arestas 3D do modelo *wireframe*.

Duas das regras aplicadas no caso foram:

A partir de uma aresta em XY e uma em YZ.

$$\text{Se } P_1(e_{xy})_y = P_1(e_{yz})_y \quad \text{e} \quad P_2(e_{xy})_y = P_2(e_{yz})_y$$

$$\text{então } \exists E3D [(P_1(e_{xy})_x, P_1(e_{xy})_y, P_1(e_{yz})_z), (P_2(e_{xy})_x, P_2(e_{xy})_y, P_2(e_{yz})_z))]$$

Onde:

$P_1(e_{xy})_x, P_1(e_{xy})_y, P_1(e_{xy})_z \rightarrow$  representam as coordenadas do ponto inicial de uma aresta na projeção XY.

$E3D \rightarrow$  representa uma aresta 3D.

E a partir de uma aresta em XZ e um vertice em YZ.

$$\text{Se } P_1(e_{xz})_z = P_2(e_{xz})_z \quad \text{e} \quad P(V_{yz})_z = P_1(e_{xz})_z$$

$$\text{então } \exists E3D [(P_1(e_{xz})_x, P(V_{yz})_y, P_1(e_{xz})_z), (P_2(e_{xz})_x, P(V_{yz})_y), P_2(e_{xz})_z)]$$

Onde:

$P(V_{yz})_x, P(V_{yz})_y, P(V_{yz})_z \rightarrow$  representam as coordenadas de um vértice na projeção YZ

No total existem 12 regras para identificar arestas 3D e acrescentar ao modelo *wireframe* do objeto. Cada vez que uma regra pode ser aplicada e como resultado acrescenta-se um novo elemento ao modelo.

Uma vez que as arestas estão acrescentadas à estrutura, começa-se a definir conjunto de arestas. Cada conjunto de arestas (representadas na Fig (8) como setEdge) tem duas extremidades, formadas por dois vértices ( $P_1, P_2$ ). A estas extremidades podem ser acrescentadas novas arestas aumentando o conjunto. Quando existissem duas ou mais arestas possíveis de serem acrescentadas a conjunto de arestas, a partir do mesmo vértice e segundo o mesmo plano, todas estas candidatas devem ser desconsideradas.

Na Fig (7a) mostra a formação de conjunto de arestas para a face superior do objeto da Fig (1). No caso são definidos três conjuntos de arestas.

A união de conjunto de aresta que tem sua incidência em um mesmo plano forma laços como se mostra na Fig (7b). No caso são gerados três laços (*loop*), que em um processo de transformação geram três faces, no exemplo:

$$\text{face 1} = \text{laço1} \cup \text{laço2}$$

$$\text{face 2} = \text{laço3} \cup \text{laço2}$$

$$\text{face 3} = \text{laço1} \cup \text{laço3}$$

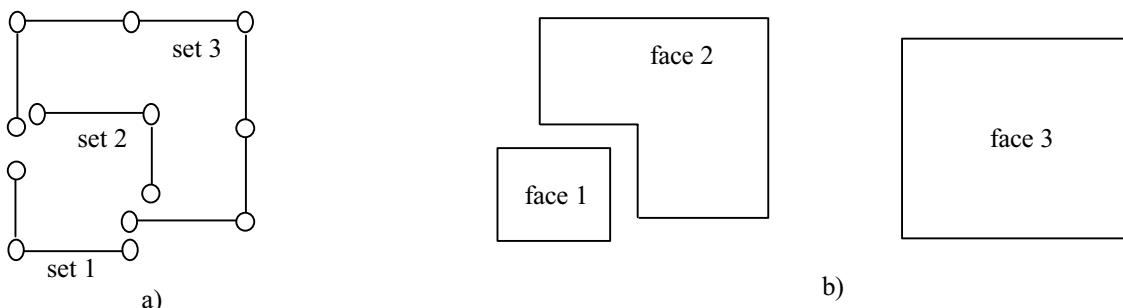


Figura 7. Manipulação de arestas para formar faces.



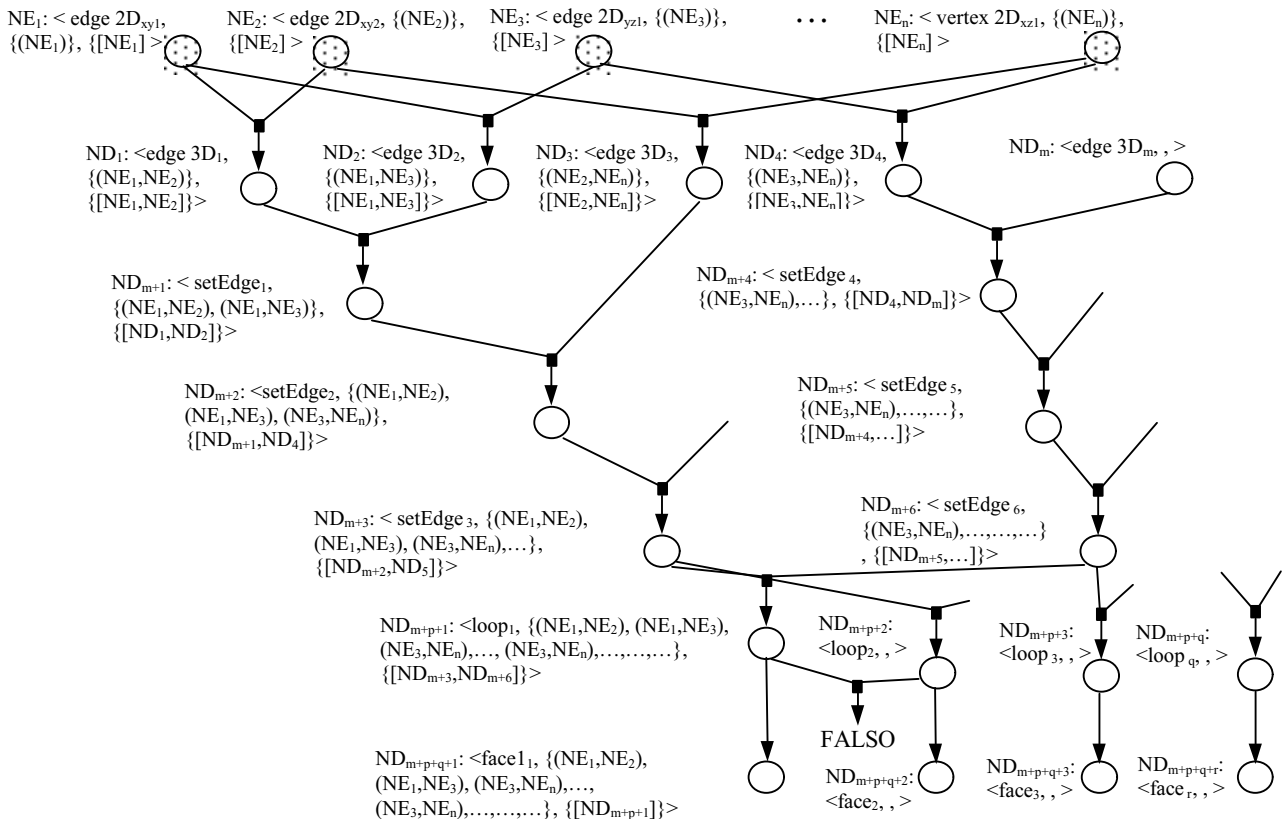


Figura 8. Primeira parte do fragmento da Estrutura ATMS do exemplo da Fig (1).

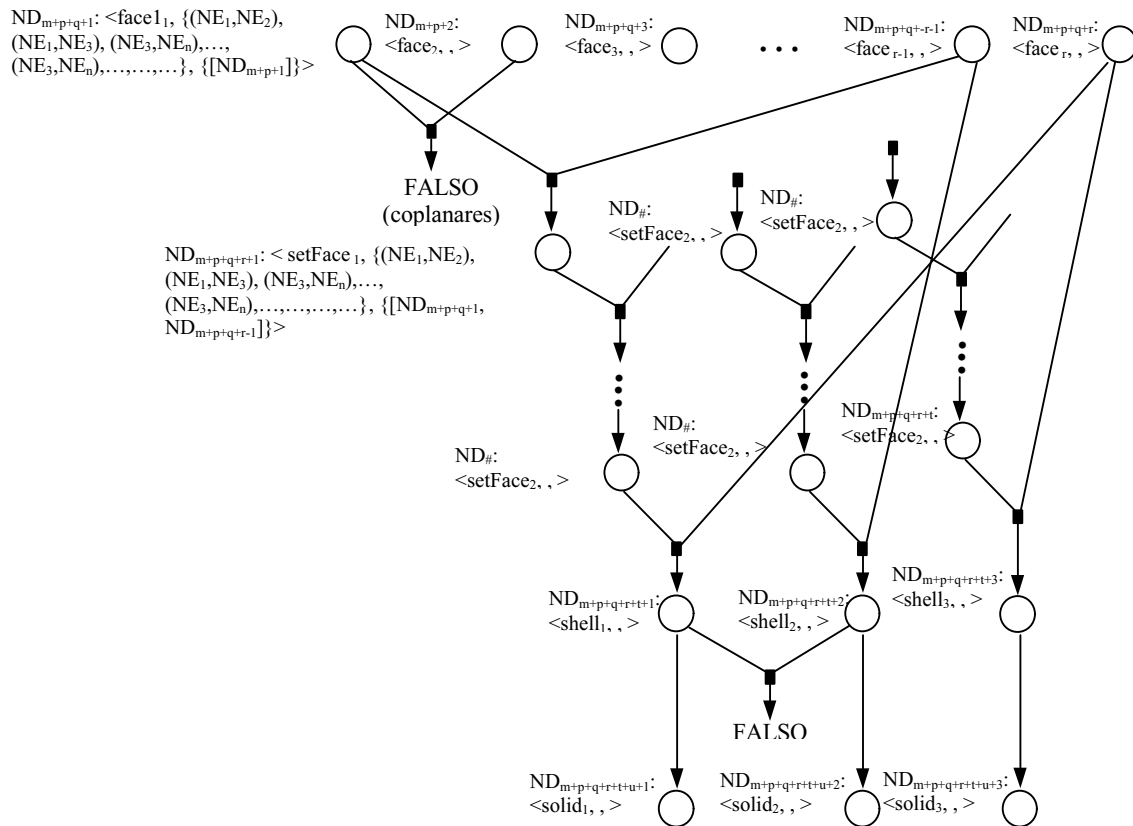


Figura 9. Segunda parte do fragmento da Estrutura ATMS do exemplo da Fig (1).

O sistema permite pela aplicação de regras, combinar laços para formar conjuntos de laços, que por sua vez formarão faces. A Fig (10) ilustra esta possibilidade, que representa a vista superior de uma face com um furo no meio. No caso, são gerados dois laços e três faces. Uma face formada só por o laço exterior, uma pelo laço interior e a terceira pela combinação dos dois laços. A condição necessária para combinar dois o mais laços é que um esteja no interior do outro.

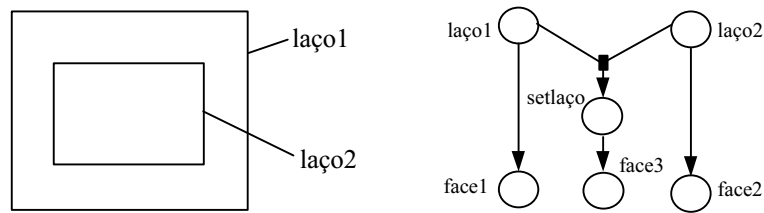


Figura 10. Manipulação de laços para formar faces

Analizando a incidência das faces geradas no ATMS sobre uma aresta, se geram os conjuntos de faces, de forma muito similar à geração de conjunto de arestas, laços e faces na primeira parte do método. Só que neste caso não podemos combinar duas faces coplanares, isto se assegura, criando no ATMS um contexto *nogood* que não permitirá uma solução que contenha esse contexto, o contexto *nogood* estar formado pela união do contexto das duas faces coplanares.

O conjunto de faces gera um *shell* do modelo B-Rep do objeto. Cada *shell* é transformado em um sólido que é uma possível solução ao problema. Da mesma forma que foram combinados os laços para gerar faces, os *shell* podem ser combinados para gerar conjuntos de *shell* que serão capazes de gerar sólidos formados por mais de um *shell*.

Ao final do processo se obtém vários sólidos como possível resposta ao problema, para identificar o sólido correto se procede a analisar o *label* de cada um dos nós que representam o sólido na estrutura ATMS. O nó que tenha em seu *label* todos os vértices das projeções é o correto. Para o exemplo da Fig (1) existem três possíveis soluções como se mostra na Fig (11). No caso, o terceiro sólido contém todas as arestas representadas nas projeções pelo que é a solução correta.

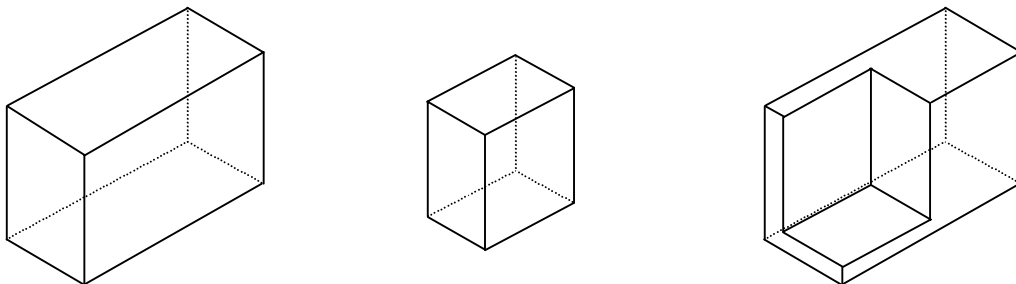


Figura 11. Soluções para o objeto da Fig (1).

## 6. Conclusões

Foi apresentado um novo método de conversão de sólidos a partir de suas projeções ortográficas, baseado em uma estrutura ATMS. Foi demonstrado a eficiência do ATMS para solucionar este tipo de problema, garantindo que todas as soluções possíveis sejam determinadas. O pre-processamento a pesar de aumentar a número de suposições, simplifica as regras a serem utilizadas. E as heurísticas propostas direcionam o método para que situações não viáveis nem sejam consideradas.

O método está sendo inicialmente utilizado só para polígonos retangular, mas pode ser utilizado também para outros tipos de objetos. O sistema foi implementado em C++.

## 7. Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente suportado pelo CNPq – proc. 300.224/96-6 e pela CAPES.

## 8. Referências

- Castro J. L., Zurita J. M, 1996 “A Generic ATMS”, International Journal of Approximate Reasoning, 14: 259-280
- Clowes, M. B., 1971 “On seeing things” Artificial Intelligence 2(1) pp 79-112
- Doyle J., 1979 “A Truth Maintenance System”, Artificial Intelligence, Vol 12, No. 3, pp 231-272
- Falk, G. “Interpretation of imperfect line data as three-dimensional scena.” Artificial Intelligence 3(2) pp 101-144
- Huffman, D. A., 1971 “Impossible object as nonsense sentences”, Machine Intelligence, Vol6, pp 259-323

- Idesawa, M., 1973 "A system to generate a solid figure from three views" JSME Bulletin, 16, pp 216-225
- Kleer D. J., 1986 "An Assumption-Based TMS", Artificial Intelligence, Vol 28, No. 2, pp 127-162
- Kuo m. H., 1998 "Reconstruction of quadric surface solids from three-view engineering drawing", Computer – Aided Design, Vol 30 No.7, pp 517-527
- Lamb, D., Bandopadhyay, A., 1990 "Interpreting a 3D bject from a rough 2D line drawing.", Proceeding of Visualization 90, pp 59-66
- Mackworth, A. K., 1973 "Interpreting pictures of polyhecral scene" Artificial Intelligence, 4, pp 121-137
- Markowsky, G. and Wesley, M., 1981 "Fleshing Out Projections." IBM Journal of Research and Development, 25(6), pp 934-954
- Masuda H., Numao M., 1997 "A cell-based approach for generating solid objects from orthographic projections" Computer – Aided Design, Vol 29 No. 3, pp 177-187
- Minardi, P "Reconstruction of 3-Dimensional Solid Objects Represented by Wire-Frame Descriptions"
- Sakuai, H., Gossard, D., 1983 "Solid model input through orthographic views" Computer Graphics (SIGGRAPH83), 17, pp 243-252
- Simon S. P. Shum, W. S. Lau, Matthew M. F. Yuen, K. M. Yu, 1997 "Solid Reconstruction from orthographic opaque views using inemental extrusion", Comput. & Graphics, Vol. 21 No. 6, pp 787-800.
- Sugihara, K. 1982 "Mathematical structures of line drawings of polyhedrons – towards man-machine communication by means of line drawing", IEEE Transactions on Patters Analysis and Machine Intelligence, 4, pp 458-469
- Tanaka M. , Iwama K., Hosada A. Watanabe T., 1998 "Decomposition of a 2D assembly drawing into 3D part drawings", Computer – Aided Design, Vol 30 No. 1, pp 37-46
- Waltz, D. L., 1975 "Understanding line drawings of scenes with shadows", The Psychology of Computer Vision, pp 19-99

### **Transforming orthographic projections in three-dimensional B-Rep solids**

#### **Luís Cuevas Rodríguez.**

Polytechnic School of University of São Paulo.  
 University of Holguín - Cuba.  
 Department of Mecânica and Mechanical Systems.  
 Av. Prof. Mello Moraes, 2231, 05508-900, São Paulo, SP.  
[luís.cuevas@poli.usp.br](mailto:luís.cuevas@poli.usp.br)

#### **Marcos de Sales Guerra Tsuzuki.**

Polytechnic School of University of São Paulo.  
 Department of Mecânica and Mechanical Systems.  
 Av. Prof. Mello Moraes, 2231, 05508-900, São Paulo, SP  
[mtsuzuki@usp.br](mailto:mtsuzuki@usp.br)

#### **Abstract:**

The engineering drawings are used widely and play an essential role in traditional mechanical engineering, because it provides an easy way of describing the exact shape of any material object. Exists a great amount of engineering drawings that was not still transferred for CAD systems. Still, there is bidimensional CAD systems that don't support the definition of three-dimensional solid models. This way, without a doubt, exists the need of reconstructing solid models starting from its bidimensional representations, because in several areas (including CAD/CAM, automatic generation of tool-paths, finite elements, among others) a great number of applications manipulates three-dimensional solid models directly. Some engineering drawings don't represent just an unique solid model, being possible to associate two or more interpretations to the same engineering drawing. Several works were developed to convert the orthographic projections of an object in its solid model, but it was not still possible to develop a conversion system that allows to reconstruct all possible solids represented by the engineering drawings. In this work we will propose a method for converting tridimensional objects starting from their orthographic projections, using a cellular model with non-manifold topology and an assumption-based truth maintenance system (ATMS). In this work it will be carried out a literature revision, we will present the ATMS system and the proposed rules.

*Keywords: orthographic projections, B-Rep, ATMS (assumption-based truth maintenance system)*

# UM MÉTODO PARA DADOS DE PROJETO MECÂNICO BASEADO EM OBJETOS E FEATURES

## Raimundo Ricardo Matos da Cunha

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Bloco A, 1o. Andar, Sala 13, Campus Universitário, Trindade, 88040-900, Florianópolis – Santa Catarina.  
E-mail: ricardo@emc.ufsc.br

## Altamir Dias

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Bloco A, 1o. Andar, Sala 15, Campus Universitário, Trindade, 88040-900, Florianópolis – Santa Catarina.  
E-mail: altamir@emc.ufsc.br

**Resumo.** Neste artigo, os objetivos principais são: definir e contextualizar o conceito de *features* para o projeto, caracterizar as *features* como uma unidade de informação para representação dos dados de projeto, e utilizar os conceitos de orientação a objetos na implementação computacional. É sabido que as informações e os dados de projeto constituem-se de características geométricas e não-geométricas. O uso do conceito de *features* de projeto proporciona um significado de aplicação muito mais completo para estes dois tipos de informação, pois os encapsulam numa estrutura de dados única. A revisão bibliográfica mostra a evolução do conceito de *features*; e nesse contexto, é proposta uma visão de *feature* enfocando as fases do projeto mecânico. O escopo de aplicação concentra-se nas fases do processo de projeto mecânico clássico – informacional, conceitual, preliminar e detalhado. É proposta a modelagem de *features* de projeto, através da identificação de atributos representativos da informação em cada uma das fases de projeto. Nas fases iniciais é significativamente importante a identificação dos atributos não-geométricos, e principalmente à integração desses atributos, com as informações geométricas. Objetivo final é identificar e definir *features* de projeto que resultem num sistema CAD mais integrado aos novos conceitos de metodologias de projeto mecânico.

**Palavras-chave:** CAD, Feature, Modelagem de Dados, Orientação a Objetos, Projeto Mecânico.

## 1. Introdução

A informação de projeto de produtos industriais genéricos trata com tipos de dados geométricos e não-geométricos. Estes dados podem ser encapsulados numa estrutura de dados única, utilizando para isso as *features* de projeto como unidade de informação, as quais podem possuir diferentes significados dependendo do contexto específico de aplicação.

Neste artigo, as *features* de projeto são usadas para troca e compartilhamento de informações entre as diferentes fases de projeto mecânico. Dessa forma, para satisfazer os requisitos de projeto de cada fase na definição de um produto, um conjunto de *features* pode ser definido para identificar e classificar informações específicas sobre cada fase correspondente de projeto.

A *feature* da fase de projeto é definida como:

“Um conjunto de objetos de projeto, os quais encapsulam atributos e métodos específicos de cada fase de projeto, caracterizando uma assinatura da fase de projeto”.

A *feature* da fase de projeto pode ser implementada como uma interface computacional para instanciar *features* específicas de cada fase de projeto, e para editar a necessária informação não-geométrica, dando a ela um significado de Engenharia. Estas *features* devem convergir para instâncias de objetos usadas por um ambiente de um sistema CAD convencional, de forma a criar o projeto detalhado do produto.

Nesta proposta, a modelagem de *features* é usada para capturar e armazenar informações e dados de projeto de cada fase do projeto mecânico. O conjunto de *features* características da fase de projeto atual deve ser uma evolução dos dados geométricos e não-geométricos da fase anterior. Isto significa caracterizar cada fase do processo de projeto através de *assinatura de projeto*. Assim, uma modelagem orientada a objetos de classes de *features* pode capturar a semântica da transformação de dados e da evolução das fases de projeto.

As metodologias de processo de projeto, comumente aceitas pelos mais importantes pesquisadores, dividem o processo de projeto em fases (Pahl e Beitz, 1996) e/ou em modelos (Ohsuga, 1989). Essas diferentes formas dizem respeito à maneira de descrever como se organizam as mudanças e transformações da informação de projeto em cada fase, como afirmam (Achten e Leeuwen, 1998). Portanto, as mudanças e transformações de projeto que ocorrem no processo de projeto podem ser capturadas e convertidas em termos de intenções do projetista, utilizando neste artigo o modelo de projeto baseado em *features da fase de projeto*.

Para a sistematização e facilidade de integração entre as fases de projeto e outros subseqüentes estágios do ciclo de vida do produto, ficou decidido que a modelagem dos dados do produto se baseie numa sistemática de projeto com fases bem definidas, tais como: informacional (definição do problema de projeto), conceitual, preliminar e detalhada.

Conforme o que foi discutido anteriormente, esta pesquisa se concentra em duas questões principais, quais sejam:

- **A modelagem de dados e uma estrutura de dados baseada em *features*** para o projeto mecânico com sistemas CAD;
- Suporte computacional para a **evolução e transformação dos dados do projeto de produtos mecânicos** durante as fases do processo de projeto.

O sistema CAD será usado como uma plataforma-cliente das implementações de recursos computacionais para auxiliar no processo de projeto mecânico. Estes sistemas CAD podem já possuir estes recursos computacionais ou poderão tê-los integrados e/ou implementados dentro do sistema, tais como: bancos de dados de componentes padronizados, bibliotecas de *features*, funções de produto, bancos de dados de princípio de solução, e regras para sistemas especialistas.

A seção 2 deste artigo faz uma revisão bibliográfica dos trabalhos relacionados à área de pesquisa de tecnologia de modelagem de *features*, sistemas CAD e projeto de projeto integrado, enfatizando métodos utilizados para realizarem a captura da evolução e transformação dos dados nas fases de projeto. Alguns conceitos básicos são apresentados, tais como a diferença entre informação de projeto e dado de projeto, além de uma discussão sobre as similaridades entre os conceitos de *feature* e objeto.

A seção 3 apresenta e descreve a proposta desse artigo. Ela enfatiza a importância que é considerar a documentação do produto em todas as fases do projeto mecânico. Além disso, é apresentada a estrutura de dados orientados a objetos das classes que representam as *features da fase de projeto*.

Na última seção, as *features da fase de projeto* são exemplificadas, ainda numa forma esquemática, dentro do contexto do processo de projeto mecânico. E finalmente, algumas conclusões da pesquisa são comentadas.

## 2. Revisão bibliográfica

### 2.1. A modelagem de objetos e *features*

As pesquisas realizadas na década de 90 recomendam que a modelagem de dados deve ser feita baseada nos princípios dos modelos orientados a objeto (Warman, 1990). Portanto, muitas das companhias fornecedoras de sistemas CAD estão desenvolvendo seus programas baseados no paradigma de orientação a objetos. Elas estão fornecendo recursos e ferramentas que implementam este paradigma. O mais importante de salientar é que, ainda hoje e para o futuro próximo, a escolha por modelos orientados a objeto permanece válida e aceita como a mais indicada para a modelagem computacional de problemas do mundo real.

Seguindo essa tendência, o desenvolvimento de sistemas CAD tem mostrado uma convergência entre os conceitos de sistemas CAD baseados em *features* e métodos de modelagem dessas entidades utilizando os princípios de orientação a objeto. Várias pesquisas (Warman, 1990; Kumar *et al.*, 1999; e Day, 2000) têm deixado evidente esta tendência.

O contexto computacional de modelagem orientação a objeto usa a definição de objeto para se referir à mesma função que as definições de *features* exercem no contexto computacional de projeto e da tecnologia em sistemas CAD. A idéia de *feature*, usada no projeto de componentes mecânicos e desenvolvimento de produtos, é perfeitamente modelada e programada por métodos baseados nos princípios de orientação a objeto. Todavia, é importante considerar dois pontos:

- Primeiro, que o conceito de objeto é muito mais amplo e subjetivo que o conceito de *feature*, visto que objeto pode ser usado para modelar qualquer coisa do mundo real ou abstrato. Ou seja, pode-se dizer que toda *feature* pode ser modelada como objeto, mas nem todo objeto representa uma *feature*.
- E segundo, que o conceito de objeto não é uma terminologia comum no contexto de Engenharia.

Pelas considerações levantadas acima, o termo *feature* tem sido usado no contexto computacional de projeto e dos sistemas CAD para representar a idéia de objeto. Assim como o termo objeto é usado em computação, a definição de *feature* é uma abstração que reflete a idéia de objetos dentro do contexto de projeto, como é mostrado na Fig. (1).

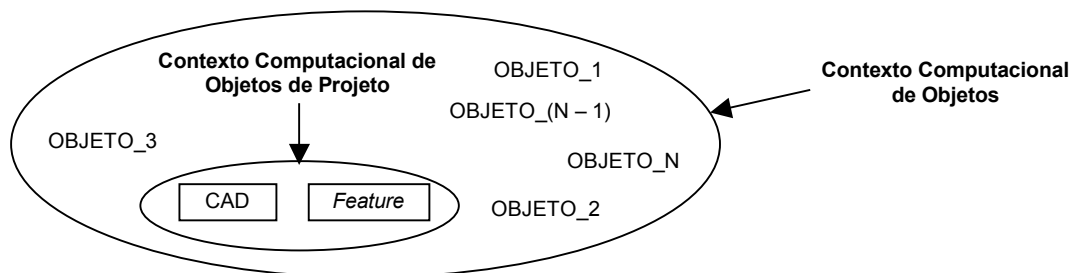


Figura 1. Convergência entre os contextos computacionais de modelagem orientada a objetos e o de projeto baseado em *features*.

Atualmente, o conceito de *feature* tem evoluído, e se modificou, estendendo seu significado desde as primeiras definições, as quais consideravam apenas o contexto de Fabricação para definir as propriedades e dados geométricos

dos componentes mecânicos. As principais mudanças e avanços têm se verificado no contexto de modelagem computacional do projeto.

Diferentes formas de definir objetos e *features* pesquisadas por (Cunha, 2000), têm evidenciado as similaridades entre objetos (modelagem computacional de objetos) e *features* (modelagem de entidades do sistema CAD) considerando o contexto de projeto, conforme são listadas abaixo:

Para (Warman, 1990), "*features ou elementos de projeto são tratados como objetos que possuem um código computacional e podem manipular mensagens*".

Para (Shah, 1991), "*features são formas genéricas que os engenheiros associam certas propriedades ou atributos e conhecimento útil para a análise de processos sobre o produto, em outras palavras, as features são vistas como as primitivas de Engenharia*".

Para (McGinnis e Ullman, 1992), "*feature é uma característica específica ou particular de um objeto de projeto que contém ou relaciona informação a respeito do objeto. Ela é verbalmente representada na forma de um substantivo*".

Para (Salomons *et al.*, 1993), "*features podem ser tratadas como objetos de projeto, pertencendo a uma classe geral, a qual herda propriedades de outras classes*".

Para (McMahon e Browne, 1998), "*feature é qualquer elemento ou propriedade geométrico/funcional de um objeto útil para o entendimento da função, do comportamento ou da performance do objeto*".

Para (Bidarra e Bronsvort, 2000), "*feature é uma representação dos aspectos de forma de um produto, os quais são mapeáveis para a forma genérica e que são significativamente funcionais para alguma fase do ciclo de vida do produto*".

Para (Brunetti e Golob, 2000), "*feature é uma unidade de informação (elemento) representando uma região de interesse dentro de um produto. A descrição contém as propriedades relevantes incluindo seus valores e suas relações (estrutura e restrições). Além disso, ela é definida no escopo de uma visão de especificação da descrição do produto com respeito às classes de propriedades e para as fases do ciclo de vida do produto*".

A partir dessas definições, e baseado no que foi escrito sobre a modelagem de *feature* e orientação a objeto, pode ser concluído que:

$$\text{Objeto} \equiv \text{Feature} \Leftrightarrow (\text{Geometria, Topologia}) \cup \text{Semântica} \tag{1}$$

Na Eq. (1), a geometria e a topologia representam a parte física do modelo, a qual é independente, exata e quantitativa. A semântica, por sua vez, representa a parte abstrata do modelo, cujo significado é dependente, subjetivo e qualitativo. Na definição de *feature*, a semântica é dependente do nível de abstração, do tipo de produto, e do tipo de aplicação. A semântica captura as restrições e os comportamentos de um objeto ou *feature*. O sinal de identidade representa a herança existente entre a representação de objetos e de *features*.

**2.2. Informações e dados no processo de projeto do produto.**

Informação é definida nesse artigo como um conjunto de dados, onde os relacionamentos e as regras associadas para uma aplicação estão bem definidos e associados a um contexto de aplicação. Já os dados são relacionados exclusivamente aos valores, e por isso eles não precisam de um contexto de aplicação. A informação é o resultado ou a saída do processo de transformação baseado em dados, os quais são as entradas. A informação depende da adição de conhecimento aos dados, o qual é feita através de relações e regras do domínio de aplicação, tal como é mostrado na Fig. (2a). Concluindo, pode-se dizer que a informação é um dado com um contexto de aplicação.

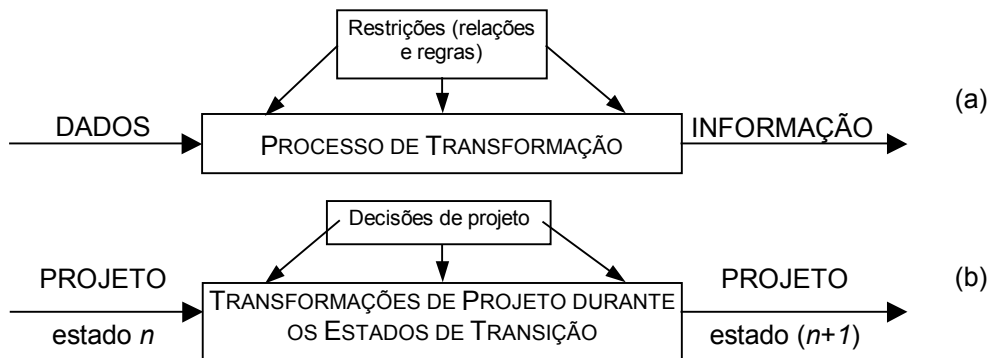


Figura 2. O processo de transformação de dados em informação.

Quando aplicado à atividade de projeto, a informação do processo de projeto refere-se a substantivos, e conseqüentemente ela possui a semântica relacionada a ela. Considerando o contexto de orientação a objeto, a informação de projeto encaixa-se perfeitamente com o conceito de classe de objetos. Os dados de projeto referem-se a

valores, quantidades, dimensões, etc.. Eles são fatos mais reais, exatos e pontuais. Isso os coloca muito mais próximo da idéia de instância de objeto.

Outra diferença entre informação de projeto e dado de projeto está na representação utilizada por ambos. Os dados de projeto podem possuir várias formas para representá-lo, enquanto a representação da informação de projeto, uma vez definida, mantém-se a mesma em toda a existência do contexto ao qual ela se encontra. Isso implica que a informação de projeto possui uma natureza muito mais invariável. A informação não se transforma durante o processo de projeto, porque ela diz respeito à semântica, a qual é fixa durante todo o processo. Por sua vez, os dados de projeto transformam-se e modificam-se, visto que eles armazenam os valores geométricos e/ou não-geométricos da informação de projeto. A Figura 2(b) mostra através do conceito de estado de transição, que mudanças e transformações ocorrem durante as fases de projeto. E isso se dá quando o projetista especifica as restrições e toma decisões de projeto.

A diferença entre dados de projeto e informação de projeto está resumida na Tab. (1).

Tabela 1. Diferenças entre o dado de projeto e a informação de projeto.

Dados	x	Informação
É um valor		É um substantivo
É mutável durante um processo		É definido e fixo durante um processo
Possui muitas representações		Mantém o significado, a semântica
É independente do contexto de aplicação		É dependente do contexto de aplicação
Possui somente uma visão, um ponto de vista		Possui várias visões possíveis para cada aplicação
Possui um significado de instância de objeto		Possui um significado de instância de objeto

De acordo com o ponto de vista de (McGinnis e Ullman, 1992), o papel da informação nas atividades de projeto é dar um significado ou uma semântica ao dado de projeto. Para projetar um componente, algumas restrições sobre sua forma e sua função são fornecidas ainda nos estágios iniciais das fases de projeto. Algumas restrições são oriundas do conhecimento e da experiência do projetista sobre o domínio do problema, e outras são derivadas de cada decisão de projeto tomada no processo de projeto. (McGinnis e Ullman, 1992) concluíram que o refinamento do projeto do componente depende de um conjunto de inter-relacionamentos entre as restrições de projeto. Eles também afirmam que o projeto do produto final é resultado de ações tomadas nos estados de projeto, os quais são resultados dos estados de transição. Os estados de transição ou o processo de transformação é evidenciado pelas mudanças nos valores dos atributos das restrições de projeto (relações e regras do domínio de aplicação), tal como mostrado na Fig. (2b).

(McGinnis e Ullman, 1992) estabeleceram dois tipos de estruturas de protocolos para definir os relacionamentos entre restrições e *features* de projeto.

O protocolo de instanciação das *features* toma a seguinte forma:

**<feature de forma> – <instanciação> e <feature funcional> – <instanciação>**

O protocolo de instanciação refere-se aos valores especificados para as *features*:

Ex.: [tempo de operação – é 40s]; ou [altura do furo – ≥ 10mm]

O protocolo de relacionamento entre *features* é da seguinte forma:

**<feature dependente – relacionamento – features independentes>**

O protocolo de relacionamento estabelece que uma ou mais *features* restringem uma única *feature*. Eles identificaram 10 possibilidades desse tipo de protocolo. Por exemplo:

**<feature de forma> – <relacionamento de forma> – <features independente(s)>**

Ex.: [posição do furo – é no meio da – base de suporte]

**<feature de forma> – <relacionamento funcional> – <feature independente(s)>**

Ex.: [furo central – suporta – eixo principal]

(McGinnis e Ullman, 1992) desenvolveram as idéias fundamentais para o entendimento desses relacionamentos entre restrições e *features* de projeto nas fases iniciais de projeto (projeto informacional e projeto conceitual). Também, as estruturas de protocolo acima mostram um certo padrão de relacionamento, o qual pode ser usado para definir padrões de inter-relacionamento entre as restrições e as *features* de projeto, considerando aspectos de forma e função.

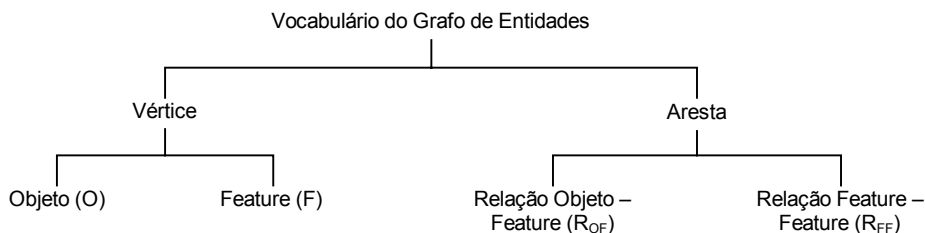


Figura 3. Estrutura hierárquica do vocabulário do grafo de entidades (Baseado em Au e Yuen, 2000).

Outro importante aspecto é sobre o vocabulário usado para definir objetos. Assim como (McGinnis e Ullman, 1992), (Au e Yuen, 2000) desenvolveram uma pesquisa onde eles propuseram uma estrutura hierárquica do vocabulário entre objetos, *features* e relações (restrições), como é mostrado na Fig. (3). Eles usaram uma estrutura de grafo para representar a estrutura. E pela análise e comparação deste grafo com outras estruturas propostas em outras pesquisas (McGinnis e Ullman, 1992; Maziero *et al.*, 2000), pôde ser concluído que a uma estrutura de grafo pode representar graficamente o protocolo estabelecido por (McGinnis e Ullman, 1992). Os grafos atendem as necessidades de uma estrutura de dados para relacionar *features* e restrições de projeto.

A forma para representar a evolução e transformação dos dados de projeto baseado no modelo de *features* foi também proposta por (Achten e Leeuwen, 2000). Eles realizaram um estudo de caso no domínio do projeto de arquitetura, onde eles analisaram a representação dos desenhos em diferentes fases do projeto conforme os passos a seguir:

- Para cada fase, eles identificaram os tipos de informações associadas com o problema, e os colocaram na forma de *features*;
- Para novos elementos, eles realizaram a definição desses elementos em termos de *features* simples ou complexas.

Ex.: Exemplo de um tipo de *feature* **Esquema**

```

complexo FeatureConceitual.esquema.Esquema {
  TipoData {27/07/2001}
  TipoAutor {RR}
  TipoDescricao {"Armazena as formas gerais e dimensões grosseiras do esquema de projeto"}.
  Espec FeatureConceitual.esquema.Esquema contem [0..?];
  Espec Usuario.valor.Dimensao dimensao[0..?];
  Espec Usuario.valor.Funcao funcao;
  Possui FeatureConceitual.estrutura.FeaturesAssociadas ListaDeFeatures;
  Espec Usuario.valor.NumeroDeFeatures numeroDeFeatures;
}
    
```

- *Features* já definidas são instanciadas com os objetos correspondentes, e registrados os seus respectivos atributos.

Ex.: Instanciação de uma *feature* **Esquema EstruturaDeAco**, fornecida pelos autores:

```

FeatureConceitual.esquema.Esquema.EstruturaDeAco = {
  contem[1] = barra1
  dimensao[1] = 20
  contem[2] = barra2
  dimensao[2] = 10
  funcao = {FuncaoSuporte}
  listaDeFeatures = {bloco1, bloco2}
  numeroDeFeatures = 2
}
    
```

Tipos e instâncias de *features* são definidas e representadas textualmente através de uma linguagem de especificação de definição, chamada **FDTL** (*Feature Type Definition Language*), exatamente como exemplificado acima.

(Achten e Leeuwen, 2000) descrevem as transformações do objeto de produto usando um conjunto de objetos predefinidos. Estes objetos encapsulam as informações de projeto, e fornecem uma forma de visualizar a evolução do projeto durante as fases de projeto, definindo uma *feature da fase de projeto*.

A assinatura de projeto representada por uma estrutura gráfica foi também proposta por (Regli e Cicirello, 1999). Esta estrutura consiste de um hipergrafo, onde os vértices representam os atributos de projeto e as entidades do modelo de contorno (B-Rep) para o qual os atributos se referem.

Muitos pesquisadores estão geralmente baseados no modelo do produto, o qual trabalha como uma interface entre diferentes pontos de vista do produto. Para Van Der Net, mencionado por (Maziero *et al.*, 2000), o modelo de produto deve satisfazer três necessidades básicas:

- Do ponto de vista de integração das atividades do ciclo de vida do produto – capturar e recuperar as intenções, desejos e o raciocínio do projetista;
- Do ponto de vista de projeto – criar uma descrição consistente do produto para auxiliar o projeto, bem como as atividades subseqüentes do ciclo de vida do produto.
- Do ponto de vista da produção – permitir analisar a manufacturabilidade do produto, simultaneamente com o desenvolvimento do projeto.

Um modelo de informação e um método de dados de projeto têm que considerar aspectos relacionados à



Engenharia Concorrente e de Desenvolvimento Integrado do Produto.

Isso significa que para desenvolver um modelo global do produto, constituído por várias visões do produto, necessita-se que dois novos requisitos básicos sejam adicionados, a saber:

- Uma estrutura de dados consistente, extensível e reusável – isso implica numa padronização de definições de objetos, terminologia, procedimentos e uma arquitetura computacional;
- Uma metodologia de projeto consensual – para orientar o processo de projeto.

### 3. Features da fase de projeto

#### 3.1. A metodologia de projeto e os sistemas CAD

O processo de projeto necessita de recursos metodológicos e computacionais para proporcionar o reuso, o compartilhamento e a troca de dados e informação durante o ciclo de vida do produto ou de um componente. Neste artigo, isso implica em seguir uma metodologia ou sistemática com fases de projeto bem definidas.

(Pahl e Beitz, 1996) definem a sistemática de projeto que será usada neste artigo, conforme é mostrada na Fig. (4). Outras pesquisas têm usado a mesma seqüência, e a interação entre elas não será considerada por enquanto.

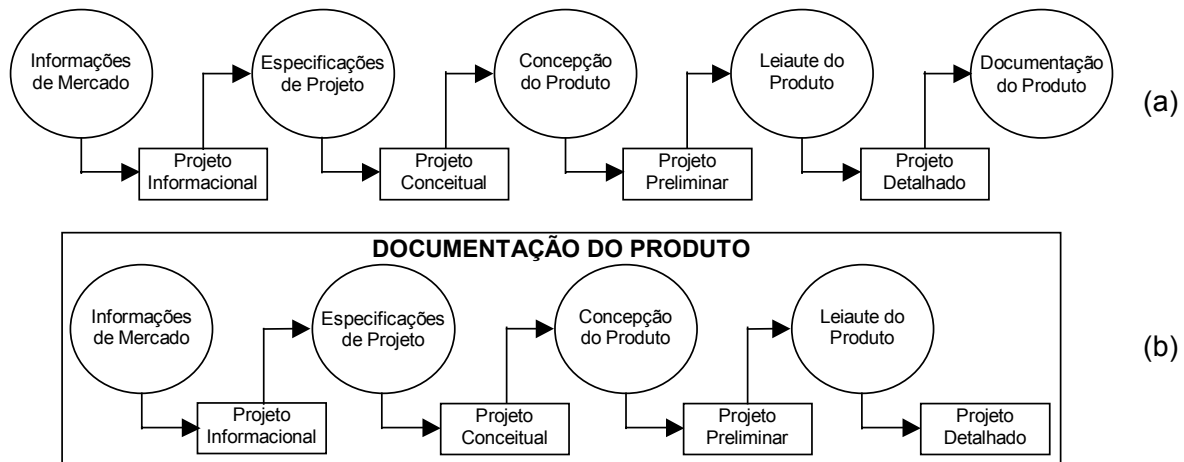


Figura 4. Fase de projeto e a documentação do produto usando sistemas CAD.

É comumente aceito que a documentação do produto seja feita somente durante o projeto detalhado, tais como na Fig. (4a). Diferentemente, a sistemática desse artigo propõe que a documentação do produto seja feita durante todo o processo de projeto, como mostrado na Fig. (4b). A reusabilidade da informação de projeto tem que considerar todos os dados relacionados à concepção do produto, desde a fase informacional até a fase de projeto detalhado. Tal processo tem que ser encapsulado numa nova estrutura de dados. A questão é: Que tipo de estrutura de dados tem que ser usada para satisfazer toda a informação considerada nas fases de projeto do produto? E como a nova estrutura de dados será usada e integrada ao sistema CAD?

#### 3.2. A proposta de uma nova estrutura de dados de projeto

Atualmente, a *feature* é o estado da arte atual para representar a estrutura de dados em sistemas CAD. Ela é uma modelagem de entidades, a qual habilita a encapsulação e integração de várias visões do produto e do seu ciclo de vida, mas com uso ainda restrito a fases de projeto preliminar e detalhado.

Na modelagem computacional, as *features* são modeladas como objetos que encapsulam os dados geométricos e topológicos, juntamente com sua semântica (identidade, estado, comportamento), o qual especifica atributos de cada fase de projeto.

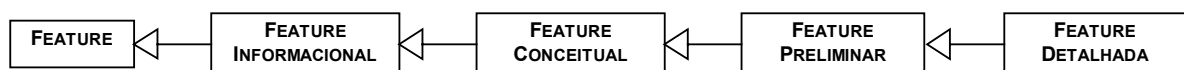


Figura 5. Hierarquia de classes das *features* da fase de projeto.

Diferente do conceito de *feature* disponível nos sistemas CAD comerciais da atualidade, neste artigo a definição de *feature* será estendida para representar a nova estrutura de dados. Essa estrutura tem que ser habilitada a documentar cada fase do processo de projeto. Esta nova estrutura de dados é um pré-requisito, para proporcionar a cada fase de projeto, com um esquema para armazenar, gerenciar, e recuperar a semântica do produto intencionada nas fases do processo de projeto.

O processo de projeto do produto é mostrado como uma estrutura hierárquica de *features* conforme a Fig. (5), a

qual enfatiza a evolução dos dados e informações durante as fases do processo de projeto mecânico.

A estrutura hierárquica assume uma característica de relacionamento de especialização/generalização, isto é, cada classe de *feature* é uma evolução das classes anteriores e herda seus atributos e métodos.

A *feature* da fase de projeto é constituída por outras classes de objetos de projeto, os quais são específicos do contexto de projeto de modelagem do produto. Desta maneira, a *feature* da fase de projeto assume a forma de classe composta, onde uma característica de relacionamento do tipo topo/parte é introduzida.

A superclasse **Feature** possui atributos genéricos para identificação da *feature*, e métodos de manipulação, tais como a instanciação, inserção e deleção de uma *feature* do modelo CAD. A intenção é que outras classificações possam herdar essas funcionalidades de atributos e métodos pelo mecanismo de herança da orientação a objeto. Ela também favorece a reusabilidade de dados e o compartilhamento de dados entre diferentes contextos ou visões do produto.

As classes de *features* – **Informacional**, **Conceitual**, **Preliminar** e **Detalhada** – são especializações da superclasse **Feature**. Elas são definidas pela composição de outras *features* que representam e caracterizam as correspondentes fases do projeto mecânico.

### 3.3. A evolução e transformação dos dados de projeto

Para alcançar os objetivos, é necessário considerar duas questões, tais como (Brunetti e Golob, 2000) determinam:

- A primeira questão é suportar o fluxo de informação sem perdas ao longo da cadeia do processo de projeto, de forma a manter um constante e contínuo ambiente de suporte às atividades de Engenharia para o desenvolvimento integrado do produto;
- E a segunda questão é assistir o projetista em todas as fases do desenvolvimento do produto, com o desenvolvimento de uma sintaxe correta e semanticamente consistente nos modelos do produto, proporcionando um suporte computacional intuitivo e inteligente. Isso deve favorecer a minimização de possíveis fontes de erros de Engenharia, e maximizar a capacidade de mapear a criatividade do projetista em correspondentes modelos matemáticos do produto.

A modelagem computacional orientada a objetos sugere a composição de objetos para tornar mais fácil englobar várias aplicações para esta estrutura de dados, tal como mostrado na Fig. (5).

A estrutura de dados das fases informacional e conceitual deve ser hábil a instanciar *features*, tais como tabelas, para alimentar banco de dados e vice-versa, de forma a tornar possível a análise ou verificação/avaliação de especificações de projeto, restrições de projeto, potencialidades e ferramentas para fabricação, estimativas de custo, etc.. Muitos dos dados e informações dessas fases dizem respeito à natureza não-geométrica ou não-gráfica do produto.

Ao final da fase de projeto conceitual, alguns rascunhos ou esquemas grosseiros podem começar a tomar forma e servirem de elos de ligação para instanciar *features* básicas no sistema CAD, numa fase posterior de detalhamento.

No projeto informacional, a classe de **Feature\_Informacional** poderia ser composta dos seguintes atributos:

```
Feature_Informacional {
    Lista_Restricoes
    Tabela_Requisitos_Cliente
    Tabela_Requisitos_Projeto
}
```

A informação desta fase é caracterizada como tendo uma natureza descritiva e textual. A **Feature\_Informacional** possui atributos, tais como a lista de restrições de projeto, a tabela de requisitos do cliente, e a tabela de requisitos de projeto. O objetivo principal desta fase informacional é obter e gerar a primeira versão das especificações de projeto. É importante realçar que toda informação dessa fase informacional ainda é muito grosseira e imprecisa, e expressa somente os desejos, necessidades e requisitos do cliente e os requisitos do projeto.

Seguindo na sistemática de projeto, a classe de **Feature\_Conceitual** é onde a **Feature\_Informacional** torna-se uma estrutura de funções do produto. Assim, esta classe pode ser composta de:

```
Feature_Conceitual {
    Lista_FuncoesGlobais
    Lista_FuncoesParciais
    Lista_FuncoesElementares
}
```

Nesta fase, a informação é constituída pela lista de funções do produto: função global, parcial, e elementar. O objetivo nesta fase é selecionar e indicar uma concepção do produto ou uma alternativa de solução do problema de projeto.

Na fase de projeto preliminar, a informação geométrica ainda é não definitiva ou final. Mas a estrutura de funcionalidades do produto começa a tomar formas. Algumas geometrias e seus relacionamentos começam a tornarem-se mais visíveis. Toda a informação capturada nesta fase será definida como uma classe de **Feature\_Preliminar**. Esta

*feature* pode ser composta por:

```
Feature_Preliminar {
  FormaEsquemática_Produto
  Orientação_Pecas
  Posicionamento_Pecas
  RegiõesInteresse_Produto
}
```

A classe de **Feature\_Preliminar** encapsula informações gerais sobre o produto, tais como: rascunhos ou esquemas da forma do produto, posicionamentos e orientações das peças ou componentes do produto, e regiões de interesse ou que mereçam uma atenção especial no desenvolvimento do produto. O objetivo principal desta fase é obter um leiaute do produto que satisfaça a especificação do problema de projeto gerada nas fases anteriores, do projeto informacional e conceitual.

Uma vez obtido o encapeamento do produto, ele está pronto para ser detalhado. Então, a classe de **Feature\_Detalhada** compõe a estrutura de dados do produto, onde cada peça e o seu detalhamento é definido, para daí ser fabricado o produto. A **Feature\_Detalhada** pode assumir a seguinte forma:

```
Feature_Detalhada {
  Lista_FeaturesBasicas
  Lista_FeaturesCompostas
}
```

Os dados e informações presentes nesta classe devem tornar possível uma definição detalhada e acabada do produto com toda a informação necessária para criar dentro do sistema CAD os modelos geométricos e não-geométricos, e integrar o desenvolvimento do produto com as atividades subseqüentes do ciclo de vida do produto.

Uma aplicação para gerenciar a estrutura de dados proposta será implementada usando a linguagem de programação Java, e a integração com o sistema CAD deve ocorrer durante a fase de projeto detalhado.

Toda a informação de projeto poderá ser armazenada e capturada usando o mecanismo de persistência de objetos proporcionado pelas linguagens de programação orientadas a objeto.

#### 4. Conclusões

Este artigo apresenta uma proposta de definição de uma estrutura hierárquica das classes das *features* de fases de projeto. Esta estrutura é representada esquematicamente pela definição inicial de atributos presentes nas respectivas classes. Esta proposta inicial se estenderá para uma estrutura de dados mais abrangente no processo de projeto do produto. Os próximos passos desta pesquisa são modelar e definir mais precisamente os dados e informações de projeto, tal que cada dado de projeto possa ser capturado em cada fase.

Este artigo afirma que a utilização de sistemas CAD convencionais equipados com recursos de personalização das suas ferramentas, através de bibliotecas de funções para programação de aplicações (**API – Application Programming Interface**), torna possível a implementação das idéias defendidas aqui.

O desafio maior dessa pesquisa é estruturar cada *feature*, onde diferentes aspectos de cada fase de projeto possam ser encapsulados, tal que seja possível relacioná-los numa estrutura de dados que integre tanto os dados não-geométricos como os geométricos do modelo CAD. Por isso, uma atenção especial deve ser dada para a modelagem dos dados de projeto e da informação de projeto. Os resultados finais devem possibilitar uma eficiente troca e compartilhamento de dados entre as diferentes fases do processo de projeto mecânico. Essa proposta desse ser possível de integrar-se com ferramentas computacionais normalmente utilizadas como suporte ao projeto, tais como sistemas de banco de dados.

Estas questões e desafios estão sendo pesquisados e deverão fazer parte da próxima geração de sistemas CAD.

#### 5. Referências

- Achten, H.; van Leeuwen, J., 1998, “A Feature-Based Description for Design Processes: A Case Study”, URL: <http://ds.calibre.bwk.tue.nl/research/publications>, Outubro–2000.
- Au, C. K.; Yuen, M. M. F., 2000, “A semantic feature language for sculptured object modeling”, *Computer-Aided Design*, vol. 32, p. 63-74.
- Bidarra, R.; Bronsvort, W. F., Março–2000, “Semantic feature modeling”, *Computer-Aided Design*, vol. 32, p. 201-225.
- Brunetti, G.; Golob, B., 2000, “A feature-based approach towards an integrated product model including conceptual design information”, *Computer-Aided Design*, vol. 32, p. 877-887.
- Cunha, R. R. M., Novembro–2000, “Troca de Dados e Informações Baseadas em Feature nas Fases de Projeto Mecânico Aplicando Sistemas CAD”, Florianópolis-SC, Exame de Qualificação, Departamento de Engenharia

- Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 110 p..
- Day, M.; 2000, "Objects in CAD", CADD & CADdesk – Web Resource, URL: www.edaltd.co.uk
- Kumar, V.; Burns, D.; Dutta, D.; Hoffmann, C., 1999, "A framework for object modeling", Computer-Aided Design, vol. 31, No. 9, p. 541-556.
- Maziero, N. L.; Ferreira, J. C. E.; Pacheco, F. S.; Prim, M. F., April–2000, "A Feature-Based Object-Oriented Expert System to Model and Support Product Design", Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences, vol. XXII, No. 4, p. 523-543.
- McGinnis, B. D.; Ullman, D. G., Março–1992, "The Evolution of Commitments in the Design of a Component", Journal of Mechanical Design, vol. 114, URL: www.engr.orst.edu/~ullman
- McMahon, C.; Browne, J., Agosto–1998, "CAD CAM: Principles, Practice and Manufacturing Management", Addison Wesley Longman, 2a. edição, 665 p..
- Ohsuga, S., Junho–1989, "Toward intelligent CAD systems", Computer-Aided Design, vol. 21, No. 5, p. 316-337.
- Pahl, G.; Beitz, W., 1996, "Engineering Design – A Systematic Approach", Springer-Verlag, London, 2a. Edição, 544 p..
- Regli, W. C.; Cicirello, V. A., 1999, "Managing digital libraries for computer-aided design", Computer-Aided Design, vol. 32, p. 119-132.
- Salomons, O. W.; van Houten, F. J. A. M.; Kals, H. J. J., 1993, "Review of Research in Feature-Based Design", Journal of Manufacturing Systems, vol. 12, No. 2, 27 p..
- Shah, J. J., Junho–1991, "Assessment of features technology", Computer-Aided Design, vol. 23, No. 5, p. 331-343.
- Warman, E. A., 1990, "Object Oriented Programming and CAD", Journal of Engineering Design, vol. 1, No. 1, p. 37-46.

## MECHANICAL DESIGN DATA APPROACH BASED ON OBJECTS AND FEATURES

### Raimundo Ricardo Matos da Cunha

Federal University of Santa Catarina, Department of Mechanical Engineering, Building A, 1st. Floor, Room 13, Trindade, 88040-900, Florianópolis–SC  
E-mail: ricardo@emc.ufsc.br

### Altamir Dias

Federal University of Santa Catarina, Department of Mechanical Engineering, Building A, 1st. Floor, Room 15, Trindade, 88040-900, Florianópolis–SC  
E-mail: altamir@emc.ufsc.br

***Abstract.** The mechanical design data and information are based on geometric and non-geometric data types. To have an application meaning, these two kind of data need to be encapsulated into a single data structure, known as design features. This article introduces an object-oriented approach to define design features and to describe which design entities can be used as information unit to design data representation. A review about feature concepts from design point of view is illustrated. It is important to consider that feature has been initially an abstraction level predominantly focused in solid parameterization applied to manufacturing purposes, and encapsulating only geometric information. Now, the challenge is to find a renewed vision of features that also attends the mechanical design needs and integrate together geometric data and the corresponding non-geometric data. Such definitions have to be transformed in data to different mechanical design phases, known as informational, conceptual, preliminary and detailed phases. Phase's design features have to be obtained through identification of attributes that are representative for each phase. That new CAD system approach should be more integrated with the design phases and it will be possible to show the evolution the design data and information during whole product design process.*

**Keywords.** CAD, Features, Data Modeling, Object-Oriented, Mechanical Design.

## MODELANDO O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS EM AMBIENTES INDUSTRIAIS: MÉTODO EMBRAER E LIÇÕES APRENDIDAS

### **Claudiano Sales Araújo, Ph.D.**

EMBRAER S/A Av. Brig. Faria Lima 2170, Putim 12227-901 – PC 005 São José dos Campos – SP Brasil  
claudiano@embraer.com.br, claudiano@terra2.com - URL: <http://i.am/claudiano>

### **Luiz Alberto Gentil Mendes, M.Sc.**

EMBRAER S/A Av. Brig. Faria Lima 2170, Putim 12227-901 – PC 005 São José dos Campos – SP Brasil  
luiz.mendes@embraer.com.br

### **Leonardo Bastos de Toledo, M.Sc.**

EMBRAER S/A Av. Brig. Faria Lima 2170, Putim 12227-901 – PC 005 São José dos Campos – SP Brasil  
luiz.mendes@embraer.com.br

*Resumo. Nesse artigo descrevemos de forma sucinta a experiência da Empresa Brasileira de Aviação (EMBRAER S/A) em seu esforço de modelagem do seu processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (DIP). Dado à natureza bastante distinta desse processo em relação a processos mais “bem comportados” tais como manufatura, controladoria e financeiro (onde métodos e ferramentas tradicionais de modelagem podem ser aplicáveis), uma abordagem específica precisou ser desenvolvida e implementada, e está descrita no artigo. De interesse especial são as lições aprendidas em esforços de modelagem passados, bem como os “insights” obtidos ao longo do esforço atual. Dessa forma, esse trabalho se coloca como uma contribuição de natureza prática, para outras empresas envolvidas em esforços similares ou pesquisadores interessados no assunto.*

*Palavras chave: desenvolvimento de produto, modelagem de processos, reengenharia, engenharia de projetos*

### **1. Introdução**

Durante as últimas décadas empresas no mundo inteiro tem se empenhado em melhorar os diversos processos que compõem o seu negócio (processo de manufatura, de desenvolvimento de produtos, financeiro, etc). O raciocínio incorporado nos esforços de melhoria é simples: Processos melhores (=mais eficazes) representam maior competência, e conseqüentemente aumentam a capacidade das empresas manterem-se competitivas nos vários setores empresariais. Vários bons livros existem sobre o assunto, geralmente agregados no tópico que se convencionou chamar *Business Process Reengineering - BPR* (e.g., Hunt, 1996; Galloway, 1994; Manganelli & Klein, 1996 e Harrington, 1991).

Uma etapa comum e fundamental a qualquer esforço de melhoria de processos é a modelagem ou levantamento do processo atual (“as is”) onde o foco é explicitar o processo que está definido e não o que poderá ser (“to be”). Diversas metodologias e notações tais como o IDF0/SADT (Hill, 1995 and Marca & McGowan, 1993) e o EPC, entre várias outras, estão disponíveis para suportar a etapa de construção do modelo atual. A aplicabilidade desses métodos e notações à modelagem do processo de desenvolvimento de produtos é, porém, questionável. O processo de desenvolvimento de produtos envolve atividades de definição, especificação, projeto, detalhamento, testes, certificação e suporte pós-venda que devem ser executadas respeitando prazo, custo e qualidade, garantindo assim que o produto a ser desenvolvido atenda às necessidades dos clientes. Para esse desenvolvimento, a empresa precisa de um ambiente propício (ambiente simultâneo), bem como ferramentas, técnicas e metodologias de trabalho que suportam a execução do processo. Todas essas características do processo de desenvolvimento de produtos devem ser levadas em consideração para que a escolha de abordagem de modelagem de processos seja a mais adequada.

Uma característica peculiar do processo de desenvolvimento de produtos é o seu caráter de pesquisa e natureza criativa intrínsecos a esse tipo de atividade, uma vez que cada projeto é um novo negócio da empresa. Ao contrário de processos mais bem comportados (onde atividade A segue atividade B, que segue C, etc) tais como processos de manufatura, financeiros, suporte ao cliente, o processo de desenvolvimento de produtos é fortemente caracterizado pela abundância de inter-relacionamentos e interdependências entre as atividades que compõem o processo. Essa característica é identificada em ambientes simultâneos de desenvolvimento, como é o caso da Embraer.

Em abril de 2000 um novo projeto foi estabelecido na Embraer visando modelar integralmente o processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (DIP). Um amplo estudo antecedeu esse projeto, onde se buscou investigar, entender e incorporar todas as lições aprendidas nos esforços anteriores, de forma a se estabelecer uma metodologia de modelagem que tivesse maior chance de sucesso. O projeto se encontra em andamento, e os resultados alcançados até o momento têm sido bastante satisfatórios, fortemente indicando a adequação da abordagem implementada.

### **2. Abordagens de modelagem – Discussão geral**

Modelar um processo significa, em última análise, conhecer e explicitar a forma com que o processo é executado na prática. Porém, essa tarefa pode ser muito complexa. Em alguns casos essa complexidade nasce do grau de

detalhamento que se deseja modelar. Outras vezes nasce da própria natureza complexa de determinados processos como o desenvolvimento de produtos, e ainda à inexistência de um modelo de referência que forneça, a nível macro, uma base estrutural para a definição do processo de desenvolvimento de produtos. Diversos autores tais como Pugh, 1991; Cross, 1989; Ullman, 1992 and McGrath, 1996 têm apresentado, nas últimas décadas, modelos teóricos prescritivos para o processo de desenvolvimento de produtos. Na sua grande maioria, esses modelos são fundamentados na percepção e experiência dos autores a respeito de como deve ser a prática do desenvolvimento de produtos, incluindo passos, métodos e ferramentas aplicáveis a cada etapa. Esses modelos podem ser entendidos como abstrações de um processo genérico de desenvolvimento de produtos. Um fato interessante é que são poucas as empresas que conseguem entender a sua prática de desenvolvimento de produtos através das “lentes” fornecidas por esses modelos de referência. O resultado é que esses modelos, enquanto bastante didáticos, raramente são adequados para se iniciar um trabalho de modelagem, já que não representam a realidade da empresa (Veja, por exemplo, Barkan, 1994).

Recentemente, alguns trabalhos têm sido realizados no sentido de adequar esses modelos de referências a setores industriais específicos (Rozenfeld, 1997). A idéia é a criação de modelos um pouco mais concretos, que possam servir de referência para indústrias específicas (setor automotivo, setor aeroespacial, setor de serviços, bancos, etc). Esses trabalhos se encontram ainda em estágio de pesquisa e alguns bons resultados têm sido obtidos. Na grande maioria das indústrias envolvidas em modelagem de processos, duas abordagens são utilizadas:

**1º Abordagem de modelagem “Top-Down”:** Nesse caso o modelo é construído de cima para baixo, até um grau de detalhamento que seja adequado. Esse caso é muito comum, especialmente quando já existe na empresa um modelo de referência macro, a partir de onde o trabalho pode ser iniciado. Como vantagem, é menos complexo e desperta, via de regra, mais facilmente o interesse e participação da alta gerência. O maior problema é a dificuldade de concatenar a realidade do dia-a-dia das pessoas donas dos processos (i.e., engenheiros, técnicos, especialistas) com o modelo macro. Assim, o modelo gerado, enquanto apresentando uma boa visão geral do processo, é geralmente muito abstrato para ser entendido pelas pessoas operacionais e muito pouco aplicáveis para se servir de base para melhorias do processo a nível micro. Tal conclusão pôde ser tirada, por exemplo, de um trabalho de modelagem do processo DIP anteriormente conduzido na Embraer onde se seguiu essa abordagem.

**2º Abordagem “Botton-Up”:** É o caminho inverso. Aqui as pessoas responsáveis pelos processos e atividades são chamadas a construir o modelo, iniciando pelas atividades e tarefas de caráter operacional. Esse método tem a vantagem de ter, pela sua própria natureza, a uma maior participação e envolvimento das pessoas, o que automaticamente agrega maior credibilidade ao modelo gerado. Outra grande vantagem é que, tendo participado diretamente da construção do modelo, as pessoas envolvidas no projeto conseguem ver mais facilmente a sua contribuição para o processo. A contrapartida do uso dessa abordagem é que os modelos serão criados quase sempre com visões locais (funcionais ou departamentais) do processo. Isso dificulta tanto a necessária visão holística do processo/negócio, como também esforços de melhoria do processo, já que a grande parte dos problemas e espaços para melhoria parece estar justamente nas interfaces entre as áreas funcionais que cooperam na execução dos processos associados ao desenvolvimento de produtos.

**Abordagem Mista – A proposta escolhida para o projeto:** Entre essas duas abordagens é possível conceber várias opções mistas. No caso do trabalho apresentado nesse artigo, a abordagem empregada se iniciou com o estabelecimento do modelo macro. A partir daí, voltou-se para o nível mais micro, com a formação de times nas áreas funcionais para modelagem dos processos dessas áreas. Uma vez que esses modelos foram gerados, passa-se ao estágio da identificação e modelagem das interfaces até um ponto onde os modelos se encontram com o nível abstrato inicialmente estabelecido. Apesar de parecer complexa, e cheia de armadilhas, essa abordagem foi a única que conseguiu motivar e envolver tanto os gestores, como as pessoas (engenheiros e técnicos) nas áreas funcionais.

## 2.1. Nível de profundidade da modelagem

O nível de detalhamento que se almeja deve sempre estar, intrinsecamente ligado aos objetivos que se busca alcançar com a modelagem. Quanto maior for o nível de detalhamento que se procura, maior o tempo utilizado no projeto e maior a chances de que o resultado estará obsoleto muito rapidamente. Em algumas empresas do setor aeroespacial (tais com a alemã DASA, do grupo Airbus), o processo total de levantamento (modelagem) demorou 5 anos. Em outros casos, o processo inteiro demorou apenas alguns meses. Tudo depende do nível de detalhes a que se pretende chegar e da disponibilidade de horas para execução da tarefa.

### 2.1. Executado/suportado por consultoria ou pessoal interno?

Essa é uma pergunta que todas as empresas envolvidas nesses esforços costumam fazer no início dos projetos. É sempre bastante tentador que a idéia de: por um preço X, uma empresa de consultoria Y irá realizar todo o trabalho de modelar o seu processo, e ainda identificar problemas, e sugerir melhorias. De fato, muitas empresas acabam escolhendo esse caminho. Na Embraer essa abordagem já foi experimentada em oportunidades passadas, com resultados pouco satisfatórios. É importante ficar claro para os participantes da modelagem de processo e para a empresa, que os executantes das atividades do processo são os que realmente conhecem o processo. Logo, a conclusão é

que todo o trabalho de modelagem deve ser realizado pelas pessoas que efetivamente executam o processo, e não por pessoas externas (consultores, contratados, estagiários, etc). Isso é essencial para que as pessoas responsáveis pelo processo se sintam “donas” das informações levantadas. Sem isso, a linguagem em que os processos são descritos tende a ser anômala e não corresponde à forma a qual os executantes do processo entendem como ele é realizado. Aos consultores, sejam eles externos ou mesmos internos, cabe o importante papel de fornecer a metodologia e conceituação, bem como de fazer todo o acompanhamento e suporte do projeto.

### 2.3. Baseado em computador (com emprego de software) ou não?

No que refere às ferramentas computacionais de suporte ao processo de modelagem, centenas de opções existem no mercado. Algumas são apenas “desenhadoras” de fluxos (FlowCharter, Visio, e muitos outros). Outras são bem mais sofisticadas, incluindo notações de modelagem própria, e por isso, necessitam de um completo aparato para a sua utilização (sala de conferência, projetor, etc). Mais recentemente temos visto o aparecimento de ferramentas que prometem servir de modelador, e ao mesmo tempo, utilizar o modelo gerado como estrutura para execução e acompanhamento do dia-a-dia operacional do desenvolvimento de produtos. Um exemplo desse tipo de ferramenta é o Software KPM.

Note que é bastante perversa a noção de que o trabalho de modelagem deva se iniciar com a adoção de um bom software. Apesar de tentadora, a experiência da Embraer mostra que deve haver uma fase inicial onde a modelagem aconteça em reuniões, com emprego de “Post-It” e formulários em papel, onde objetivo no momento é alcançar o nivelamento das pessoas envolvidas nos seus próprios processos. Chega a ser surpreendente o fato de pessoas que trabalham juntas a 10 ou 15 anos terem visões e entendimentos tão diferentes do mesmo processo. Tal nivelamento não é possível, na prática, com o uso exclusivo de ambientes computacionais.

### 3. Modelagem do processo DIP-Embraer – Experiências passadas e lições aprendidas

Como mencionado acima, nos últimos anos diversos esforços de modelagem foram iniciados na Embraer, bem como em centenas de outras empresas, com variado grau de sucesso. As atividades de modelagem sempre consomem recursos (tempo, etc) e a paciência de todos os envolvidos. É muito importante então que a abordagem adotada em um determinado projeto tire máxima vantagem das lições já aprendidas, aumentando assim sua chance de sucesso.

No início do trabalho de modelagem que deu origem a esse artigo, uma investigação foi conduzida no sentido de investigar as boas e más experiências em modelagem, tanto internamente como externamente. O objetivo final era tirar o máximo proveito dessas lições, aumentando assim, as chances de sucesso do nosso projeto de modelagem. Essas lições aprendidas (mostradas na Tab. 1) forneceram os fundamentos para o trabalho de modelagem iniciado em março de 2000, e que se encontra em fase final de execução.

Tabela 1 – Lições aprendidas e soluções implementadas no projeto de modelagem DIP-Embraer.

Lições aprendidas (Internas, externas e literatura)	Proposta sugerida/implementada no projeto
- Atividade se inicia com grande envolvimento e participação de todos, mas logo é colocada em segundo plano, dando lugar a atividades mais emergenciais. Todos os esforços acabam se perdendo em um levantamento incompleto.	- Lideranças devem entender e estar 100% comprometidas com o esforço de modelagem. - Inclusão da atividade no plano de metas dos setores funcionais envolvidos. - Lideranças devem disponibilizar os recursos necessários para execução das atividades. - Plano de metas seção deve incluir a atualização (manutenção) dos processos modelados. - É aconselhável a existência de um time de consultores internos (da própria empresa) para acompanhar e coordenar continuamente as atividades de todos os times de modelagem.
- Processo de modelagem é executado por pessoa(s) de fora da organização (consultor, contratado, estagiário), e portanto as pessoas da organização não se sentem, de fato, “donos” dos processos levantados.	- Toda a tarefa de modelagem deve ser, necessariamente, executado pelos donos do processo. Todos os membros da seção devem estar conscientes, e se envolverem, de alguma forma, no que está sendo levantado.
- Processos modelados ficam obsoletos em poucos meses, e “não servem mais para nada”.	- Escolha de uma ferramenta que permita a atualização constante e fácil dos processos/atividades modelados - Inclusão nos Plano de metas das áreas a atividade de manutenção dos processos levantados.
- Formato do processo modelado (fluxos, textos,	- Necessário a existência de uma fase onde o formato

telas do sistema) são de difícil interpretação, e acabem não servindo para nada.	“matéria prima” (no sistema) seja traduzido em um formato apropriado ao objetivo que se busca (E.g., manual ilustrado, pôster, etc.)
- Grupos tendem a querer modelar direto na ferramenta (software) e portanto perdem a chance (e oportunidades implícitas) de discutirem os seus processos.	- Ferramenta (software) só será disponibilizado após os grupos terem feito o levantamento no papel, usando formulários apropriados. Facilita o processo de discussão e geração de conteúdo.
- Atividades levantadas em seções diferentes são disponibilizadas em formatos diferentes, com linguagem e conceituação inconsistente, tornando impossível o entendimento dos processos a nível de departamento	- O time de suporte (interno) terá a responsabilidade de adequar e nivelar tanto a ferramenta a ser empregada na modelagem, quando o formato final dos processos levantados ao longo das áreas envolvidas. - Um formulário único (com dois níveis) será utilizado para a modelagem.
- Atividade de modelagem não consegue capturar todas as riquezas e fatores únicos do processo. (Formatos tais como fluxos, sozinhos, são muito “pobre” em descrever processos complexos como os de desenvolvimento de produtos)	- Participantes serão incentivados a incluírem (anexarem) fluxos, “snap-shots de telas de sistemas, exemplos de documentos, e todas as informações que eles entenderem que possa os ajudarem a explicar (descrever) o seu processo. Essas informações serão escaneadas, e incluídas no sistema.

#### 4. Objetivos para a modelagem do DIP-Embraer: Modelar por quê?

É muito importante ter sempre claro os objetivos a serem alcançados em projetos de levantamento de processos antes de embarcar nessa tarefa. Centenas de empresas tem aprendido a um preço muito alto que não se deve iniciar um trabalho de modelagem de processos antes de se ter claro onde o mesmo levará. (Veja também seção “Problemas típicos e soluções - Usando as lições aprendidas”). Os objetivos, ou motivações, estabelecidos para a modelagem do DIP-Embraer incluíram:

- Melhorar a eficiência no treinamento e adaptação de recém contratados ao dia-a-dia do DIP.
- Explicitar “*know-how*” da organização.
- Melhorar o processo de planejamento de novos programas (previsão de horas, check-lists, etc).
- Base para escolher e desenvolver sistemas computacionais de suporte ao processo.
- Melhorar o processo de desenvolvimento de produtos (Modelo “To be”).
- Manter o padrão das atividades executadas pelas áreas através do estabelecimento de procedimentos internos mais consistentes com a realidade das áreas funcionais envolvidas, facilitando também as atividades de auditoria interna e externa.
- Identificar problemas e promover melhorias no processo DIP.

Os objetivos (prioridades) determinam, entre outras coisas, a metodologia a ser aplicada na modelagem, o grau de envolvimento necessário das áreas e, principalmente, o formato final do material a ser levantado. Diferentes formatos são apropriados para diferentes objetivos. Um formato desapropriado não produz os resultados esperados e, portanto, é incapaz de atingir os objetivos estabelecidos para o projeto.

O formato final da metodologia proposta, resumidamente mostrada nos tópicos a seguir, representa o resultado dos nossos melhores esforços em concatenar as melhores práticas em levantamento de processos, com os objetivos que foram estabelecidos para o trabalho.

#### 5. Conceituação e terminologia adotada na Embraer

O termo “processo” admite as mais diversas interpretações e definições. De fato, qualquer conjunto de passos, atividades, operações e decisões envolvidas na execução de um determinado trabalho pode ser considerado um processo. A esse respeito dezenas de livros já foram escritos apresentando as mais diversas propostas para se definir essa conceituação, bem como termos correlatos, tais como “atividade” e “tarefa”. Menos importante do que se buscar uma definição perfeita para esses termos, é tê-los bem definidos, e principalmente, entendidos e acordados entre os participantes de um projeto de modelagem e as áreas envolvidas.

Alguns processos podem ser bastante simples, e totalmente executados por uma única pessoa (dimensionamento de um rebite, cadastramento de um item, especificação de um conector, etc.) Em outros casos o processo pode envolver organizações inteiras, com centenas de pessoas sendo envolvidas e inúmera atividades sendo executadas (Exemplo: desenvolvimento do sistema de oxigênio).

É portanto necessário a utilização e a definição o mais exata possível, dos termos para diferenciar os vários níveis de um processo.



### 5.1. Terminologia empregada

Na Embraer convencionou-se usar os seguintes termos para descrever *processos* em seus diversos níveis:

- Processo Empresarial
- Processo
- Sub-processos
- Atividades
- Tarefas

O primeiro nível é conhecido por PROCESSO EMPRESARIAL. Atualmente a Embraer tem definidos 10 processos Empresariais, incluindo o Desenvolvimento Integrado de Produtos (DIP) como pode ser visto na Fig. (1).

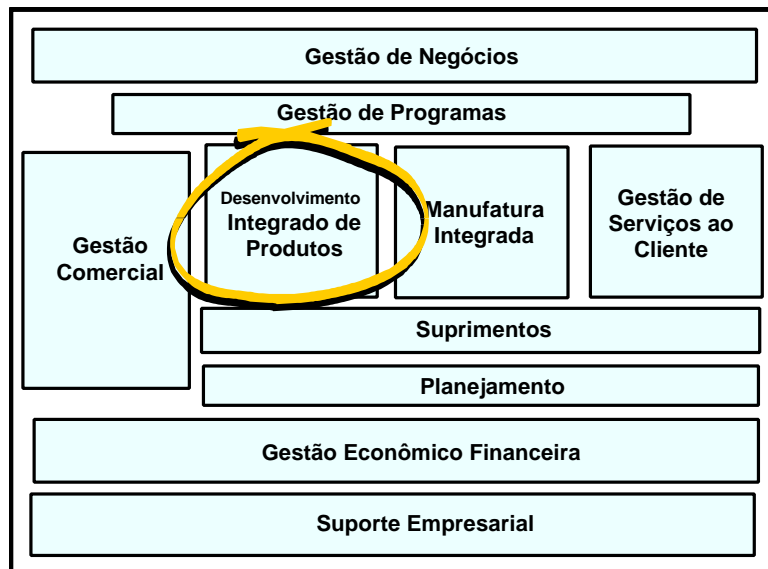


Figura 1. Processos Empresariais Embraer

Em alguns casos, e com vistas a facilitar o mapeamento do processo empresarial dentro da organização que o executa, é possível **desmembrar** um PROCESSO EMPRESARIAL em inúmeros processos **paralelos**. Podemos, por exemplo, imaginar que o processo DIP é composto de diversos processos paralelos que tem como escopo o desenvolvimento das diversas partes e sistemas que compõem o nosso produto. Teríamos assim o PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO da fuselagem dianteira, do sistema elétrico, da asa, do ferramental, do sistema de aviônica, dos roteiros de fabricação, dos equipamentos de suporte em solo -AGEs, e por aí afora. A somatória desses processos dá origem ao que chamamos de DIP como pode ser visto na Fig. (2).

Cada um dos processos paralelos, por sua vez, pode ser decomposto em SUB-PROCESSOS, que nada mais são que agrupamentos de atividades afins. No processo DIP, por exemplo, podemos imaginar os seguintes sub-processos genericamente aplicáveis a todos os objetos, partes e sistemas sendo desenvolvidos.

- *Planeja e gerência atividades*
- *Estabelece requisitos e especificações*
- *Projeto conceitual e definições*
- *Projeto detalhado*
- *Testes*
- *Certificações*

Os sub-processos fornecem a referência para o agrupamento lógico das atividades.

Abaixo desse nível teremos então as ATIVIDADES. As atividades são geralmente realizadas por uma célula de trabalho (time ou individual) e possui entradas e saídas bem definidas (Fig. (2), nível 4). Como exemplo de atividade poderíamos imaginar: (a) *Gerar plano de trabalho para o time*, (b) *Executar cálculo de fadiga*, (c) *Elaborar Ordem de Engenharia*, etc.

Nesse trabalho de modelagem, pretende-se detalhar cada uma das atividades que compõem os processos identificados.

Abaixo do nível de ATIVIDADES temos o nível de TAREFAS (Fig. (2), nível 5). Esse é o nível mais baixo, e envolve operações (passos) de curta duração. É sempre realizada por uma única célula de trabalho, geralmente com um

único elemento. Exemplos de TAREFA incluem: (a) *Entrar dados do item na tela do sistema de cadastro*, (b) *Desenhar uma parte de um sistema*, (c) *Executar um passo do cálculo de fadiga*.

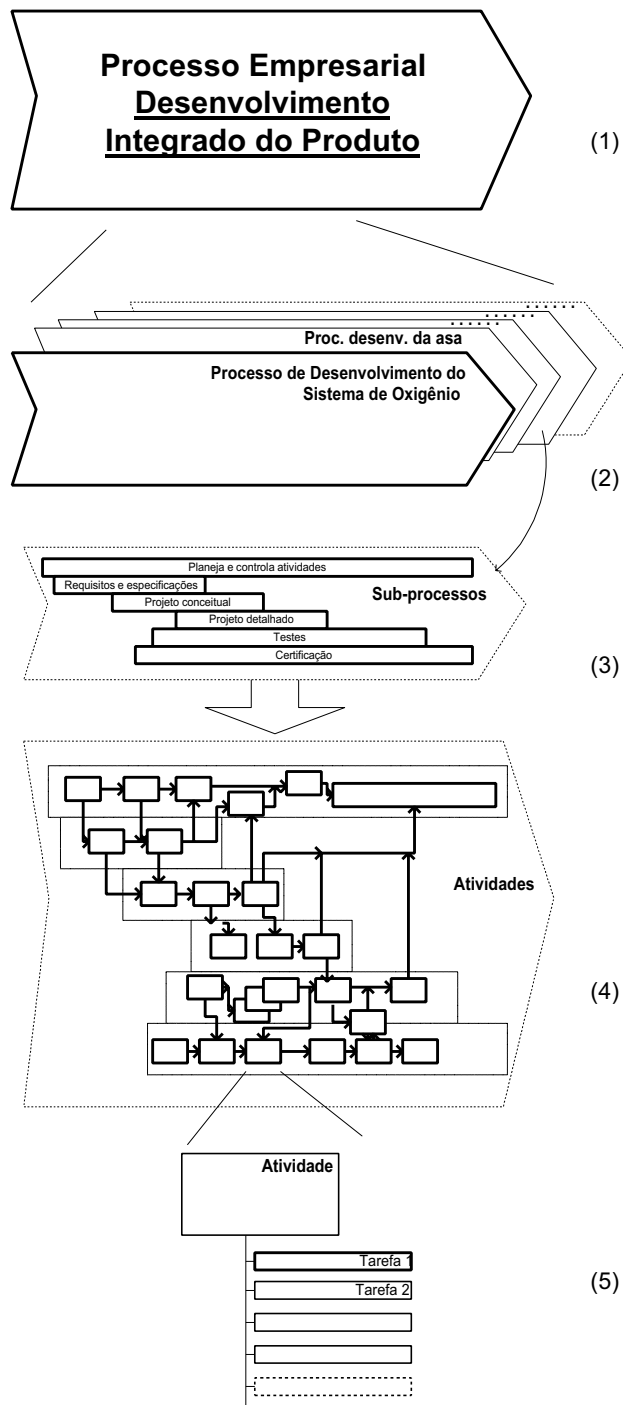


Figura 2. Níveis de detalhe do DIP-Embraer

### 6. Descrevendo processos e atividades

Além de conhecimento tecnológico que capacita a empresa a desenvolver um produto, recursos humanos e financeiros, de infra-estrutura, de informação, de liderança, ferramentas, computadores, equipamentos de testes, e muitos outros insumos para que um determinado processo ou atividade seja executado. Como citado acima, modelar processos e atividades, como proposto nesse projeto, significa identificar todos os *insumos* que fazem parte do cenário do desenvolvimento, e entender seu inter-relacionamento, precedências, contextos, etc. Nesse projeto procurou-se disseminar de maneira bastante forte a idéia de que o foco principal da modelagem está na geração do conteúdo dos processos e atividades, e não apenas na diagramação de fluxos.

## 6.1 Quais as informações precisam ser levantadas

O conteúdo do levantamento depende, novamente, do nível a que se pretende chegar, e dos objetivos estabelecidos e priorizados para a tarefa.

Para o trabalho em questão, estabeleceu-se o conceito de “*mínimo*”, que nos diz os atributos necessários e suficientes para a descrição de processos e atividades. Temos portanto:

### Para os PROCESSOS

1. Título e descrição do processo
2. Cargos ou áreas responsáveis pela execução do processo
3. Entradas (informações necessárias à execução desse processo)
4. Quem fornece as entradas (pessoa, área funcional, formato que ela é recebida)
5. Saídas (informações que são geradas no processo, e utilizadas em outras áreas/processos)
6. Quem usa as saídas (pessoa, área funcional, sistema usado, formato disponibilizado)
7. Lista das atividades que compõem esse processo
8. Principais sistemas (ferramentas computacionais) e documentos (manuais, procedimentos, etc.) que regem a execução do processo.
9. Novas tecnologias e ferramentas de suporte a serem investigadas

### Para as ATIVIDADES

1. Título e descrição da atividade.
2. Domínios tecnológicos envolvidos.
3. Habilidades (recursos humanos) necessárias à execução da atividade.
4. Entradas (informações necessárias à execução dessa atividade).
5. Quem fornece as entradas (pessoa, área funcional, formato que ela é recebida).
6. Saídas (informações que são geradas no processo, e utilizadas em outras áreas/processos).
7. Quem usa as saídas (pessoa, área funcional, sistema usado, formato disponibilizado).
8. Lista de tarefas que compõem essa atividade.
9. Recursos necessários à execução da atividade (pessoas, habilidades necessárias, recursos físicos e computacionais, infra-estrutura).
10. Sistemas computacionais relevantes (Ex.: CATIA, Nastran, SAP, cc.Mail, Notes, etc.).
11. Métodos e ferramentas individuais aplicáveis (Ex. *Método Smith* para Cálculo de Fadiga Angular, MS Word para documentação dos resultados, etc).
12. Documentos relevantes (normas, procedimentos regulatórios).
13. Novas tecnologias e ferramentas de suporte a serem investigadas.
14. Principais problemas relacionados à atividade.
15. Sugestões de melhoria dessa atividade.

## 7. Como executar o levantamento?

A forma de operacionalizar um determinado método é sempre fortemente dependente do contexto. Variáveis importantes a serem levadas em conta, incluem: (a) experiências anteriores em projetos similares e seus resultados, (b) atitude das pessoas com relação a esse tipo de projeto, (c) disponibilidade dos especialistas, (d) importância dada ao projeto pela alta gerência e (e) emergência e criticidade do esforço. Dado o contexto Embraer / Departamento de Engenharia no início de 2000, uma proposta para a modelagem de processos foi feita compreendendo a execução de quatro fases principais:

- 1ª fase:** Identificação dos processos/atividades, tecnologias e priorização.
- 2ª fase:** Detalhamento dos processos & atividades.
- 3ª fase:** Transporte das informações levantadas para o ambiente computacional.
- 4ª fase:** Tradução das informações levantadas em um formato aplicável ao objetivo estabelecido.

### 7.1. 1ª fase: Identificação dos processos & atividades e priorização

Incluído nessa fase temos os seguintes passos (Fig. (3)):

1. Organizar as equipes de modelagem nas áreas envolvidas.
2. Nivelamento do entendimento sobre o DIP-Embraer (Araújo & Cruz, 1999).
3. Participar do treinamento na metodologia de modelagem.
4. Identificar, e ter validade, uma lista com todos os processos e atividades executados pela seção.
5. Identificar as tecnologias (domínios tecnológicos) relacionadas a cada processo DIP.
6. Priorizar as atividades e processos que serão detalhados (modelagem) e planejar o esforço.

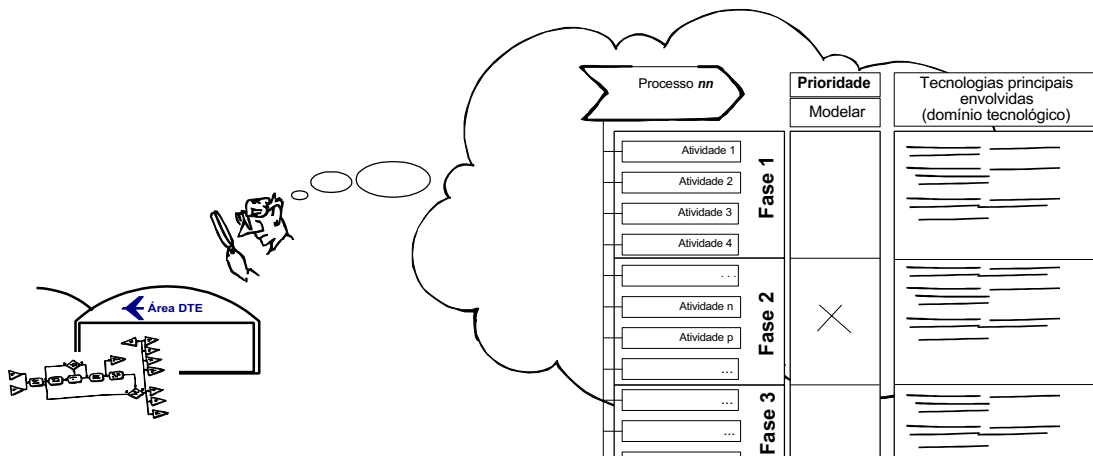


Figura 3. Fase 1 do projeto: Identificação de processos/atividades, tecnologias & priorização

### 7.2. 2ª fase: Detalhamento dos processos escolhidos

Nessa fase as diversas equipes, nas diversas seções envolvidas, deverão:

1. Elaborar fluxos e descrição do processo (incluindo modelos de formulários, cópias de telas do sistema, etc.).
2. Descrever todos os processos usando o formulário apropriado.
3. Detalhar as atividades usando, novamente, formulário apropriado.
4. Validar os processos e atividades detalhadas junto ao responsável pelas áreas envolvidas.

A Fig. (4) apresenta um modelo esquemático das descrições dos processos e atividades.

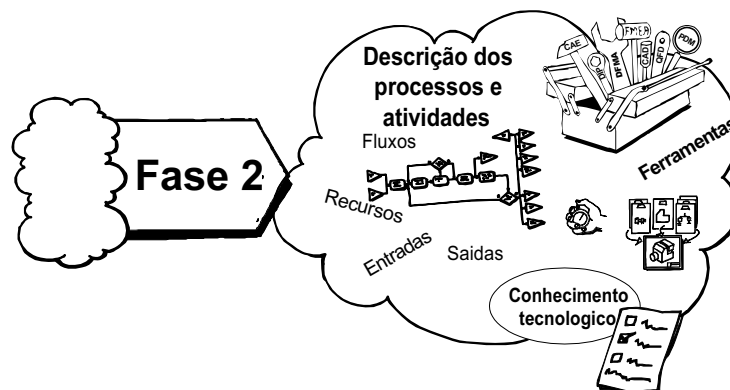


Figura 4. Fase 2 – Detalhamento das atividades e processos escolhidos, e caracterização tecnológica.

### 7.3. 3ª fase: Transporte das informações levantadas para um sistema informatizado

Nessa fase todos os processos e atividades levantados anteriormente serão transportados (transcritos) para o ambiente computacional. O transporte das informações dos processos e atividades para um sistema corporativo é importante, pois passa a fazer parte de uma base unificada, acessível a todos indivíduos da empresa. Neste ambiente todas as manutenções e reformulações dos processos e atividades deverão ser feitas. É fortemente preferível que esse ambiente tenha um escopo organizacional, e não departamental ou funcional.

### 7.4. 4ª fase: Tradução das informações levantadas em um formato aplicável ao objetivo estabelecido

Uma vez que tenhamos sistematizado o nosso entendimento dos processos e atividades do DIP, o próximo passo será a “tradução” dessas informações (matéria prima) para um formato apropriado ao objetivo que se busca como pode ser observado no modelo conceitual da Fig. (5).

Por exemplo, se o objetivo é o treinamento de novos funcionários, a idéia seria a geração de material mais ilustrativo e didático. Se o objetivo é mostrar aos parceiros os nossos processos, as informações do sistema poderão então ser traduzidas para o idioma apropriado. Experiência de dezenas de outras empresas, em vários setores industriais, tem mostrado que essa fase final é crítica para o sucesso de todo o processo.

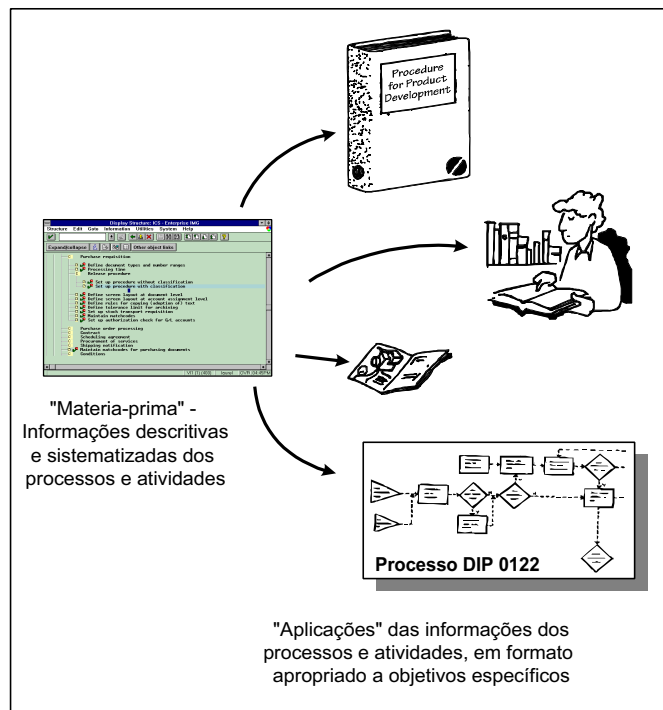


Figura 5. Exemplo de possíveis aplicativos

## 8. Considerações Finais

O processo DIP é intrinsecamente complexo e de natureza fortemente criativa, o que torna a maioria dos métodos, abordagens e ferramentas disponíveis no mercado pouco aplicável à modelagem desse tipo de processo.

Nesse artigo tentamos mostrar, da forma mais clara possível, o método desenvolvido e aplicado na Embraer para modelagem do seu processo de Desenvolvimento de Produtos (DIP). Foi também nosso objetivo explorar as lições aprendidas ao longo dos vários esforços de modelagem, e os principais “insights” obtidos durante esse projeto.

Em geral o método adotado tem conseguido comprometimento junto às várias áreas envolvidas no levantamento. Algumas considerações finais podem ser ressaltadas:

- Modelagem de processos NÃO É CIÊNCIA EXATA!!! Não existe resposta única, ou solução final. Dezenas de soluções (formas de entender e agrupar processos e atividades) são sempre possíveis.
- Modelar é aprender. Quanto mais nos envolvemos na modelagem, mais aprendemos sobre o nosso processo. Aceitar isso como fato é essencial para o sucesso da modelagem. Mantenha o foco no conteúdo do modelo a ser gerado, e nos objetivos a serem atingidos no projeto. Evite se encantar com ferramentas de modelagem, e se iludir com o benefício das mesmas. O grande desafio está na geração de conteúdo! Envolver as pessoas nos processos, especialmente os “donos” do processo, em todas as etapas da modelagem.
- A solução mais apropriada é aquela que obedece os preceitos do projeto (o mínimo definido: terminologia, estrutura, conceituação, etc), e seja a mais aproximada possível da forma que a área entende (percebe) o processo ou atividade

Durante o trabalho concluímos também que é correta e 100% aplicável a projetos de modelagem de processos complexos como o DIP, a frase clássica: “É preferível estar aproximadamente correto, do que exatamente incorreto”. Busque a aproximação, não a exatidão!

Para finalizar, é importante lembrar que processos e atividades são entidades intrinsecamente dinâmicas, sempre se adequando às mudanças contextuais, novas formas organizacionais, novas ferramentas e novos paradigmas, novos projetos. Assim, a tarefa de modelagem dos processos deve ser também de natureza contínua. Faz-se necessário a identificação e estabelecimento de um mecanismo (político ou tecnológico), que permita a constante reciclagem dos processos gerados, de forma tal que os mesmos sejam sempre uma representação razoável da realidade.

## 9. Agradecimentos

Ou autores gostariam de agradecer à Embraer por ter apoiado a nossa participação nesse congresso, bem como por ter disponibilizado as horas necessárias à geração desse artigo.

## 10. Referências

- Bakan, P., 1994, "Benefits and Limitations of Structured Methodologies in Product Design". In Eastman, S.D.a.C (ed), Management of Design: Engineering and Management Perspectives. (1<sup>st</sup> Edition), Massachusetts, Kluwer Academic Publications.
- McGrath, M.E. (Editor), 1996, "Setting the PACE in Product Development, A Guide to Product and Cycle-time Excellence". Butterworth-Heinemann (Trd); ISBN: 075069789X.
- Pugh, S., 1991, "Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering" Addison-Wesley Publishing Company, ISBN 0-201-41639-5.
- Ullman, D. G., 1992, "The Mechanical Design Process". McGraw-Hill Book Company, ISBN 0-07-065739-4.
- Ulrich, K.T. and Eppinger, S.D., 1995, Product Design and Development, New York, McGraw Hill Book Co.
- Cross, N., 1989, "Engineering Design Methods - strategies for product design". John Wiley & Sons Inc, ISBN 0- 471-94228-6.
- V. Daniel Hunt, Daniel V. Hunt, 1996, "Process Mapping : How to Reengineer Your Business Processes" John Wiley & Sons. ISBN: 0471132810.
- Galloway, D., 1994, "Mapping Work Processes", American Society for Quality. ISBN: 0873892666.
- Manganelli, R.L., Klein, M. M., 1996, "The Reengineering Handbook : A Step-By-Step Guide to Business Transformation". AMACOM. ISBN: 0814479235.
- Harrington, H. J., 1991, "Business Process Improvement : The Breakthrough Strategy for Total Quality, Productivity, and Competitiveness". McGraw-Hill. ISBN: 0070267685.
- Steve, H. and Robinson, L., 1995, "A concise guide to the IDEF0 technique, a practical technique for business process reengineering", Puyallup, Washington, Enterprise Technology Concepts.
- Marca, D.A. & McGowan, C. L., 1993, "IDEF0 - Sadt Business Process & Enterprise Modelling". Eclectic Solutions Corp., San Diego, California. ASIN: 0963875000.
- Rozenfeld, H. 1997, "Modelo de Referência para o Desenvolvimento Integrado de Produtos", Anais em CD do XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção / 3rd International Congress of Industrial Engineering - ENEGEP, Gramado, RS, Brazil.
- Araújo, C.S., Cruz, J. L., 1999. "Visão do Desenvolvimento Integrado de Produtos Aplicado aos Programas Embraer". Publicação Interna – Departamento de Engenharia, GDT/DTE/VPI/Embraer.

## MODELLING THE PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS IN COMPLEX INDUSTRIAL ORGANIZATIONS: EMBRAER'S APPROACH - INSIGHTS AND LESSONS LEARNED

### **Claudio Sales Araújo, Ph.D.**

EMBRAER S/A Av. Brig. Faria Lima 2170, Putim 12227-901 – Mail Stop 005 São José dos Campos – SP Brazil  
 claudio@embraer.com.br, claudio@terra2.com - URL: <http://i.am/claudio>

### **Luiz Alberto Gentil Mendes, M.Sc.**

EMBRAER S/A Av. Brig. Faria Lima 2170, Putim 12227-901 – Mail Stop 005 São José dos Campos – SP Brazil  
 luiz.mendes@embraer.com.br

### **Leonardo Bastos de Toledo, M.Sc.**

EMBRAER S/A Av. Brig. Faria Lima 2170, Putim 12227-901 – Mail Stop 005 São José dos Campos – SP Brazil  
 luiz.mendes@embraer.com.br

***Abstract.** In this article we briefly introduce and describe the experience gathered at EMBRAER AS (Brazilian successful middle sized jet manufacturer) in its effort to model its Integrated Product Development (IPD) process. Given the distinctive nature of the product development process in relation to other "well behaved" processes such as manufacturing, controlling, financing (where traditional methods, notations and approaches for modeling applicable), a unique approach had to be developed and implemented, and is described and discussed in the article. Of special interest are the lessons learned and insights gathered by EMBRAER along this, and past attempts, to model its IPD process. In this sense, this paper can be understood as a practical contribution, applicable not only to other companies involved in the modeling of their IPD process, as well to researches investigating the topic.*

**Keywords:** product development, process modelling, reengineering, integrated product development, engineering design

# CONSTRUÇÃO DE UM MODELO PARA AVALIAÇÃO DA GESTÃO DO CONHECIMENTO NO DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

**Sergio Luis da Silva**

Universidade de São Paulo – Núcleo de Manufatura Avançada  
Universidade Federal de São Carlos – Departamento de Ciências da Informação  
sergiol@power.ufscar.br

**Henrique Rozenfeld**

Universidade de São Paulo – Núcleo de Manufatura Avançada  
roz@sc.usp.br

**Resumo:** *Apresenta-se um modelo de avaliação da Gestão do Conhecimento (GC) no processo de Desenvolvimento de Produtos (DP), focado no mapeamento da ocorrência de quatro tipos de conversões do conhecimento nos componentes de quatro dimensões do processo de DP. Este modelo foi construído tomando como base o referencial teórico levantado da bibliografia e foi testado em um ambiente simulado de desenvolvimento de produto em uma Fábrica Integrada Modelo (FIM). Os resultados encontrados mostram a efetividade do modelo em construir uma visão abrangente da situação em que se encontra a GC no DP, e particularmente em quais dimensões do DP há maior intensidade no trabalho com o conhecimento. Na evolução futura deste modelo, partindo-se do aprendizado obtido com sua aplicação na FIM, pretende-se utilizá-lo em casos reais de processos de DP em empresas do setor metal-mecânica.*

**Palavras chave:** *Gestão do conhecimento, desenvolvimento de produtos, modelo de referência, diagnóstico organizacional.*

## 1. Introdução

O desenvolvimento de produtos (DP) e o gerenciamento do conhecimento (GC) têm se destacado como duas fortes preocupações, dentre outras, das empresas de “classe mundial”. No que se refere ao DP, os esforços têm se direcionado para uma maior adição de valor na capacidade de inovação, tanto no que se refere aos produtos desenvolvidos como nos processos de negócios necessários a esta inovação. Na GC cresce a preocupação com a busca de conhecimentos e aprendizados externos à empresa, através de parcerias e alianças, e o aprendizado e GC internos, criados a partir da capacidade criativa das pessoas, e sendo armazenados e disseminados de diferentes maneiras.

Como será visto no embasamento teórico deste artigo, há entre estes dois temas forte relacionamento e situa-se justamente nisto o foco do presente trabalho: que é o de se estudar o DP como um processo de negócio (*business process*) constituído de quatro dimensões, e em como nestas dimensões do processo ocorre a criação e troca do conhecimento, devido à existência de quatro tipos de conversões de conhecimentos.

O principal objetivo deste artigo é construir um modelo para avaliar a GC no processo de DP. A aplicação deste modelo busca respostas para as seguintes questões: Como ocorre as conversões de conhecimentos no processo de DP? Como os componentes das dimensões do DP contribuem para isso?

A principal justificativa para a realização deste trabalho reside no fato de que o relacionamento entre DP e GC, embora percebido e comentado na literatura, vem sendo tratado de forma fragmentada e pouco sistemática, não existindo ainda um modelo que permita às pessoas e empresas gerenciar melhor esta relação.

Espera-se com este modelo que as melhores práticas recomendadas por estes dois temas possam ser aplicadas de forma integrada e coordenada, evitando redundâncias, e avaliando os resultados encontrados em termos de uma linguagem que faça sentido e seja reconhecido tanto pela abordagem do DP como pela da GC.

A discussão sobre o DP e suas dimensões (item 2) e sobre a GC e as conversões do conhecimento (item 3) são os dois eixos principais do modelo proposto neste trabalho. O item 4 esquematiza e explica a montagem do modelo, construído com o foco nos relacionamentos entre dimensões e conversões. Estes relacionamentos advêm de hipóteses levantadas com base no estudo de vários autores (alguns são colocados como exemplo no item 4), que direta ou indiretamente detectaram isso em dimensões e conversões específicas.

O referido modelo foi testado em um ambiente simulado de DP, dado por uma fábrica integrada modelo (FIM). A descrição da metodologia empregada, de características de pesquisa exploratória e descritiva, é feita no item 5. No item 6 detalha-se o que é este ambiente de DP da FIM, como o teste do modelo foi feito, e discutem-se os resultados encontrados. Por fim o item 7 conclui este trabalho, mostrando a potencialidade de se utilizar este modelo para o diagnóstico da situação da GC, ou mais especificamente da conversão do conhecimento, no DP de empresas de manufatura.

## 2. Desenvolvimento de Produtos

Os próximos itens caracterizam e delimitam o DP, mostram a importância de se tratá-lo como um processo, e apresentam as dimensões principais que formam o DP.

## 2.1. Características e Escopo do Desenvolvimento de Produtos

A complexidade do DP ocorre devido à relação que este deve manter com praticamente todas as demais funções de uma empresa. A sua realização implica no emprego coordenado de conhecimentos de diversas áreas da engenharia, utilizando-se de diferentes noções gerenciais, usando-se uma visão sistêmica e integrada do negócio e relacionando-se pessoas de várias áreas funcionais (Clark & Wheelwright, 1992).

Para que a realização do DP aconteça nesses moldes, um ponto cada vez mais importante é se gerenciar o DP analisando-o de forma ampliada, considerando o seu ciclo completo. Porém sabe-se que neste ciclo, a medida em que mais decisões vão sendo tomadas na condução do DP, mais encarecedor fica a necessidade de se efetuar modificações tardias (porque requer que muitas decisões e suas implicações sejam revistas). Ao mesmo tempo, a dinamicidade destes contextos em que o DP se insere torna muitas vezes inevitável que modificações ocorram durante sua realização.

Portanto, a alternativa de condução deste ciclo em etapas sequenciais encontra sérias limitações. Mais adequado é a condução simultânea das atividades do DP.

## 2.2. Engenharia Simultânea e o Desenvolvimento de Produtos tratado como um Processo

A Engenharia Simultânea (ES) busca antecipar soluções para o início do ciclo de DP, através de esforços tanto no emprego de técnicas, métodos e ferramentas para auxiliar nestas decisões e aumentar a sinergia entre atividades do DP (mostrando “o que se relaciona com o que”), como também através de propostas organizacionais para maior interação entre diferentes áreas funcionais (Prasad, 1996; Clausing, 1994).

Porém, um problema está em se aplicar todos estes esforços de uma maneira integrada, dando-lhes uma valorização similar. Para isso é necessário que as pessoas que irão realizar a ES tenham uma visão holística do DP (e também da empresa), o que equivale a se ter uma “imagem única”, sintética, de todos os elementos ou dimensões do DP, que normalmente podem ser relacionados a visões parciais abrangendo e interrelacionando estratégias, atividades e informações, os recursos empregados e a organização (ver Figura 1). A grande contribuição está em se discutir problemas específicos inseridos nestes elementos ou dimensões sem perder a visão do todo (Rozenfeld et al., 2000).

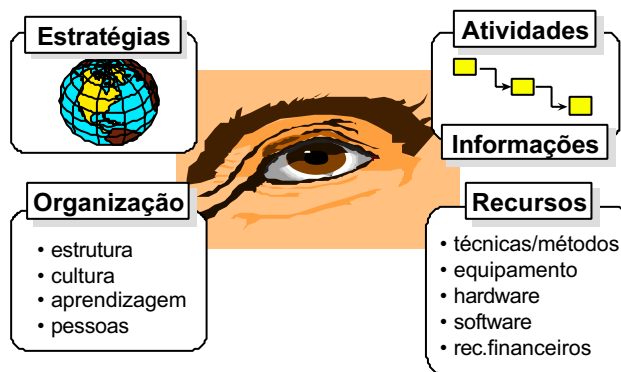


Figura 1. Visão holística dos elementos de uma empresa (Rozenfeld et al., 2000)

No entanto, não é possível representar a visão holística de forma completa. Pensar o DP como um processo de negócio é o que mais se aproxima de um formalismo para a obtenção desta visão holística. Trata-se de uma visão dinâmica da forma pela qual a organização produz valor, sendo que os processos dotados de uma estrutura bem definida (como o DP) podem ter seu desempenho medido e podem ser gerenciados por um ou mais responsáveis (como por exemplo o líder de um projeto de DP), segundo Davenport (1994). Este autor afirma ainda que o DP é um processo tipicamente interfuncional, em que as interfaces entre funções se faz cada vez mais de forma paralela e com rapidez na troca de informações.

Seguindo então esta abordagem de processo para o DP, interessa para o foco deste trabalho detalhar as quatro dimensões constituintes deste processo: Estratégias, Organização, Atividades / Informações e Recursos, detalhando-se os componentes de cada uma destas dimensões. Atividades e Informações formam uma única dimensão do DP, devido a dualidade entre eles. Apesar desta divisão, que permite uma melhor análise de um determinado processo de DP, as dimensões e seus componentes são fortemente interrelacionados e interdependentes, formando em conjunto uma visão holística sintética do DP.

## 2.3. Dimensões do Desenvolvimento de Produtos

Apresenta-se em seguida o detalhamento das quatro dimensões do DP através de seus principais componentes constituintes. Componentes são sub-divisões da dimensão com um conteúdo focado em uma ação específica e bem delimitada. Os componentes aqui apresentados são aqueles mais citados pela literatura do DP para as quatro dimensões.



### 2.3.1. Estratégia

Pode-se destacar nesta dimensão os seguintes componentes:

1. a ação de gestão ou administração do portfólio de produtos da empresa, que se refere a gestão dos tipos de projetos em andamento ou em planejamento (incorporando novos ou redirecionando os já existentes), e prevendo e coordenando estrategicamente as relações interprojetos (a gestão de projetos simultâneos e sequenciais). Incluído neste componente está a administração da variedade de produtos e a adoção de inovações no produto e no processo, utilizando-se dos conceitos de plataforma / derivado e arquitetura / módulos do produto (Clark & Henderson, 1990; Robertson & Ulrich, 1998);
2. a forma de avaliação do desempenho, considerando-a como um trabalho de avaliação de um projeto de DP em relação ao portfólio de projetos da empresa. Os parâmetros de desempenho fundamentais no DP, que orientam os parâmetros de avaliação mais específicos, são o lead time (time to market – tempo do início ao lançamento de um projeto), a produtividade no projeto (que envolve custos e retorno sobre o investimento) e a qualidade na execução do projeto. A avaliação de desempenho é influenciada e influencia as decisões estratégicas e é resultado do trabalho com as demais dimensões do DP (Clark & Fujimoto, 1991; Clark & Wheelwright, 1992);
3. a condução das alianças e parcerias existentes para o DP (integração inter-organizacional), que envolve a negociação da participação de fornecedores e clientes no DP, e a negociação de outras alianças e parcerias menos comuns para o DP: com empresas (concorrentes ou não) e com organismos (governamentais ou não) (Cheng, 2000);
4. a condução das relações interfuncionais / interdepartamentais, envolvendo as negociações em nível estratégico entre marketing, engenharia e manufatura, para cada projeto em andamento (Cheng, 2000).

### 2.3.2. Organização

Esta dimensão focaliza os componentes organizacionais envolvidos com o processo de DP. Merecem destaque:

1. a adoção de uma estrutura organizacional ou mais precisamente os quatro modos de organização do DP (Clark & Fujimoto, 1991), que são a estrutura funcional, o time autônomo, ou então, em posição intermediária a estes dois, o gerenciamento “peso leve” ou o gerenciamento “peso pesado” do projeto de DP;
2. o trabalho de liderança no DP, que se refere as habilidades e comportamento do gerente de produto (Clark & Fujimoto, 1991; Clark & Wheelwright, 1992);
3. a existência de uma cultura que estimule a comunicação favorável entre os indivíduos, o trabalho em grupo e a gestão de conflitos (Cheng, 2000);
4. a montagem de programas de educação e capacitação de pessoal, incrementando a aprendizagem organizacional em DP (Rozenfeld et al., 2000).

### 2.3.3. Atividades / Informações

Basicamente esta dimensão trata das diversas atividades que ocorrem ao longo do processo de DP, com maior ou menor paralelismo ou simultaneidade. Diversos autores descrevem e detalham estas atividades (Clark & Wheelwright, 1992, é um dos que de forma mais completa fazem isso) e há ainda propostas institucionais como o modelo da APQP (*Advanced Product Quality Planning*) derivado da QS 9000, voltado ao setor automotivo. Sintetizando todas estas abordagens, tem-se os seguintes componentes para esta dimensão:

1. Pesquisa de mercado e das possibilidades tecnológicas;
2. Determinação dos requisitos dos clientes;
3. Identificação de riscos e avaliação de viabilidade;
4. Planejamento de recursos;
5. Tradução do conceito do produto em estilo, layout, componentes e especificações;
6. Seleção de fornecedores;
7. Construção de modelos físicos;
8. Avaliação de estilo e layout;
9. Transformação das atividades anteriores em desenhos e normas;
10. Elaboração, construção e testes de protótipos;
11. Tradução das especificações do projeto do produto no desenvolvimento do projeto do processo (fabricação e montagem);
12. Desenvolvimento e teste de ferramentas e equipamentos;
13. Realização de produção piloto e teste de validação do produto;
14. Realização de “stage-gates” para avaliar o que foi realizado em uma atividade prévia.  
Porém, a medida que estas atividades são realizadas, diversas informações são manuseadas, devendo-se então adicionar o seguinte componente a esta dimensão:
15. Normalização das informações (tanto no formato quanto no conteúdo) do processo de DP, facilitando sua troca.

### 2.3.4. Recursos

Os recursos utilizados no DP compõem-se de métodos, técnicas, ferramentas e sistemas que podem ser aplicados em uma ou mais das dimensões Atividades e Informação. De Clark & Wheelwright (1992), sintetizando vários autores, e também de Cheng (2000) e Rozenfeld et al (2000), podem ser listados os seguintes componentes para esta dimensão:

1. O método de QFD (*Quality Function Deployment*), para o levantamento das necessidades e desejos do cliente;
2. As técnicas de DFx (*Design for x*), onde x representa a capacidade da manufatura da empresa (fabricação, montagem, etc), para que o DP considere os limites da manufatura em seus projetos;
3. As ferramentas e sistemas CAD – CAE integradas e com base de dados unificada, para a representação do projeto (produto) em desenhos, cálculos de engenharia e instruções de fabricação;
4. Os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*), em seu módulo de gestão de projetos conhecido como PM (*Project Management*), integrado ou não a outros sistemas já empregados no DP, como o PDM / EDM (respectivamente, *Product e Engineering Data Management*), para o controle das informações geradas pelas atividades do projeto, fisicamente representadas por documentos, planilhas, desenhos, normas, etc;
5. Os recursos de FMEA de produto e de processo (fabricação), a A/E Valor, e as técnicas de fabricação e uso de protótipos para, respectivamente, a análise de falhas no projeto e na fabricação, a melhora de soluções encontradas no produto, e o teste de produtos;
6. Os recursos de suporte ao trabalho em grupo (*workgroup computing*), para elaboração de textos, planilhas e imagens, os recursos de *data warehouse / data mining e navigation tools* empregados em bases de dados, intranet e internet, e os recursos de TI para treinamento e ensino.

Se neste item o foco principal foi o DP como processo e suas quatro dimensões do DP, o próximo trata da GC e focaliza em uma de suas abordagens. Posteriormente, o item 4 apresenta o modelo de para a GC no DP, baseado na intersecção das dimensões do DP com a abordagem de GC escolhida no item 3.

## 3. Gestão do Conhecimento

Na visão de Sarvary (1999), a GC é um processo de negócios em que a empresa usa seu conhecimento institucional ou coletivo. Inclui três sub-processos: - a aprendizagem organizacional; - a produção do conhecimento; e a - distribuição do conhecimento. Um sistema de GC é a infraestrutura necessária para a organização implementar este processo: a infraestrutura de TI (bases de dados, redes de computadores, etc) e a infraestrutura organizacional (incentivos, motivações, regras, pessoas e times, cultura organizacional favorável) (Sarvary, 1999).

A GC apresenta um domínio multidisciplinar (ciências cognitivas, da informação, organizacionais e administrativas, e a tecnologia da informação) e particularmente na administração tem uma forte ligação com mudanças, melhores práticas, reengenharia de processos de negócios e benchmarking (Liebowitz, 1999). Com estas características, pode-se dizer que a GC não tem apenas uma única perspectiva ou escola de pensamento focando sua estruturação.

### 3.1. Modelos / Teorias para a Gestão do Conhecimento

A GC é um fator ou elemento crítico para o sucesso de uma organização nos dias atuais e é por isso que vem sendo tão intensamente estudada em Administração (Verkasalo & Lappalainen, 1998). Estes autores classificam esses estudos em três focos ou perspectivas, que embora interrelacionados têm características bem particulares:

- A escola da criação do conhecimento (*Knowledge Creation*), tendo em Nonaka & Takeuchi (1997) seus principais expoentes, focando mais nos mecanismos de criação de novos conhecimentos em ambientes inovadores, do que na aplicação de sistemas de informação para a transferência do conhecimento;
- A escola das competências essenciais (*Core Competence*), representado principalmente pela contribuição de Leonard (1995), tendo um foco mais voltado em desenvolver os recursos e o aprendizado coletivo que diferenciam a organização em termos competitivos e estratégicos, naqueles negócios em que está dedicada;
- A escola das bases de conhecimentos (*Knowledge Base*), com inúmeros autores envolvidos, relacionado ao emprego de tecnologias como a inteligência artificial e sistemas especialistas em bases de conhecimentos (KBS – *Knowledge Based System*), tendo como limitações os grandes esforços necessários para construir, manter e atualizar estes sistemas ou bases.

Destes três focos ou perspectivas, o que mais se aplica para o entendimento da GC no DP é a escola da criação do conhecimento (*Knowledge Creation*) de Nonaka & Takeuchi (1997), principalmente porque o DP é um processo fortemente criador e disseminador de novos conhecimentos como também porque estes autores testaram sua teoria em inovações (novos produtos) que estavam sendo desenvolvidos em algumas empresas. Desta forma, os outros dois focos ou perspectivas serão analisados tendo-se como base a criação do conhecimento, que será detalhada em seguida.

### 3.2. Criação do Conhecimento: Formatos e Conversões

Há um amplo consenso de que o conhecimento existe no formato *tácito* (conhecimento subjetivo; habilidades inerentes a uma pessoa; sistema de idéias, percepção e experiência; difícil de ser formalizado, transferido ou explicado a outra pessoa) e no formato *explícito* (conhecimento relativamente fácil de codificar, transferir e reutilizar; formalizado

em textos, gráficos, tabelas, figuras, desenhos, esquemas, diagramas, etc, facilmente organizado em bases de dados e em publicações em geral, tanto em papel como em formato eletrônico), sendo que os autores mais relevantes na definição e uso destes formatos (Nonaka & Takeuchi, 1997) consideram que um trabalho efetivo com o conhecimento somente é possível em um ambiente onde possa ocorrer a contínua conversão entre estes dois formatos. Estes pesquisadores detalharam esta conversão de conhecimentos entre os formatos tácito / explícito em quatro modos (ver Figura 2).

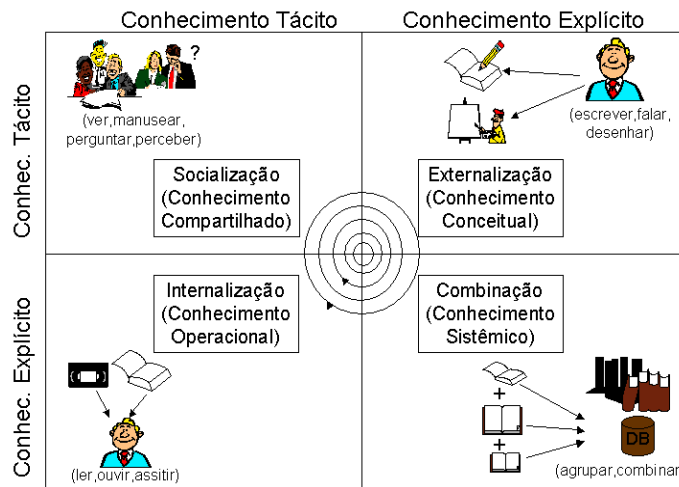


Figura 2: Modos de conversão do conhecimento tácito-explicito (adaptado de Nonaka & Takeuchi, 1997).

Uma ou mais conversões do conhecimento podem ocorrer simultaneamente. Os quatro tipos existentes estão detalhados em seguida, em termos de ações em que a conversão entre o formato tácito – explícito normalmente ocorre.

### 3.2.1. Socialização

Conversão do conhecimento tácito de uma pessoa no conhecimento tácito de outra pessoa. Este tipo de conversão já tem sido abordada pelas teorias ligadas a cultura organizacional e ao trabalho em grupo. Normalmente este conhecimento compartilhado acontece através de:

- diálogo frequente e comunicação “face-a-face”;
- *brainstorming, insights* e intuições são valorizados e são analisados sob várias perspectivas;
- trabalho do tipo “mestre-aprendiz”, observação, imitação e prática (*learning by doing*);
- compartilhamento de experiências e modelos mentais via trabalho em equipe.

Uma frase síntese desta conversão pode ser então: troca de conhecimentos entre as pessoas.

### 3.2.2. Externalização

Conversão do conhecimento tácito do indivíduo em algum tipo de conhecimento explícito. Este tipo de conversão tem sido pouco abordada por outras teorias da administração. Normalmente este conhecimento conceitual acontece através de:

- representação simbólica do conhecimento tácito, via metáforas, analogias, modelos, conceitos, hipóteses, etc, fazendo uso de toda a riqueza da linguagem figurada;
- descrição de parte do conhecimento tácito, via planilhas, textos, imagens figuras, regras (por exemplo nos sistemas especialistas), *scripts, design history*, etc;
- relatos orais e filmes (gravação de relatos orais e imagens de ocorrências / ações);

Uma frase síntese desta conversão pode ser então: os registros dos conhecimentos das pessoas.

### 3.2.3. Combinação

Conversão de algum tipo de conhecimento explícito gerado por um indivíduo para agregá-lo ao conhecimento explícito da organização. Este tipo de conversão tem sido abordada pelas teorias ligadas ao processamento da informação. Normalmente este conhecimento sistêmico acontece através do agrupamento e processamento de diferentes conhecimentos explícitos.

### 3.2.4. Internalização

Conversão de alguma parte do conhecimento explícito da organização em conhecimento tácito do indivíduo. Este tipo de conversão tem sido abordada pelas teorias ligadas a aprendizagem organizacional. Normalmente este conhecimento operacional acontece através de:

- leitura / visualização e estudo, individual, de documentos de diferentes formatos / tipos (textos, imagens, etc);
- reinterpretar / reexperimentar, individualmente, vivências e práticas (*practices e lessons learned*);

Uma frase síntese desta conversão pode ser então: o aprendizado pessoal futuro a partir dos registros dos conhecimentos das pessoas.

A discussão sobre o DP e suas dimensões feita no item 2 juntamente com a discussão deste item 3 sobre a GC e as conversões do conhecimento formam os dois eixos principais do modelo proposto neste trabalho. O item seguinte esquematiza e explica a montagem do modelo, construído com o foco nos relacionamentos entre as referidas dimensões e conversões.

#### 4. Modelo para Avaliação da Gestão do Conhecimento no Desenvolvimento de Produtos

Nos autores ligados ao DP podem ser encontrados menções quanto a importância da gestão e da criação do conhecimento (muitas vezes com outros nomes como aprendizagem, capacitação, criatividade, etc), com exposições e recomendações a respeito, porém faltando profundidade na apresentação de uma visão sistêmica sobre como tratar essas recomendações e os mecanismos de criação do conhecimento que nestes atuam.

Por exemplo, um dos mais completos livros sobre DP (Clark & Wheelwright, 1992) dedica um capítulo focando cinco categorias de eventos críticos ao DP propícias para o aprendizado individual e organizacional: o diagnóstico de problemas que se repetem, as capacidades e competências individuais para realizar tarefas, as ligações entre diferentes especialistas, os ciclos projetar – construir – testar, e a tomada de decisões e alocação de recursos.

Há recomendações sobre como utilizar estes eventos para o aprendizado, porém falta organizá-los em um modelo mais sistêmico e coordenado de GC. E o que é mais relevante, falta explicar os mecanismos de criação do conhecimento que ocorrem nestes eventos, pois são estes mecanismos que se bem entendidos podem ser repetidos em outros eventos do DP, otimizando a criação do conhecimento em todo o processo. Esta crítica mostra lacunas no trabalho destes autores, sem desmerecer a contribuição destes. Mesmo porque os eventos críticos apontados são similares, e portanto corroboram, alguns dos componentes de dimensões do DP apontados no modelo de GC do DP do presente artigo.

Os referidos mecanismos de criação do conhecimento podem ser encontrados nas teorias sobre GC, em especial no trabalho de Nonaka & Takeuchi (1997), onde estes mecanismos são justamente o detalhamento das quatro conversões do conhecimento.

Estes autores inclusive desenvolveram esta teoria analisando a criação do conhecimento em projetos de DP, focando a existência de condições capacitadoras para a GC em alguns casos de DP e o quanto isso foi favorável à existência das conversões. Porém estes autores não focaram ou entraram em mais detalhes nas particularidades do processo de DP, por exemplo no que é dado pelas quatro dimensões do DP, preocupando-se mais em provar a existência destas conversões (dos seus mencionados mecanismos) em alguns trabalhos de solução de problemas do produto que estavam analisando, durante o projeto deste produto.

Desta forma propuseram a explicação para os mecanismos da criação do conhecimento, mas sem prender estes a um modelo ou processo de DP, o que seria melhor compreendido e aplicado pelas empresas com o interesse em melhorar sua GC no DP.

Das limitações apontadas acima é que nasce a proposta do modelo de GC no DP do presente artigo, focado na investigação destes mecanismos, agrupados nas quatro conversões do conhecimento, pela verificação do relacionamento destas com uma forma estruturada de se ver o processo de DP, dado pela dimensões do DP.

Estes relacionamentos são percebidos direta ou indiretamente em várias referências bibliográficas recentes, que mostram a ligação de uma ou mais das dimensões do DP com uma ou mais das conversões do conhecimento (o quanto o trabalho em uma dimensão facilita a ocorrência de certas conversões, o quanto algumas conversões ocorrendo melhoram o trabalho em certa dimensão).

Estes relacionamentos encontrados na literatura tratam de apenas algumas das dimensões e conversões (apenas uma parte de todos os relacionamentos ou cruzamentos do modelo completo). A Tabela 1 mostra algumas destas referências e a conclusão que delas se pode tirar. Esta conclusão é tratada aqui como uma melhor prática ou um *benchmarking* de GC em um dado relacionamento. Para os demais relacionamentos existentes, mas não encontrados na literatura, são levantadas hipóteses de como deve ocorrer a conversão do conhecimento e como a dimensão deve contribuir para isso.

Estas melhores práticas somadas as hipóteses formam todos os relacionamentos do modelo completo, interseccionando as quatro conversões do conhecimento (socialização – externalização – combinação – internalização) com as quatro dimensões do DP (estratégia – organização – informação e atividades – recursos). Uma representação deste modelo é dada pela matriz apresentada na Tabela 2, já preenchida com os resultados do teste feito neste artigo. Para este teste do modelo, as melhores práticas e hipóteses que o constituem foram checadadas quanto a sua existência em um DP simulado de uma Fábrica Integrada Modelo (FIM), assunto dos próximos itens.

#### 5. Metodologia

Descreve-se neste item a metodologia científica utilizada, que dá sustentação para o teste com o modelo de GC no DP (cujos resultados são apresentados e discutidos no próximo item). Por teste entenda-se aplicar o modelo esquematizado na matriz da Tabela 2, verificando a existência das melhores práticas e hipóteses (como explicado no item anterior) nos relacionamentos entre conversões do conhecimentos com componentes das dimensões do DP.

Tabela 1. Exemplos de melhores práticas encontradas na literatura para alguns relacionamentos do modelo.

Dimensões do DP	Conversões Tácito – Explícito – Tácito (T–E–T) na Dimensão do DP (ver detalhes no item 3.2 sobre o ciclo de conversão T–E–T: Socialização – Externalização – Combinação – Internalização)
1. Estratégia (ver os componentes desta dimensão no item 2.3.1)	- A condução das decisões estratégicas ligadas ao portfólio e as plataformas de produtos implicam na criação e transferência do conhecimento entre projetos (produtos) (Amelingmeyer & Kalvelage, 1999; Vartiainen et al, 1999; Ayas, 1997), ao ocorrer a Socialização (via diálogo e brainstorming), a Externalização (necessidade de representar graficamente o portfólio), a Combinação (agrupando conhecimentos de projetos – produtos) e a Internalização (estudando diferentes documentos de projetos – produtos).
2. Organização (ver os componentes desta dimensão no item 2.3.2)	- A atuação de lideranças no DP tem significativa importância na Externalização de idéias através de metáforas e analogias (Nonaka & Takeuchi, 1997; Clark & Wheelwright, 1992).
3. Atividades e Informação (ver os componentes desta dimensão no item 2.3.3)	-As atividades de análise e solução de problemas e as atividades de criação de protótipos e experiências podem otimizar a Socialização e a Externalização (Lombard, 1999; Garvin, 1993; Leonard & Straus, 1997).
4. Recursos (ver os componentes desta dimensão no item 2.3.4)	- O CAD 3-D, contribui para a criação do conhecimento pela ocorrência das quatro conversões (Leonard-Barton et al, 1994; Bolisani & Scarso, 1999; Baba & Nobeoka, 1998).

Em termos de método predominou neste trabalho uma característica de pesquisa do tipo exploratória e descritiva, ao se buscar descrever comportamentos e classificar fatos e variáveis, utilizando-se para isso o estudo de caso (Lakatos & Marconi, 1995). Estes mesmos autores afirmam que um estudo de caso pode utilizar juntamente ou em separado um instrumento ou ferramental qualitativo e quantitativo, para coletar informações através de observação participante, análise de documentos e entrevistas.

O ferramental utilizado foi um roteiro (questionário) formado pelas dimensões do DP, a partir dos componentes apresentados no item 2.3, com as conversões do conhecimento explicadas no item 3.2. Para as dimensões do DP tem-se o seguinte número de componentes (ver item 2.3): - Estratégia (4); - Organização (4); - Atividades e Informação (15); e - Recursos (6), chegando-se a um total de 29. Considerando que cada um será avaliado perante quatro conversões do conhecimento, tem-se um total de 116 relacionamentos a ser analisados (ou hipóteses / melhores práticas a ser verificados) para se proceder a um mapeamento da GC em um processo de DP.

Para se avaliar este número elevado de relacionamentos, a metodologia científica recomenda o uso de uma escala Likert, preenchendo-se assim a matriz da Tabela 2 com uma avaliação quantitativa. A metodologia também recomenda que paralelo a isso sejam feitas anotações de fenômenos observados em cada relacionamento (procedendo-se então a uma avaliação qualitativa complementar).

A escala Likert utilizada para se avaliar a ocorrência de cada conversão do conhecimento em cada componente das dimensões especificadas possui os seguintes *scores*:

**N** – não realizamos / não atuo neste componente para responder / não ocorre esta conversão

**1** – muito inferior (fraco) – a conversão que menos ocorre neste componente

**2** – inferior (regular) – uma das conversões que menos ocorrem no componente

**3** – médio (mediano) – ocorrência mediana desta conversão

**4** – superior (bom) – uma das conversões que mais ocorrem no componente

**5** – muito superior (ótimo) – a conversão que mais ocorre no componente

Estes *scores* são atribuídos em resposta à contribuição percebida do componente (dimensão) para a ocorrência da conversão do conhecimento. Decidiu-se seguir um raciocínio que faz mais sentido para as pessoas entrevistadas que trabalham com o DP, ao induzi-las a pensar primeiro na dimensão / componente e depois em como estes ocorrem ou contribuem para cada conversão. A conversão aqui mencionada é uma das quatro apresentadas anteriormente, valendo seu significado dado pelos itens 3.2.1 (Socialização), 3.2.2 (Externalização), 3.2.3 (Combinação) e 3.2.4 (Internalização).

A construção deste roteiro (questionário) seguiu as recomendações da literatura de metodologia científica para a montagem deste tipo de ferramental (Lakatos & Marconi, 1995): - a utilização de blocos temáticos, obedecendo a uma ordem lógica; - a redação das perguntas em uma linguagem compreensível ao informante; - cada pergunta focando em apenas uma questão; - e todas as perguntas relacionadas aos objetivos da pesquisa.

## 6. Aplicação do Método e Resultados

O modelo de GC no DP foi testado em um ambiente físico simulado de DP dado por uma Fábrica Integrada Modelo (FIM). Este espaço tem todos os elementos necessários para ser um ambiente bem próximo do real, tais como: produto

(do setor metal-mecânico, um redutor universal), pessoas (personagens criados com uma posição profissional e responsabilidades), recursos (máquinas, computadores, etc), entre outros.

Esta fábrica está estruturada como uma coleção de processos de negócios, sendo o DP um dos processos mais estudados, já tendo sido mapeado através de um modelo de referência. Este modelo é a base para construção de cenários de DP (uma história fictícia de DP, com atos e cenas organizados em um script). Estes cenários podem ter maior ou menor detalhamento (pode ser completo, envolvendo todo o ciclo do DP, ou parcial, concentrando-se em alguma parte do processo ou tecnologia específica do DP).

Este cenário pode ser vivenciado, o que significa ter alunos (universitários e/ou pessoas de empresas) assumindo o papel de personagens da história e seguindo um *script*, praticando assim o DP de forma integrada, tanto assistindo apresentações como também participando na execução de tarefas e tomadas de decisão.

Com duração de três dias a uma semana, em período integral, esta vivência tem conseguido simular de forma bastante próxima do real a complexidade existente na realização do DP. Mais detalhes sobre a FIM e sua contribuição para a prática do DP pode ser encontrado em Bremer (1995).

Para o teste do modelo de GC no DP proposto no presente artigo, o autor deste modelo participou da vivência de um cenário completo, interagindo com alunos e instrutores, observando e analisando documentos. Após esta primeira etapa de convivência com este ambiente, o autor realizou entrevista com um dos mais experientes coordenadores do DP da FIM, que montou e estruturou em detalhe todo o cenário completo.

As atribuições dos *scores* relativos à contribuição do componente da dimensão do DP para a ocorrência de cada conversão do conhecimento, apresentado na Tabela 2, foi feita por este coordenador do DP, cabendo ao autor do modelo testado, com a experiência acumulada devido à convivência neste ambiente, arguir o entrevistado em busca de explicações e justificativas pelos *scores* atribuídos. Em seguida mostram-se e discutem-se os resultados obtidos e no próximo item são descritos os principais aprendizados obtidos com este teste do modelo de avaliação da GC no DP

Quanto aos resultados obtidos na FIM, as seguintes considerações podem ser feitas:

- quanto à dimensão Estratégia (com 16 relacionamentos), há cerca de 10 destes (aproximadamente 63%) em que o entrevistado não percebeu a ocorrência de conversão ou então o próprio componente desta dimensão não existe no cenário. As conversões que mais ocorreram, na percepção do entrevistado, foram a Socialização e a Externalização, devido à contribuição dos componentes: Avaliação de desempenho e Condução das relações interfuncionais / interdepartamentais;
- quanto à dimensão Organização (também com 16 relacionamentos), há 8 destas com *score* N (cerca de 50%), portanto sem ocorrência de conversão ou sem a presença do próprio componente, segundo o entrevistado. A Socialização é na opinião deste a conversão que mais ocorre, devido aos componentes: Trabalho com uma organização do DP em time “peso pesado” e a Existência de uma cultura organizacional favorável ao trabalho em time;
- quanto à dimensão Atividades / Informações (com 60 relacionamentos), o entrevistado atribuiu a 31 destes o *score* N (cerca de 52%). Os componentes desta dimensão contribuíram para a Socialização (especialmente devido aos componentes: Determinação dos requisitos dos clientes, e Tradução do conceito do produto em layout e especificações) e para a Externalização (devido a Pesquisa de mercado e das possibilidades tecnológica, Construção de modelos físicos, Transformação de atividades em desenhos e normas, Realização de produção piloto e teste de validação do produto, e Normalização das informações);
- quanto à dimensão Recursos (com 24 relacionamentos), esta possui 8 *scores* N (33%), havendo na opinião do entrevistado uma contribuição para as conversões do conhecimento aproximadamente equivalente entre todos os componentes desta dimensão. Destacou-se a forte avaliação obtida pelo componente 1, que se refere ao emprego do método de QFD, contribuindo para a Socialização e a Combinação.

Analisando-se as quatro conversões isoladamente, para os 29 componentes (ou relacionamentos), tem-se o seguinte valor percentual de *scores* N e média / desvio dos *scores* de 1 a 5 atribuídos: Socialização (45% e 2,6 / 1,3), Externalização (34% e 2,7 / 1,2), Combinação (55% e 2,5 / 1,1) e Internalização (62% e 1,8 / 0,8).

Portanto, analisando os 29 componentes das dimensões do DP em bloco, para cada uma das quatro colunas de conversões do conhecimento, destaca-se da avaliação do entrevistado a maior ocorrência da Socialização e Externalização, devido aos menores valores percentuais de *score* N destas conversões (45% e 34%, respectivamente).

Em termos de média a Combinação também tem algum destaque (valor de 2,5 que fica próximo do obtido pela Socialização e Externalização), apesar desta medida, para todas as quatro conversões, ter mostrado um desvio padrão acentuado e todas as médias ficaram abaixo do *score* 3 (ocorrência mediana da conversão do conhecimento na escala Likert utilizada), mostrando que ainda há espaço para mais esforços em termos de GC no processo de DP da FIM.

## 7. Comentários e Conclusão

Basicamente os seguintes comentários podem ser feitos quanto à aplicação do modelo de GC no DP:

- a presença do autor participando do cenário de DP e depois com esta visão conduzindo a entrevista mostrou-se adequada, tanto para esclarecer eventuais dúvidas na entrevista sobre algum dos componentes das dimensões e/ou algum aspecto das conversões, quanto também para estimular a discussão entre este e o entrevistado, estimulando-o a justificar a avaliação ou *score*, captando a riqueza presente deste debate;

- foram sugeridas melhorias na formulação das perguntas sobre os componentes das dimensões do DP, no sentido de se distinguir melhor a ação executada por estes no DP e/ou o domínio e limites de cada um, de forma que o instrumento de pesquisa (roteiro) seja mais facilmente utilizado nas entrevistas;
- foi proposta a atribuição de uma nota ou peso (ou um *ranking*) para cada componente das dimensões, conforme sua importância e/ou esforço para o DP percebido pelas pessoas que trabalham neste processo. Trata-se então de caracterizar a abrangência e valorização de cada componente no processo de DP da empresa, antes de avaliar sua contribuição para as conversões do conhecimento;
- uma provável existência de correlações entre as quatro conversões e principalmente entre os componentes das quatro dimensões do DP, percebida durante a realização deste teste, recomenda que em análises futuras tente-se avaliar esta correlação.

A aplicação do modelo de avaliação da GC no cenário de DP da FIM mostrou sua viabilidade prática e efetividade em mapear a situação do processo de DP, em termos de criação, armazenamento e disseminação do conhecimento.

Dos resultados encontrados nesta aplicação específica do modelo, pode-se perceber o grande desequilíbrio entre a ocorrência das quatro conversões e também entre os componentes em termos de suas contribuições (havendo muitos que nada contribuem e outros que nem sequer fazem parte do DP). Investigar melhor o porquê desta situação requer a realização de um estudo de caso mais aprofundado, em condições reais de DP, o que será feito em breve em empresas do setor metal-mecânico, ligadas a indústria automobilística (montadoras e autopeças).

Tabela 2. Mapeamento da GC no cenário completo do DP na FIM (contribuição dos componentes das dimensões do DP para as conversões do conhecimento)

Dimensões do DP	Socialização (item 3.2.1)	Externalização (item 3.2.2)	Combinação (item 3.2.3)	Internalização (item 3.2.4)
<b>Estratégia (item 2.3.1)</b>				
1	N	N	N	N
2	2	4	N	1
3	N	N	N	N
4	2	3	2	N
<b>Organização (item 2.3.2)</b>				
1	5	2	2	N
2	2	2	3	N
3	4	N	N	2
4	N	N	N	N
<b>Ativid. e Inform. (item 2.3.3)</b>				
1	N	4	N	2
2	4	2	3	N
3	N	2	N	1
4	N	N	2	2
5	4	1	4	N
6	N	N	N	N
7	N	4	N	N
8	N	N	N	N
9	N	4	N	N
10	3	1	3	N
11	1	N	1	1
12	N	N	N	1
13	1	4	N	N
14	1	3	N	N
15	1	5	1	2
<b>Recursos (item 2.3.4)</b>				
1	4	2	4	2
2	2	N	2	N
3	N	3	4	3
4	N	3	N	3
5	3	1	2	N
6	2	1	N	N

## 8. Referências

- Amelingmeyer, J., Kalvelage A., 1999, "Inter-Project Learning in New Product Development". Proceedings of 6<sup>th</sup> International Product Development Management Conference, Cambridge UK, pp.17-30.
- Ayas, K., 1997, "Integrating Corporate Learning with Project Management" International Journal of Production Economics, August, pp. 59-67.
- Baba, Y., Nobeoka, K., 1998, "Towards Knowledge-Based Product Development: the 3-D CAD Model of Knowledge Creation" Research Policy, 26, pp.643-659.

- Bolisani, E., Scarso, E., 1999, "Information Technology Management: a Knowledge-Based Perspective" *Technovation*, 19, pp.209-217.
- Bremer, C.F., 1995, "The FIM - Integrated Model Factory and its Application on Generating and Transference of Knowledge for World Class Industries" *Proceedings of 6<sup>th</sup> World Conference on Continuing Engineering Education*, São Paulo, pp.12-29.
- Cheng, L.C., 2000, "Caracterização da Gestão de Desenvolvimento do Produto: Delineando o seu Contorno e Dimensões Básicas". *Proceedings of II Congresso Brasileiro de Gestão do Desenvolvimento de Produto*, UFSCar, São Carlos, SP, pp. 1-9.
- Clark, K.B., Henderson, R.M., 1990, "Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms" *Administrative Science Quarterly*, Cornell, v.35, March, pp.9-30.
- Clark, K., Fujimoto, T., 1991, "Product Development Performance: Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry", Harvard Business School Press, Boston, USA, 312p.
- Clark, K., Wheelwright, S.C., 1992, "Revolutionizing Product Development: Quantum leaps in Speed, Efficiency, and Quality", The Free Press, New York, USA, 457p.
- Clausing, D., 1994, "Total Quality Development: a step-by-step guide to World-Class Concurrent Engineering", American Society of Mechanical Engineering Press, New York, USA, 223p.
- Davenport, T., 1994, "Process Innovation", Harvard Business School Press, Boston, USA, 432p.
- Garvin, D.A., 1993, "Building a Learning Organization" *Harvard Business Review*, July-August, pp.78-91.
- Lakatos, E. M., Marconi, M.A., 1995, "Fundamentos de Metodologia Científica", Editora Atlas, São Paulo, 225p.
- Leonard, D., 1995, "Wellspring of Knowledge", Harvard Business School Press, Boston, USA, 334p
- Leonard-Barton, D., Bowen, H.K., Clark, K.B., Holloway, C.A., Wheelwright, S.C., 1994, "How to Integrate Work and Deepen Expertise" *Harvard Business Review*, September – October, pp. 121-130.
- Leonard, D., Straus, S., 1997, "Putting your Company's whole brain to Work" *Harvard Business Review*, July – August, pp.111-121.
- Liebowitz, J., 1999, "Knowledge Management Handbook", CRC Press, USA, 511p.
- Lombard, F., 1999, "The Knowledge Management Process / Managing diversity within Teams: Toward a Research Agenda". *Unpublished Proceedings of 9<sup>th</sup> European Doctoral Summer School*, Twente University, The Netherlands.
- Nonaka, I., Takeuchi, H., 1997, "Criação de conhecimento na empresa", Campus, Rio de Janeiro, 210p.
- Prasad, B., 1996, "Concurrent Engineering Fundamentals: Integrated Product and Process Organization" v.I, Prentice Hall International Series, New Jersey, USA, 478p.
- Robertson, D., Ulrich, K., 1998, "Planning for product platforms" *Sloan Management Review*, Summer, pp.19-31.
- Rozenfeld, H., et al., 2000, "Fábrica do futuro: entenda hoje como sua indústria vai ser amanhã" Editora Banas, n.312.
- Sarvary, M., 1999, "Knowledge Management and Competition in the Consulting Industry" *California Management Review*, v.41, n.2, pp.95-107.
- Vartiainen, M., Hakonen, M., Simola, A., Kokko, N., Rantamäki, T., 1999, "Learning Project Model and Transfer of Experiences". *Proceedings of 6<sup>th</sup> International Product Development Management Conference*, Cambridge UK, p.1085-1095.
- Verkasalo, M., Lappalainen, P., 1998, "Method of Measuring the Efficiency of the Knowledge Utilization Process. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v.45, n.4, pp.414-423.

## **BUILDING A MODEL OF KNOWLEDGE MANAGEMENT ASSESSMENT IN THE PRODUCT DEVELOPMENT**

**Sergio Luis da Silva**

Universidade de São Paulo – Núcleo de Manufatura Avançada  
 Universidade Federal de São Carlos – Departamento de Ciências da Informação  
 sergiol@power.ufscar.br

**Henrique Rozenfeld**

Universidade de São Paulo – Núcleo de Manufatura Avançada  
 roz@sc.usp.br

**Abstract.** This paper describes a model of Knowledge Management (KM) assessment in the Product Development (PD) process, mainly focused on mapping the occurrence of the four types of knowledge conversion in some components deployed from four dimensions of the PD process. This model was built supported by "state of the art" literature and was tested in an environment of product development simulation called Model Integrated Factory (MIF). The obtained results show a significant effectiveness of the model in elaboration of a wide view of KM situation embedded in PD process, and particularly in what dimensions of PD there is more intensive knowledge work. In the future, utilizing the lessons learned at MIF, this model will be applied in real cases of PD process in the mechanical industry sector.

**Keywords** *Knowledge Management, Product Development, Reference Model, Organizational Diagnosis.*



## ANÁLISE E MODELAGEM DAS ATIVIDADES PRODUTIVAS E LOGÍSTICAS NA AGROINDÚSTRIA VISANDO ESTUDOS DE SIMULAÇÃO: UMA APLICAÇÃO NO SETOR DE FORNECIMENTO DE CANA EM INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

### Mamoru Carlos Yamada

Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Av. do Trabalhador São-carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP.  
mcyamada@sc.usp.br

### José Luiz Miranda Jr.

Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Av. do Trabalhador São-carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP.  
joseluiz@sc.usp.br

### Ricardo Yassushi Inamasu

Embrapa Instrumentação Agropecuária (CNPDia). Rua XV de novembro, 1452, CEP 13560-970, São Carlos, SP.  
ricardo@cnpdia.embrapa.br

### Arthur José Vieira Porto

Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Av. do Trabalhador São-carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP.  
ajvporto@sc.usp.br

*RESUMO – O aumento da complexidade dos processos de agronegócio tem gerado uma necessidade pela pesquisa de novas ferramentas metodológicas mais adequadas para o seu estudo. O presente trabalho objetivou especificar procedimentos de estudo e modelos padrões para o auxílio no desenvolvimento de estudos de simulação das atividades produtivas e logísticas do setor de açúcar e álcool. Como exemplo implementou-se um modelo para as etapas de corte, carregamento e transporte da cana, que foi validado com a ferramenta de rede de Petri, por meio da análise de alcançabilidade, onde são simuladas todas as seqüências possíveis para estas atividades. Com a especificação de procedimentos e modelos padrões, aliados ao uso de ferramentas baseadas em rede de Petri e de softwares comerciais de simulação, como por exemplo, Arena, Promodel, Automod, etc, objetiva-se a criação de diretrizes para o tratamento otimizado dos dados e a formulação e análise de opções de planejamento logístico do fornecimento de cana que resultem em melhor desempenho do sistema, combinando o aumento da produtividade e qualidade, e a diminuição de custos e tempos.*

**Palavras chave:** modelagem, logística, agroindústria, cana-de-açúcar, rede de Petri.

### 1. Introdução

O histórico dos sistemas produtivos nas últimas décadas mostra que estes sofreram grandes alterações em suas características de processo, passando de uma situação onde as características da produção eram: baixa competitividade, baixa diversificação de produtos e mercado consumidor pouco exigente; para uma outra, onde as características principais são inversas: alta competitividade, grande variedade de produtos fabricados e a predominância de produtos individualizados. Atualmente, as empresas têm que reagir rapidamente, mantendo baixos níveis de custos de produção, a fim de poder competir em um mercado cada vez mais dinâmico.

Na agroindústria o cenário não é diferente. Segundo Portugal (1998), a abertura do mercado e a rápida evolução da ciência têm pressionado os produtos agrícolas e as suas respectivas cadeias produtivas por maior competitividade e desenvolvimento tecnológico, seja como fator de manutenção ou ganho de posições no mercado internacional, seja para evitar perdas no mercado interno.

Deste modo, a necessidade da implantação de alternativas de técnicas, equipamentos e recursos que beneficiem o planejamento e controle do processo produtivo, faz-se presente devido às pressões de mercado, onde a busca por incrementos na produtividade e na melhoria da qualidade dos produtos foi adotada por várias agroindústrias como uma estratégia para manter sua competitividade no setor que, segundo Alves (1997), depende de seu investimento na produção agrícola e na sua inserção na cadeia de abastecimento ao mercado, além de uma maior ênfase em tecnologias de pós-colheita e de processamento, em fatores que afetam os tempos e custos de transporte e armazenamento e em serviços de apoio que agilizem a movimentação física dos produtos e o acesso a informações relacionadas a seus negócios.

O complexo agroindustrial da cana-de-açúcar destaca-se no cenário agroindustrial brasileiro. Segundo Jornalcana (2001), o mercado sucroalcooleiro movimenta cerca de R\$12,7 bilhões por ano, com faturamentos diretos e indiretos, o que corresponde a 2,3% do PIB brasileiro. Na safra 1999/2000 foram produzidas 315 milhões de toneladas de cana, num total de 20 milhões de toneladas de açúcar e 12,8 bilhões de litros de álcool. Assim, o Brasil posiciona-se como o maior produtor mundial de açúcar de cana e o único do país do mundo a implantar, em larga escala, um combustível alternativo ao petróleo. Hoje, o álcool é reconhecido mundialmente pelas suas vantagens ambientais, sociais e econômicas.

Tal representação significativa na economia denota a complexidade do sistema produtivo sucroalcooleiro. Deste modo, a aplicação de conceitos e técnicas de modelagem e simulação no estudo deste tipo de sistema é de relevante importância, contribuindo com o esforço para a compreensão do seu funcionamento bem como dos fatores que o influenciam, e permitindo a avaliação de opções de planejamento sem a efetiva intervenção no sistema real, evitando-se possíveis riscos de operação ineficaz ou sobrecarga de operação, falta de suprimentos e logística incorreta, entre outros inconvenientes.

Uma das atividades mais complexas do sistema produtivo sucroalcooleiro é a de fornecimento de cana. Segundo Lopes (1995), seu planejamento envolve a análise do comportamento biológico da cultura, os recursos disponíveis e a programação da necessidade de matéria-prima para a indústria.

O estudo logístico permite que tais empresas consigam atingir a velocidade de resposta adequada ao novo padrão de competitividade do mercado. O desafio que se coloca sob a ótica da Logística moderna é a utilização inteligente dos recursos de gestão, de informática e de coordenação dos transportes. Também fazem parte dos objetivos logísticos: a redução do tempo de manuseio da matéria prima até o armazém; a redução de avarias, furtos e devoluções; a garantia de valores mínimos dos custos globais respeitando os níveis de serviço preestabelecidos. Enfrentar tal situação implica na conjugação de uma série de soluções parciais e integradas, que permitam chegar a valores consideráveis dos objetivos citados acima.

O presente trabalho teve como objetivo a modelagem e análise das atividades produtivas e logísticas do setor de açúcar e álcool, utilizando-se como exemplo a etapa de fornecimento de cana, que foi validado com rede de Petri, por meio da análise de alcançabilidade, onde são simuladas todas as seqüências possíveis para estas atividades, e todos os estados possíveis que o sistema pode alcançar. Com a especificação de procedimentos e modelos padrões, aliados ao uso de ferramentas baseadas em rede de Petri e de softwares comerciais de simulação, como por exemplo, Arena, Promodel, Automod, etc, objetiva-se a criação de diretrizes para o tratamento otimizado dos dados gerados a cada período produtivo, de modo a facilitar a sua manutenção e recuperação, possibilitando a formulação e análise de opções de planejamento do fornecimento de cana, que resultem em melhor desempenho do sistema, combinando o aumento da produtividade e qualidade, e a diminuição de custos e tempos.

## 2. Logística

Para que uma organização realmente obtenha lucro, esta deve traduzir os seus objetivos tradicionais em objetivos quantitativos. Deve-se determinar, por exemplo, qual será a velocidade de desenvolvimento, qual o percentual de lucro que se espera obter, quanto de retorno do investimento será necessário para o capital de giro e se este retorno irá suportar o crescimento planejado. Para isso, o balanceamento dos objetivos com os propósitos estratégicos (conhecer qual o mercado a organização irá atender e como irá penetrar neste mercado, saber qual produto será desenvolvido e verificar se os recursos disponíveis atendem a execução do planejado), são atividades fundamentais na busca crescente da maximização do lucro.

Além disso, as atividades de transporte e armazenagem deixaram de ser um mero ato de consolidação da relação de compra e venda, para se tornar pontos estratégicos fundamentais na busca de uma maior fatia de mercado. De uma maneira mais ampla de discussão, estas atividades (transporte e armazenagem) juntamente com o fluxo de informação formam a base conceitual de um planejamento estratégico logístico (Ballou, 1995).

Dada a importância da logística, alguns autores começaram a defini-la. Daskin (1985) definiu logística *como sendo o planejamento e a operação dos sistemas físicos, informacionais e gerenciais necessários para que insumos e produtos vençam condicionantes espaciais e temporais de forma econômica*.

Tanto a definição de Daskin como a maioria das definições de logística encontradas na bibliografia, tratam o assunto referindo-se a condicionantes espaciais e temporais. As condicionantes espaciais estão relacionadas com o transporte no fornecimento e na distribuição e manipulação interna de materiais dentro do ambiente fabril. As restrições temporais ocupam um papel importante na solução de problemas. O aspecto temporal aparece de várias formas, como por exemplo, no cumprimento de prazos rígidos de entrega de matéria-prima ou produtos acabados/semi-acabados e na exigência de níveis de confiabilidade operacional.

A logística é uma área abrangente que envolve toda a organização. De acordo com a Fig. (1), um planejamento logístico pode ser feito em âmbito: interno, onde a preocupação é com a organização dos armazéns, com a quantidade armazenada, com o fluxo de materiais, com os veículos transportadores, com os caminhos de fluxo, dentre outros; ou externo, onde o enfoque está na estratégia de fornecimento de insumos e distribuição de produtos acabados ou semi-acabados.

### 2.1. Atividades Básicas na Logística

Baseado nos conceitos de logística apresentado na bibliografia (Ballou, 1995 e Robenson e Copaccino, 1994), pode-se distinguir algumas atividades que são básicas para que se atinja os objetivos de custos e níveis de serviço desejados pela organização. Estas atividades são: transporte, gerenciamento de estoques e fluxo de informação. Todas estas atividades podem ser analisadas no âmbito interno e externo da organização.

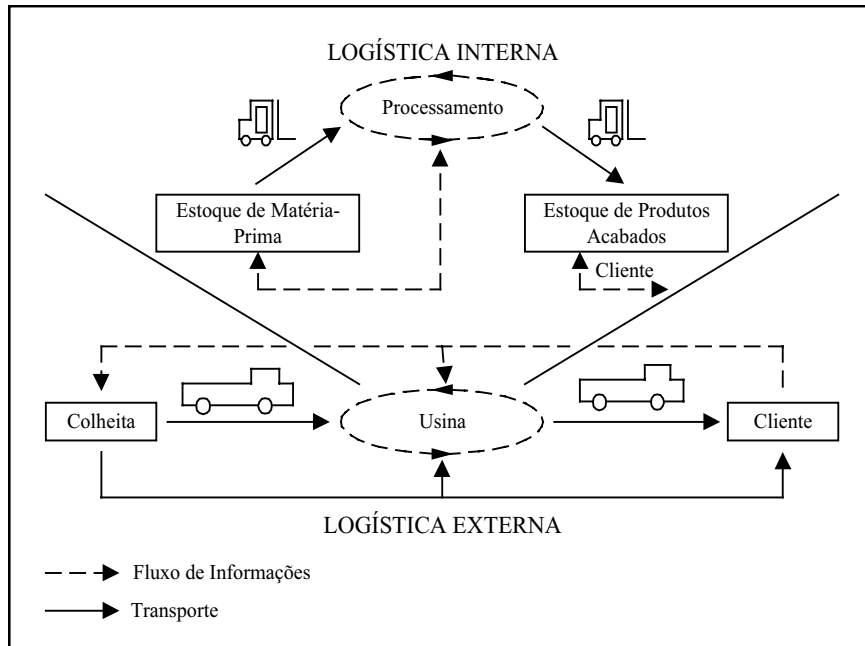


Figura 1. Relação entre as atividades primárias da logística interna e externa (Adaptado de Miranda Jr. (1998)).

### 2.1.1. Transporte

Para a maioria das organizações, o transporte é a atividade logística mais importante, porque ela absorve, em média, dois terços dos custos logísticos (Ballou, 1995). Esta atividade está diretamente relacionada com o vencimento de restrições espaciais. O transporte refere-se a vários métodos para se movimentar produtos e insumos, tanto no fornecimento e distribuição (logística externa), como no manuseio interno de materiais (logística interna). Uma completa administração desta atividade envolve a decisão sobre o melhor tipo de veículo transportador ou, no caso interno, dos transportadores (esteiras, pontes rolantes, etc.), do melhores roteiros de movimentação e a melhor utilização da capacidade destes transportadores.

No sistema agroindustrial da cana-de-açúcar, em especial na etapa de fornecimento (corte, carregamento e transporte) da cana para a usina, o transporte é um grande fator de aumento de custo do produto acabado. Segundo Lopes (1995), as etapas de corte, carregamento e transporte são responsáveis, em média, por 30 a 40% do custo da cana entregue para a moagem. Neste aspecto, Milan (1992) desenvolveu um modelo representativo da produção de cana-de-açúcar, para identificar fatores críticos dos custos do processo de desenvolvimento da cana-de-açúcar, bem como estratégias que possam levar à redução desses custos, tanto em relação às decisões gerenciais quanto em relação a alternativas de equipamentos ou técnicas.

A cana, depois de colhida, é acondicionada em reboques, que sofrem deslocamentos dentro no canavial e dentro do trecho de estrada de terra, por meio de equipamentos transportadores específicos, antes de serem acoplados a um caminhão que fará o transporte final até a usina.

Dentro de todo esse processo de manuseio de matéria-prima (cana-de-açúcar), o planejamento logístico de fornecimento pode agregar mais valor ao produto transportado, além de abaixar o preço do produto final da usina. Este trabalho enfoca a análise e modelagem das atividades produtivas e logísticas do fornecimento de cana. Assim, maiores detalhes sobre a etapa e o modelo de fornecimento da cana serão apresentados nos itens 4 e 5.

### 2.1.2. Gerenciamento de Estoque

Os estoques são elementos reguladores entre as atividades de transporte, produção e distribuição, permitindo que o sistema se adapte a variações aleatórias das funções de vendas e produção. Além da função reguladora, o gerenciamento de estoques dentro da agroindústria tem a finalidade, também, de suprir sazonalidades da safra. Muitas agroindústrias possuem, como matéria-prima, produtos que não podem ser plantados ou adquiridos em uma determinada época do ano.

Enquanto o transporte adiciona valor de "lugar" ao produto, o estoque agrega valor de "tempo". Para agregar este valor dinâmico, o estoque deve ser posicionado próximo aos centros nos quais se destinam aqueles produtos. O número normalmente grande de depósitos e os altos custos associados para manter estes produtos armazenados requerem uma administração cuidadosa. A administração de estoques envolve manter seus níveis tão baixos quanto possíveis, ao

mesmo tempo em que provê a disponibilidade necessária para a produção ou para a distribuição, dependendo do estoque (Ballou, 1995).

### 2.1.3. Fluxo de Informação

O Fluxo de Informação é a atividade que dá início às outras duas atividades, ou seja, inicializa todo o processo de fornecimento e distribuição, além de controlar todo o fluxo de material existente dentro dos almoxarifados.

Dentro da logística moderna, as informações fluem, através de sofisticados sistemas computacionais, conhecidos como EDI's (*Electronic Data Interchange*), que fazem um *link on-line* entre as partes interessadas, tornando assim, mais ágil o sistema de transporte e reduzindo a quantidade de material armazenado. Alguns dos fluxos de informação para o planejamento logístico de fornecimento de cana serão brevemente abordados no item 4.

## 3. Rede de Petri e aplicações

A rede de Petri é uma ferramenta de modelagem matemática e gráfica aplicável em estudos de sistemas de processamento de informação com características concorrentes, assíncronos, distribuídos, paralelos, não determinísticos e/ou estocásticos (Murata, 1989). Além dos significativos avanços percebidos na área da matemática teórica, esta ferramenta tem sido aplicada em diversas áreas como: informática (rede de computadores e processamento paralelo), sistema de informação (logística e processos), automação industrial e outras áreas onde a rede de informação é complexa. A grande vantagem sobre ferramentas de descrição gráfica como diagramas de bloco é o seu formalismo matemático com um número grande de métodos de análise e adaptações (variantes de rede de Petri) para utilização em variados ambientes.

Formalmente, A rede de Petri é uma quintupla  $PN = (P, T, F, W, M_0)$ , em que (Murata, 1989):

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  é um conjunto finito de lugares, representados graficamente por círculos;
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  é um conjunto finito de transições, representadas graficamente por barras;
- $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$  é um conjunto de arcos (relação de fluxo);
- $W: F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$  é a função peso;
- $M_0: P \rightarrow \{0, 1, 2, 3, \dots\}$  é a marcação inicial, representada graficamente por pontos no interior dos lugares;
- $M(p_i)$  é a marcação  $\in \mathbb{N}$  em  $p_i$ ;
- $P \cap T = \emptyset$  e  $P \cup T \neq \emptyset$ .

As regras de disparo de uma rede de Petri ocorrem da seguinte forma: uma transição é considerada habilitada para disparo se houver um número de marcas nos lugares de entrada igual ou maior que os respectivos pesos de arco. Após o disparo, os lugares de entrada “perdem” marcas na quantidade equivalente aos pesos dos respectivos arcos e são introduzidas marcas nos lugares de saída.

A utilização dos elementos de uma rede de Petri ocorre através da abstração. Os lugares e as suas respectivas marcações podem ser utilizados como indicação de estados do sistema a ser modelado. As transições podem representar as operações ou ações realizadas pelo sistema. Os arcos que saem de lugares e chegam a transições, juntamente com as marcações, indicam as condições (estados) para que uma ação seja realizada. Os arcos que partem de uma transição e alcançam lugares representam as funções que geram os estados após o disparo de uma ação.

A cada disparo de transição, a rede de Petri alcança uma nova marcação além de outras transições tornarem-se habilitadas a partir do disparo de outras transições anteriores. O conjunto de todas as marcações alcançáveis pela rede de Petri a partir da marcação inicial  $M_0$  é chamado de árvore de alcançabilidade, cuja análise resulta na verificação de todos os estados possíveis que um modelo em rede de Petri pode atingir.

## 4. Descrição das atividades produtivas e logísticas da etapa de fornecimento de cana em usina sucroalcooleira

O sistema de fornecimento de cana numa usina sucroalcooleira abrange as etapas de corte, carregamento e transporte da cana, transformando o canavial em matéria-prima entregue na usina. A descrição das opções das atividades produtivas e logísticas apresentadas neste item (Yamada, 1999) mostra as possibilidades de produção, de forma genérica.

Com o canavial desenvolvido, passa-se à fase do corte da cana, que pode ser manual ou mecanizado.

Para o corte manual normalmente efetua-se a queima prévia do canavial, com o intuito de eliminar palhas, facilitando a entrada dos cortadores na lavoura. Após a queima, a cana deve ser colhida dentro de um certo limite de tempo, que é o tempo de pós-queima, pois a partir desse ponto, a ação de microorganismos na decomposição da cana pode atingir um nível elevado e comprometer significativamente a sua qualidade. Além disso, ocorre a intensificação do processo de transformação da sacarose em outros tipos de açúcares que não são cristalizáveis, o que diminui a produtividade.

A produtividade média dos trabalhadores do corte de cana é de 10 toneladas por 10 horas de trabalho, em áreas com queima da cana, caindo para 6 toneladas em áreas sem queima, o que demonstra a utilidade da queima para este tipo de corte.

Após o corte, a cana fica depositada em fileiras sobre o solo, sendo carregada para o reboque por meio de uma carregadora, que amontoa os feixes de cana e os deposita no reboque que a acompanha ao longo do talhão, que é a área onde está sendo colhida a cana.

O corte mecanizado é efetuado normalmente sem queima prévia da cana. Neste caso, a colhedora de cana separa as palhas, corta e pica a cana, e carrega até um reboque tracionado por um trator que vai acompanhando a colhedora.

O trabalho de uma colhedora de cana corresponde ao trabalho de 50 trabalhadores aproximadamente, e pode ser realizado também no período noturno, o que justifica sua alta produtividade em relação ao corte manual.

Tanto para o corte manual quanto para o mecanizado existem alguns sistemas de carregamento da cana nos caminhões que a transportam até a usina. Alguns dos mais utilizados são:

- Trator-reboque: o reboque vazio é desengatado do caminhão e engatado num trator, que o movimentam durante o carregamento, evitando a entrada do caminhão dentro do canavial. Além do carregamento de cana nos reboques, o trator realiza a movimentação destes no campo, com operações como engate e desengate dos caminhões, mudança de talhão e manobras de posicionamento.
- Trator-transbordo: neste caso, o trator é engatado num par de caçambas com basculamento lateral, que são carregadas e transbordadas para dentro dos reboques, evitando-se as operações de engate e desengate.
- Container: o carregamento é feito em containers apoiados em carrocerias puxadas por um trator durante o carregamento, sendo, em seguida, colocados na carroceria do caminhão, com o auxílio de uma empilhadeira.

Atualmente, o Decreto Estadual Nº. 42056 de 06/08/97 que, em conjunto com o Decreto Federal Nº. 2661 que regulamenta o Código Florestal (Lei Nº. 4771 de 15/09/65), legisla, entre outros assuntos, sobre cronogramas para a eliminação gradual da queima (Macedo, 1998). Dessa forma, o índice de mecanização do corte da cana deve aumentar, o que gera a necessidade de investimento em novas colhedoras, assim como uma adequação no planejamento do sistema de fornecimento e recepção de cana.

O transporte da cana da lavoura para o setor industrial de uma usina se dá por meio de caminhões. Após o carregamento, a cana deve ser transportada até a usina, onde deve ser descarregada, liberando o caminhão para retornar à lavoura.

Alguns caminhões são considerados especiais, os chamados veículos combinados longos, que necessitam de uma Autorização Especial de Tráfego (AET) para poder transitar nas rodovias (Widmer, 1991). Entre outras, a AET especifica os horários e locais com permissão para o tráfego desses caminhões especiais, baseado no volume de tráfego da região em questão. A legislação rodoviária exige também que existam pontos pré-determinados para a entrada e a saída desses caminhões nas rodovias em que possuam permissão para trafegar.

As configurações mais comuns são:

- Caminhão simples ou trucado, com capacidade de carga de 10 a 20 toneladas.
- Caminhão trucado com um reboque (“Romeu e Julieta”), com capacidade de carga de 30 a 35 toneladas.
- Caminhão trucado com dois reboques (Treminhão), com capacidade de carga de 45 a 50 toneladas.
- Cavalos mecânicos com dois reboques (Rodotrem), com capacidade de carga de 50 a 60 toneladas.

A capacidade de carga está ligada à densidade do feixe de cana transportado. Esta, por sua vez, depende de alguns fatores, tais como: variedade da cana, arranjo do feixe (cana ordenada em fileiras ou aleatoriamente), forma de corte (cana inteira ou picada), altura do feixe, entre outros.

As configurações descritas atendem tanto o transporte de cana inteira quanto o de cana picada. Os caminhões com grande capacidade de carga são os mais utilizados, pois sua utilização tem-se mostrado mais viável economicamente, sendo os caminhões simples ou trucados utilizados para distâncias curtas ou em algumas situações emergenciais, tais como insuficiência de espaço para manobra e condições desfavoráveis das estradas.

Cada viagem de um caminhão consome um considerável tempo, especialmente quando estão carregados. Desse modo, deve-se analisar quais distâncias são viáveis para se transportar cana, pois quanto maior a distância do local de carregamento de cana em relação à usina, maior o tempo e energia consumidos para a chegada da cana, além de aumentar o risco de falha no abastecimento, que pode ocasionar a interrupção do processo industrial. Através dessa análise, chega-se ao raio econômico, que se traduz na maior distância economicamente viável para se efetuar o transporte de cana até a unidade produtora. Algumas soluções podem ser implementadas para a melhoria desse índice, tais como: a troca de áreas distantes por áreas mais próximas à usina, e o investimento no aumento da produtividade das áreas mais próximas, em substituição à busca de cana em áreas distantes.

Ao entrar na usina, o caminhão passa pela balança para ser pesado com carga. Após a descarga, é pesado novamente, agora vazio. A diferença entre as duas pesagens é o peso total transportado. Após a 1ª. pesagem (carregado) o caminhão segue para o Laboratório de PCTS (Pagamento de Cana por Teor de Sacarose) para a amostragem, que consiste na coleta de amostras em 3 pontos pré-determinados na lateral de cada reboque para determinar-se o teor de sacarose da carga. É com base nesse parâmetro que os fornecedores de cana são pagos.

## 5. Modelo e análise do sistema de fornecimento de cana

O modelo apresentado a seguir foi desenvolvido a partir da descrição realizada no item anterior, particularizando-se para o sistema de fornecimento da usina Santa Adélia, do município de Jaboticabal, SP, que forneceu dados práticos sobre o seu sistema.

A modelagem e a análise das propriedades dos modelos foram validadas no editor “Petri Net Tools” (Nakamura et al., 1997), desenvolvido pelo Laboratório de Simulação de Sistemas de Eventos Discretos, da EESC –USP.

O sistema de fornecimento de cana utilizado está representado na Fig. (2).

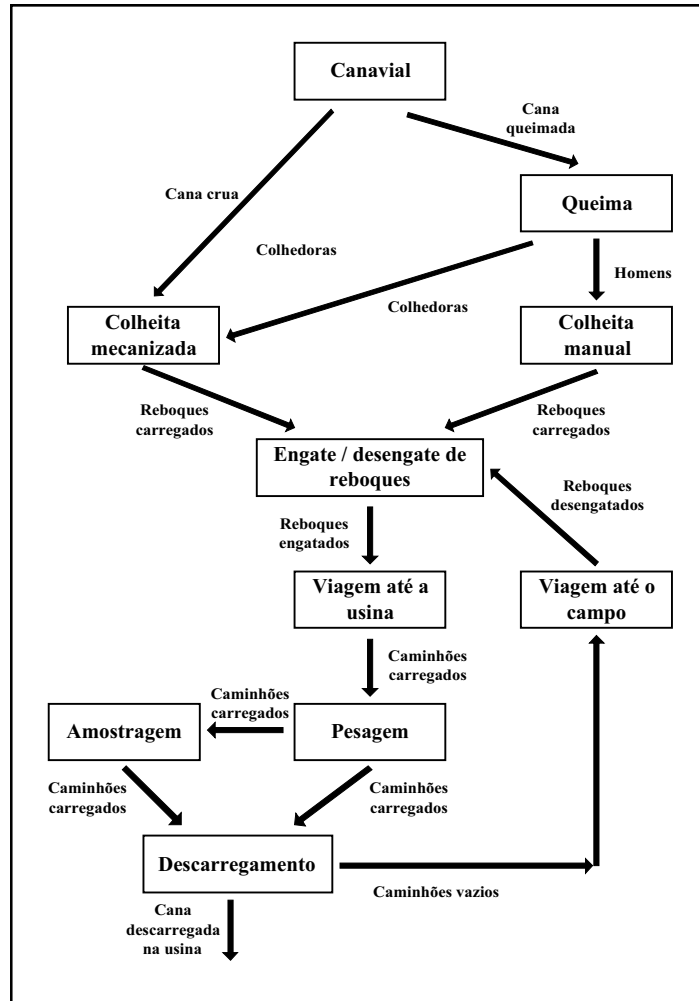


Figura 2. Diagrama do sistema de fornecimento de cana em usina sucroalcooleira.

O corte manual é utilizado em 70% da cana moída, com queima prévia da cana.

Atualmente, a usina passa por um período de transição, com parte do corte mecanizado sendo realizado em cana com queima prévia, pois algumas colhedoras são de uma geração projetada para a colheita de cana queimada. Se utilizadas para a colheita de cana crua, apresentam deficiência no rendimento e um índice preocupante de quebra de peças. Essa transição afeta principalmente o tempo de corte, em função da grande diferença de produção entre o corte manual e o mecanizado.

Assim, os veículos utilizados no corte da cana são: carregadora de cana (cana queimada) e colhedora de cana (cana queimada e crua). As opções de corte são: corte manual de cana queimada, corte mecanizado de cana queimada e corte mecanizado de cana crua.

As opções de carregamento da cana no caminhão são: trator-reboque e trator-transbordo.

Essas alternativas geram 6 combinações possíveis de corte e carregamento que a cana pode seguir para alcançar o estado final desejado.

São utilizados 2 tipos de caminhões para o transporte de cana: “Romeu e Julieta” e treminhão. Os treminhões têm permissão de trafegar das 6 h às 18 h e das 23 h às 4 h. Fora destes períodos, devem trafegar somente com 2 reboques.

As máquinas, equipamentos e veículos do setor agrícola passam por manutenção: preventiva, feita pela usina, baseada na vida útil das peças que possuem movimento no seu funcionamento; e corretiva, quando da quebra de peças estacionárias, quebra por mau uso, entre outros.

São adotadas algumas medidas de segurança contra eventuais quebras de equipamentos que possam comprometer o abastecimento de cana para a indústria, entre elas:

- Aproveitamento das horas de parada de transporte: o transporte ocorre em 20 das 24 horas do dia, sendo as 4 horas de folga utilizadas para situações emergenciais;
- Equipamentos em manutenção: em média, são previstos que 10% dos equipamentos estejam em manutenção;
- Troca de turno em trânsito: motoristas e operadores de máquinas são encaminhados diretamente ao local de trabalho, evitando a perda de tempo em retornar o veículo ou equipamento à indústria somente para troca do motorista ou operador.

Chegando à usina, o caminhão é pesado. Após a 1ª. pesagem (carregado) o caminhão segue uma das alternativas: vai para o Laboratório de PCTS ou segue diretamente para o pátio de cana para ser descarregado.

Além do controle do peso das cargas dos caminhões, o setor de pesagem é responsável pelo controle e reprogramação das viagens. Cerca de 70% dos caminhões passam pelo Laboratório de PCTS. A amostragem não é realizada em todos os caminhões pelo fato de que a maior parte da cana é cultivada pela própria usina, seja em áreas próprias ou arrendadas. A cana dos fornecedores é totalmente analisada.

O modelo em rede de Petri apresentado na Fig. (3) mostra as alternativas descritas.

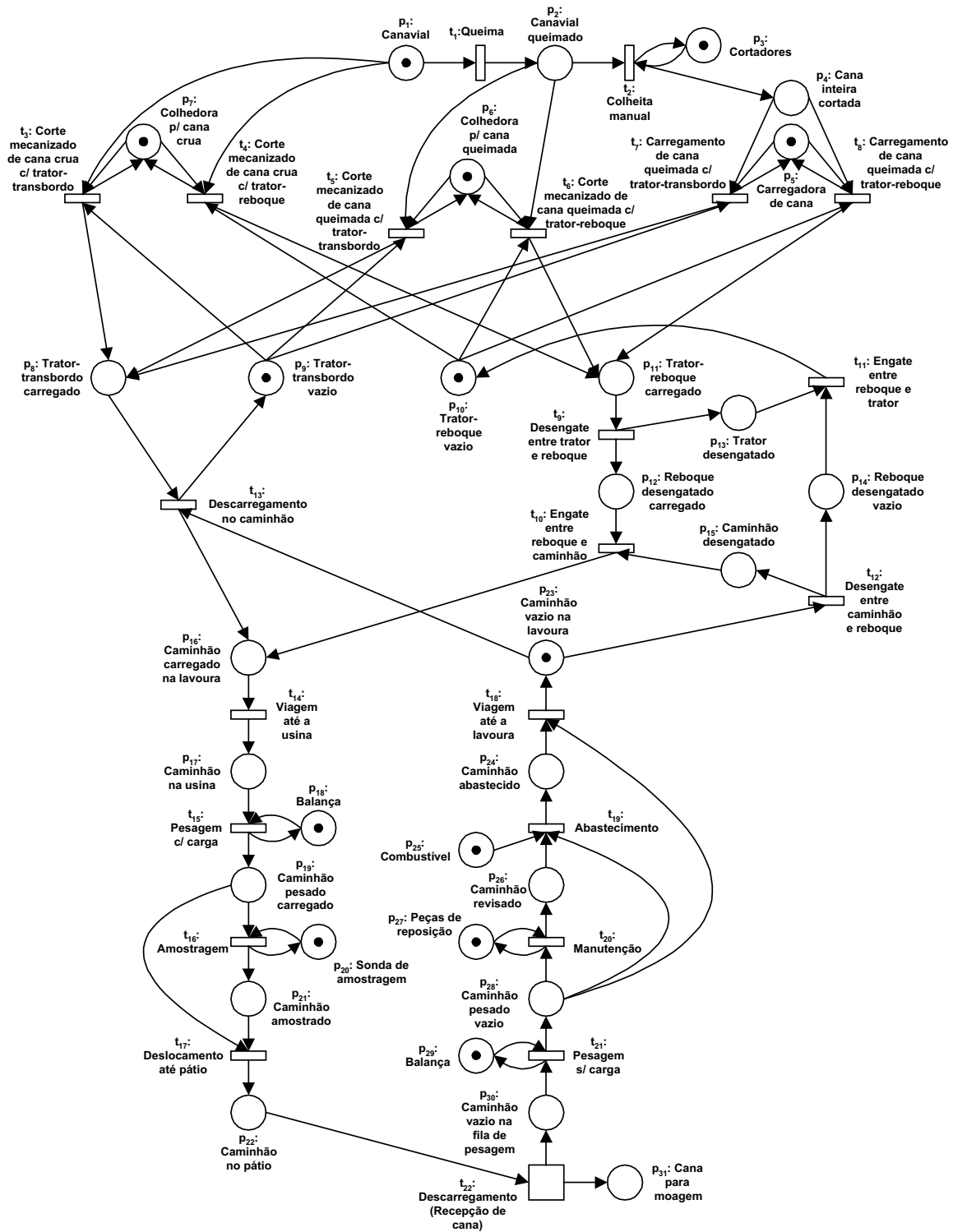


Figura 3. Modelo em rede de Petri do sistema de fornecimento de cana.

As decisões sobre o tipo de corte são modeladas pelos lugares:

- $p_1$  (Canavial): habilita a transição  $t_1$  (Queima), que modela a opção de queima prévia da cana para o corte, e as transições  $t_3$  (Corte mecanizado de cana crua c/ trator-transbordo) e  $t_4$  (Corte mecanizado de cana crua c/ trator-reboque), que representam as opções de corte sem queima.

- $p_2$  (Canavial queimado): habilita a transição  $t_2$  (Corte manual), que modela a opção de corte manual com queima, e as transições  $t_5$  (Corte mecanizado de cana queimada c/ trator-transbordo) e  $t_6$  (Corte mecanizado de cana queimada c/ trator-reboque), que representam as opções de corte mecanizado com queima.

As opções de carregamento são modeladas pelos lugares  $p_9$  (Trator-transbordo vazio) e  $p_{10}$  (Trator-reboque vazio), ambos disponíveis para todos os tipos de corte.

A simulação do modelo apresentou os seguintes resultados:

- Em todas as opções de corte com carregamento com trator-transbordo chegou-se a um único caminho para cada opção, mostrando a inexistência de atividades paralelas, o que era esperado, pois este tipo de carregamento não necessita de atividades preliminares ao carregamento em si.
- Para as opções de corte com trator-reboque a transição (atividade)  $t_{12}$  (Desengate entre caminhão e reboque) pode ser disparada paralelamente às transições anteriores à transição  $t_9$  (Desengate entre trator e reboque). Além disso, existe o paralelismo de disparo entre as transições  $t_{11}$  (Engate entre reboque e trator) e  $t_{10}$  (Engate entre reboque e caminhão). Com estas alternativas, o corte mecanizado de cana crua apresentou 6 caminhos possíveis; o corte mecanizado de cana queimada, 8; e o corte manual de cana queimada, 10.

O funcionamento básico do sistema de transporte está modelado a partir do lugar  $p_{16}$  (Caminhão carregado na lavoura).

Os lugares  $p_{19}$  (Caminhão pesado carregado) e  $p_{21}$  (Caminhão amostrado), e as transições  $t_{16}$  (Amostragem) e  $t_{17}$  (Deslocamento até pátio) mostram a opção que o caminhão carregado tem de ser amostrado ou não. Quando vazio, o caminhão tem as opções de retornar diretamente para a lavoura para um novo carregamento, abastecer antes de retornar ou fazer uma manutenção e abastecer antes de retornar. Essas alternativas são modeladas pelos lugares  $p_{28}$  (Caminhão pesado vazio),  $p_{26}$  (Caminhão revisado) e  $p_{24}$  (Caminhão abastecido), e as transições  $t_{20}$  (Manutenção),  $t_{19}$  (Abastecimento) e  $t_{18}$  (Viagem até lavoura).

A simulação desta parte do modelo apresenta 6 caminhos possíveis, que são as combinações das opções discutidas. Não existem atividades paralelas.

O descarregamento foi modelado como um bloco ( $t_{22}$ ), que resume o modelo da Recepção de cana, onde a entrada é o lugar  $p_{22}$  (Caminhão no pátio) e a saída é o lugar  $p_{31}$  (Caminhão vazio na fila de pesagem).

Outra característica apresentada neste modelo é o compartilhamento dos recursos:

- Carregadora de cana ( $p_5$ ), que deve estar disponível para que ocorra o disparo das transições  $t_7$  ou  $t_8$  (Carregamento de cana queimada com trator-transbordo ou Carregamento de cana queimada com trator-reboque).
- Colhedora para cana queimada ( $p_6$ ), que deve estar disponível para que ocorra o disparo das transições  $t_5$  ou  $t_6$  (Corte mecanizado de cana queimada com trator-transbordo ou Corte mecanizado de cana queimada com trator-reboque).
- Colhedora para cana crua ( $p_7$ ), que deve estar disponível para que ocorra o disparo das transições  $t_3$  ou  $t_4$  (Corte mecanizado de cana crua com trator-transbordo ou Corte mecanizado de cana crua com trator-reboque).
- Trator-transbordo vazio ( $p_9$ ), que deve estar disponível para que ocorra o disparo das transições  $t_3$ ,  $t_5$  ou  $t_7$  (Corte mecanizado de cana crua com trator-transbordo, Corte mecanizado de cana queimada com trator-transbordo ou Carregamento de cana queimada com trator-transbordo).
- Trator-reboque vazio ( $p_{10}$ ), que deve estar disponível para que ocorra o disparo das transições  $t_4$ ,  $t_6$  ou  $t_8$  (Corte mecanizado de cana crua com trator-reboque, Corte mecanizado de cana queimada com trator-reboque ou Carregamento de cana queimada com trator-reboque).
- Caminhão vazio na lavoura ( $p_{23}$ ), que deve estar disponível para que ocorra o disparo das transições  $t_{12}$  ou  $t_{13}$  (Desengate entre caminhão e reboque ou Descarregamento no caminhão).

A necessidade do sincronismo de atividades é outro aspecto percebido no modelo. Os disparos das transições  $t_9$  e  $t_{12}$  (Desengate entre trator e reboque e Desengate entre caminhão e reboque) devem ser sincronizados para que sejam habilitadas convenientemente as transições  $t_{10}$  e  $t_{11}$  (Engate entre reboque e caminhão e Engate entre reboque e trator), permitindo a diminuição de tempo perdido durante estas operações.

O modelo identifica claramente, através de lugares, as principais variáveis que influenciam a etapa.

O corte manual é caracterizado pelas variáveis:

- Cortadores ( $p_3$ ), onde os principais atributos são: quantidade, produtividade e período de trabalho, que definem a demanda deste fator cuja natureza é estocástica pelas características peculiares de cada cortador; e o custo financeiro por cortador, que define o aspecto econômico, podendo ser determinístico.
- Carregadora de cana ( $p_5$ ), cujos atributos principais são: quantidade, que é claramente determinístico; tempo de carregamento, frequência e tempo de manutenção e/ou abastecimento, que são operacionais e de natureza estocástica em função das diferentes condições climáticas e de trabalho ao longo do talhão e do período do dia; custos econômicos de manutenção e abastecimento, de natureza estocástica pela dependência de sua ocorrência aleatória.

Para o corte mecanizado as variáveis principais são as colhedoras para cana queimada ( $p_6$ ) e para cana crua ( $p_7$ ), cujos atributos principais são os mesmos descritos para a carregadora.

O sistema de carregamento com trator-transbordo tem, como fator principal, o trator-transbordo, representado pelos lugares  $p_8$  e  $p_9$ , cujos atributos operacionais são: quantidade, de natureza determinística; tempo de deslocamento até o caminhão, tempo de transbordamento, frequência e tempo de manutenção, todos de natureza estocástica, pois dependem de condições climáticas e de trabalho que variam ao longo do dia.



Para o sistema de carregamento com trator-reboque as principais variáveis são:

- Trator-reboque, representado pelos lugares  $p_{10}$  e  $p_{11}$ , cujos atributos principais são: quantidade; os tempos de engate e desengate entre o trator e o reboque; os tempos de deslocamento do trator para o local de engate com o reboque vazio, para o local de carregamento e para o local de desengate do reboque cheio; o tempo de carregamento do reboque, que depende do tipo de corte; a frequência e o tempo de manutenção e/ou abastecimento; o custo de manutenção do trator. Todos, exceto o primeiro, têm caráter estocástico em função de dependerem de condições climáticas e de operação que variam ao longo do talhão e do período do dia.
- Caminhão, representado pelos lugares  $p_{16}$  e  $p_{23}$ , onde os principais atributos são: quantidade, frequência de chegada ao talhão; os tempos de engate e desengate entre o caminhão e o reboque; a frequência e o tempo de manutenção e/ou abastecimento. Todos, exceto o primeiro, são de caráter estocástico em função de dependerem de condições climáticas e de operação que variam ao longo do talhão e do período do dia.

Cada setor onde está havendo corte e carregamento de cana é chamado de frente de corte. Sua caracterização é um importante componente para a definição da logística de corte, carregamento e transporte a ser adotada, sendo seus atributos principais: quantidade e a seqüência de abertura das frentes, ambos de natureza determinística.

Na etapa de transporte, a principal variável a ser caracterizada é também o caminhão (lugares  $p_{16}$  e  $p_{23}$ ), que tem como atributos principais, além dos citados anteriormente: carga transportada por viagem, que depende do tipo de caminhão e dos períodos de restrição, para o caso de treminhões; tempo de carregamento total do caminhão, que depende do tipo de caminhão e do sistema de carregamento; tempo de deslocamento carregado até a usina; o tempo de deslocamento vazio até a frente de corte; o custo de manutenção. Todos têm caráter estocástico, em função da dependência de fatores operacionais que variam ao longo do tempo.

Outros elementos importantes são: a balança ( $p_{18}$ ), com atributos estocásticos como o tempo de pesagem do caminhão carregado e vazio e a frequência e o tempo de manutenção; e a sonda de amostragem ( $p_{20}$ ), cujos atributos principais são o intervalo de amostragem e a frequência de caminhões amostrados, de natureza estocástica também.

## 6. Conclusões

Profundas e rápidas transformações têm afetado a economia mundial, especialmente as organizações industriais. Novos investimentos em pesquisa e desenvolvimento de produto, uma maior atenção às necessidades dos clientes e a relação de parceria entre as empresas pertencentes a uma mesma cadeia são algumas das grandes mudanças estratégicas decorrentes de tais transformações.

Dentro deste novo cenário a logística deixou de ter um enfoque secundário e ganhou prioridade estratégica e o melhor funcionamento do sistema logístico passou a significar maior vantagem competitiva. Com o avanço da informática e das telecomunicações, tornou-se possível o incremento das atividades de logística. As ferramentas de simulação se tornaram grandes aliadas no auxílio à tomada de decisão para um sistema logístico, permitindo a avaliação de opções de planejamento sem a efetiva intervenção no sistema real.

Neste aspecto, o modelo apresentado do sistema de fornecimento de cana permite uma boa visualização e acompanhamento da dinâmica e dos interrelacionamentos das atividades produtivas e logísticas das etapas de corte, carregamento e transporte, apresentando uma clara descrição da seqüência de atividades, bem como a identificação do compartilhamento de recursos e do paralelismo e sincronismo de atividades.

A utilização isolada da ferramenta de rede de Petri, porém, não conduz diretamente à formulação de modelos para simulação em softwares comerciais, necessitando-se de uma análise adicional das variáveis envolvidas.

A agroindústria, em particular a sucroalcooleira, caracteriza-se, entre outros aspectos, pela sazonalidade no período de produção. Assim, o faturamento deste período responde por todos os custos anuais, inclusive os do período em que não se tem produção, inviabilizando a tentativa de experiências muito inovadoras durante o período produtivo. Neste sentido, a simulação apresenta-se como uma promissora alternativa como complemento ao planejamento logístico, para que a agroindústria sucroalcooleira possa acompanhar a tendência de aumento na qualidade e produtividade, visando a manutenção e expansão de seus mercados.

## 7. Agradecimentos

À Usina Santa Adélia S. A., do município de Jaboticabal, SP, pelo fornecimento dos dados necessários para a descrição e modelagem apresentadas.

Ao Laboratório de Simulação de Sistemas de Eventos Discretos, do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, pelo desenvolvimento do editor “Petri Net Tools”, que possibilitou a validação do modelo.

À agência de fomento FAPESP, pelo apoio e financiamento do projeto de pesquisa.

## 8. Referências

- Alves, M. R. P. A., 1997, “Logística agroindustrial”, In: Batalha, M. O. (coord.), Gestão agroindustrial, GEPAI- Grupo de Estudos e Pesquisas Agroindustriais, São Paulo, Atlas, Vol. 1.
- Ballou, R. H., 1995, “Basic logistic management”, Prentice Hall, USA.

- Daskin, M. S., 1985, "Logistics: an overview of the state of the art and perspective on futures research", Transportation Research (Part A), sep-nov.
- Jornalcana, 2001, "Agroindústria canavieira no Brasil: um mercado de 12,7 bilhões", <http://www.jornalcana.com.br/conteudo/dadoseestatisticas.htm>, 25 mar.
- Lopes, M. B., 1995, "Simulação de um sistema de carregamento e transporte de cana-de-açúcar", 143 pp., Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- Macedo, I. de C., 1998, "Legislação ambiental e inovações tecnológicas na agroindústria canavieira", <http://franco.eco.unicamp.br:80/workshop/texto5.html>, 20 mar.
- Milan, M., 1992, "Improving operational management of harvest, transport and mechanization for sugar cane in Brazil", Silsoe, 226 pp., Thesis (Ph. D.), Cranfield Institute of Technology.
- Miranda Jr., J. L., 1998, "Logística empresarial: enfoque de apoio ao processo produtivo", V Congresso Norte Nordeste de Engenharia Mecânica / CEM-NNE, Fortaleza, CE.
- Murata, T., 1989, "Petri nets: properties, analysis and applications", Proceedings of the IEEE, Vol. 77, No. 3, pp. 541-580.
- Nakamura, E. K.; Ferreira, M. E.; Inamasu, R. Y.; Kato, E. R. R. e Porto, A. J. V., 1997, "Surge o Petri Net Tools, um editor de rede de Petri para modelagem de FMS", Máquinas e Metais, ano XXXII, No. 378, pp. 101-110.
- Portugal, A. D., 1998, "A importância estratégica da prospecção tecnológica para o SNPA", In: Castro, A. M. G. de et al., Cadeias produtivas e sistemas naturais – prospecção tecnológica, Brasília, EMBRAPA-SPI / EMBRAPA-DSP, Cap. 1, pp. 09-20.
- Robenson, J. F. and Copacino, W. C., 1994, "The logistic handbook", The Free Press, New York, USA.
- Widmer, J. L., 1991, "Operações de veículos combinados longos (VCL's) no Brasil – implicações sobre a infraestrutura", In: VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA, Anais, São Paulo, SP, nov.
- Yamada, M. C., 1999, "Modelagem das cadeias de atividades produtivas da indústria sucroalcooleira visando a aplicação em estudos de simulação", São Carlos, 164 pp., Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

## **ANALYSIS AND MODELING OF THE PRODUCTIVE AND LOGISTICS ACTIVITIES IN AGRIBUSINESS SEEKING SIMULATION STUDIES: AN APPLICATION IN THE SECTION OF CANE SUPPLY IN SUGAR CANE INDUSTRY**

### **Mamoru Carlos Yamada**

Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Av. do Trabalhador São-carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP.  
mcyamada@sc.usp.br

### **José Luiz Miranda Jr.**

Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Av. do Trabalhador São-carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP.  
joseluz@sc.usp.br

### **Ricardo Yassushi Inamasu**

Embrapa Instrumentação Agropecuária (CNPDIA). Rua XV de novembro, 1452, CEP 13560-970, São Carlos, SP.  
ricardo@cnpdia.embrapa.br

### **Arthur José Vieira Porto**

Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Av. do Trabalhador São-carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP.  
ajvporto@sc.usp.br

**Abstract.** *The increase of the complexity of the agribusiness processes has been generating a need for the research of new more appropriate methodological tools for their study. The present work aimed at to specify study procedures and standard models for the aid in the development of simulation studies of the productive and logistics activities of the sugar and alcohol section. As example it was implemented a model for stages of cutting, loading and transport of the cane, that was validated with Petri net tool, through the reachability analysis, where all the possible sequences of these activities are simulated. With the procedures specification and standard models, allies to the use of tools based on Petri net and of commercial simulation softwares, as for example Arena, Promodel, Automod, etc, the creation of guidelines is aimed at for the data optimized treatment and for the formulation and analysis of the cane supply planning options that result in better system performance, combining the increase of the productivity and quality, and the decrease of costs and times.*

**Keywords:** modeling, logistics, agribusiness, sugar cane, Petri net.

## DATA WAREHOUSE APLICADO AS INFORMAÇÕES DE CHÃO DE FÁBRICA PARA OTIMIZAR A GESTÃO DA DEMANDA

Emerson Bond<sup>1</sup>, Luiz C. R. Carpinetti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>bond@sc.usp.br, <sup>2</sup>carpinet@prod.eesc.sc.usp.br

Universidade de São Paulo. EESC. Eng. Produção. Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Centro. São Carlos – SP – Brasil – 13566-590

Solange O. Rezende, Walter A. Nagai, Robson B. T. de Oliveira

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação  
Universidade de São Paulo – São Carlos  
Avenida Trabalhador São-Carlense, 400 – Centro  
Caixa Postal 668 – Telefone: 55-16-273-9671, Fax: 55-16-273-9751  
{solange, wnagai, robson}@icmc.sc.usp.br

**Resumo:** Em um ambiente competitivo, as empresas necessitam de continuamente estabelecer novos objetivos para reforçar sua visão e desenvolver estratégias que as guiarão para um melhor desempenho. Para gerenciar seu desempenho e fatores críticos de sucesso, muitas empresas atualmente vêm baseando suas decisões em sistemas de medição de desempenho para melhorar sua eficiência (fazer a coisa certa), e eficácia (fazer certo as coisas). Como suporte à tecnologia da informação e para os sistemas de medição de desempenho, o Data Warehouse oferece os recursos necessários para um sistema de suporte à decisão, fornecendo um histórico integrado de informações desde a alta gerência até o mais baixo nível de administração. Esta tecnologia também pode ser aplicada para gerenciar uma imensa quantidade de dados de chão de fábrica, fornecendo relatórios importantes. Esta solução é proposta como parte de um projeto chamado IPROS (Integrated Production And Supply Chain Management) e desenvolvida por um grupo de pesquisa do NUMA (Núcleo de Manufatura Avançada) da Universidade de São Paulo em São Carlos. Um dos objetivos deste projeto é desenvolver um cockpit de produção usando os conceitos e tecnologias propostas neste trabalho para suportar o planejamento da produção.

Palavras chave: Data Warehouse, Medição de Desempenho, Gerenciamento da Manufatura.

### 1. Introdução

As empresas estão em meio a um processo de transformação que começaram a trilhar no século passado. Durante a era industrial (aproximadamente 1850 até 1970), o sucesso das empresas era determinado pela maneira como se aproveitava dos benefícios das economias de escala e de escopo. A tecnologia era importante porém as empresas bem sucedidas eram sempre aquelas que incorporavam as novas tecnologias aos ativos que permitiam a produção em massa eficiente de produtos padronizados.

Entretanto, os avanços das últimas duas décadas, tornaram obsoletas muitas das premissas fundamentais da concorrência industrial. As empresas não conseguem mais obter vantagens competitivas sustentáveis apenas com a rápida alocação de novas tecnologias a ativos físicos, e com a gestão eficaz dos ativos e passivos financeiros.

Existe portanto a criação de novas oportunidades e desafios para as empresas ao longo do mundo. Para atingir e manter uma posição competitiva neste mercado, as corporações devem manter procedimentos de alta qualidade de produtos, flexibilidade de mix e volume, a custos e tempos de produção baixos além de orientação ao cliente (Noble, 1997), Rolstad, A. (1998, p. 989). Para Atkinson *et al.* (1997), o alinhamento da função manufatura com prioridades estratégicas se torna essencial para competitividade neste mercado mundial, e o melhoramento contínuo da manufatura tem um importante papel na busca de competitividade a longo prazo.

Consoante a esta visão, Carpinetti (2000) afirma que para atingir a melhoria do desempenho organizacional, as empresas devem acompanhar os movimentos e avanços tecnológicos da produção. Desta maneira, operações estratégicas como Administração da Qualidade Total (TQM), Reengenharia dos Processos de Negócios (BPR), *Just-in-time* (JIT), *Benchmarking*, Medição de Desempenho entre outras são comumente utilizadas.

Martins (1999) considera que o sistema de medição de desempenho (SMD) é um dos elementos centrais de gestão, com a percepção de que o desempenho é em parte resultado das decisões tomadas e, nesse sentido, a qualidade da decisão, em boa parte, é limitada pela informação disponível em termos de qualidade e quantidade. O benefício mais importante das medidas de desempenho adequadas é o entendimento de como o sistema de produção funciona, as forças que o dirigem, além de mostrar como as ações e operações estratégicas se alinham com o sistema de gestão. Isso enriquece o processo de tomada de decisão.

Portanto, com base na necessidade de alinhamento de medidas de desempenho, foram delineadas neste artigo a obtenção de indicadores de desempenho com a utilização de um Data Warehouse para gerenciar os dados do chão de fábrica, podendo assim, obter relatórios operacionais a respeito de operações e situação na fábrica.

O artigo encontra-se organizado da seguinte forma:

Na Seção 2 é feita uma revisão bibliográfica sobre a importância da medição de desempenho

Na Seção 3 é descrito o projeto IPROS.

Na Seção 4 é feita a descrição do problema enfrentado e as ferramentas utilizadas.

Na Seção 5 é descrita uma aplicação de Data Warehouse para realizar a medição de desempenho da produção do chão de fábrica no IPROS.

Na Seção 6 são feitas as considerações finais.

## 2. Medição de Desempenho

Os Sistemas de Medição de Desempenho (SMD) ajudam os administradores em acompanhar a implementação da estratégia pela comparação dos resultados correntes. Um SMD tipicamente reúne métodos para alinhar e agrupar objetivos com relatórios periódicos que indicam o progresso destes objetivos. As metas para estes objetivos podem ser de longo ou curto prazo. Desta maneira, um SMD assume um papel crítico em ajudar os administradores em se adaptar ou aprender sobre sua real posição frente ao mercado.

Devido então a grande importância dos SMDs, as métricas podem ser consideradas como o centro do entendimento de uma organização. Para tal, obter os dados necessários passa pela resposta a uma questão fundamental. Por que medir? Entendendo, o questionamento das razões de uma organização precisar mensurar seu desempenho é um pré-requisito importante ao processo de medição de desempenho. Os administradores que possuem o entendimento dos objetivos de uma coleta de dados serão capazes de decidirem mais adequadamente o que medir e como a informação será utilizada.

O uso de medidas de desempenho, como elemento estratégico, é relativamente recente. Se, por um lado, as empresas têm estado medindo há muito tempo qualidade, eficiência, produtividade, tempo de ciclo, etc., de seus processos, produtos e serviços, por outro lado, as novas abordagens para a medição de desempenho procuram determinar o que deve ser realmente medido, a fim de entender e melhorar o trabalho no dia-a-dia.

Segundo Carpinetti (2000), é possível de se identifica na literatura que vários autores sugerem que a década de 90, marcou um intenso desenvolvimento do assunto medição de desempenho, que Neely (1999) chamou de a Revolução da Medição. Algumas razões podem ser destacadas como: a mudança da natureza do trabalho, o aumento da competição, iniciativas de melhorias específicas, premiações nacionais e internacionais, mudança na função organizacional, mudança na demanda e o poder da tecnologia da informação.

Tradicionalmente, a medição de desempenho era principalmente voltada para a apuração de resultados financeiros e contabilidade de custos. A partir da década de 80, vários autores começaram a criticar a contabilidade de custos tradicional e o fato de a medição de desempenho se restringir apenas a medidas financeiras, não incluindo medidas de desempenho não financeiras.

Kaplan (1990) apresenta ainda alguns estudos de casos em que se pode demonstrar que o sistema de custo padrão não consegue detectar reduções de custos decorrentes de melhorias das operações de produção. Para ele, os sistemas de custo padrão são incapazes de relacionar as despesas de quase todos os recursos de fábrica às demandas desses mesmos recursos feitas pelos produtos individuais. Daí o desenvolvimento de um sistema de custeio baseado em atividade (Kaplan & Cooper, 1998).

Pode-se então definir um SMD como um conjunto integrado de dimensões de desempenho, desdobradas em indicadores individuais, que visam prover informações sobre desempenho para determinados fins. Para Meyes (1994), Neely *et al.* (1996), Eccles & Pyburn (1992), e Bititci, (1995), um SMD deve conter dados para monitorar o passado e planejar o futuro. Os indicadores de desempenho devem ser integrados dentro de um sistema único, onde se deve considerar informações dos vários departamentos, ou processos de negócios, para fornecer o nível necessário de dados em termos de acuracidade e confiabilidade. Os administradores, ao configurá-lo, devem resolver questões como o desenvolvimento de metodologias para a coleta das medidas, assim como a sua periodicidade e destino. Devem prover a solução para conflitos entre os vários indicadores, a inclusão do reflexo da cultura organizacional e o apropriado equilíbrio do sistema com o ambiente que o circunda, levando em consideração as medidas internas (da própria organização) e externas (concorrentes e cadeia de suprimentos). Ao longo do tempo, o desenho de qualquer sistema de indicadores de desempenho deve refletir as operações básicas do suporte organizacional, sempre lembrando da importante relação intrínseca entre indicadores de desempenho e estratégia.

Portanto, o objetivo geral de um SMD, é conduzir a empresa à melhoria de suas atividades, pelo fornecimento de medidas alinhadas com o ambiente atual da companhia e os objetivos estratégicos, de forma a permitir o monitoramento do progresso no sentido de atingir esses objetivos. Essas medidas podem ser vistas como a essência da melhoria do desempenho.

O'mara *et al.* (1998), acrescenta ainda que um SMD não apenas fornece dados necessários para a gerencia controlar as várias atividades da empresa, mas também influenciam as decisões e o comportamento organizacional. Já Stainer & Nixon (1997), afirmam que um sistema de medição focado em metas, pode ser um instrumento valioso para propor mudanças na administração de processos.

Bititci *et al.* (1997), afirma que a grande maioria dos pesquisadores atualmente acredita na existência da necessidade de formulação de sistemas de medição de desempenho que contemplem não apenas os indicadores financeiros por serem fundados em técnicas e métodos tradicionais, elas falham em apoiar os objetivos estratégicos das empresas e não promovem melhoramento contínuo.

De certa maneira, os trabalhos destacados anteriormente apresentam a visão clara de que o não uso de um SMD deixa as empresas aquém dos ajustes ou mudanças necessárias no ambiente competitivo atual. Conseqüentemente, estes autores estão engajados em pesquisas dinâmicas para determinar quais fatores influenciam a evolução dos SMD usados pelas organizações identificando os fatores que tendem a encorajar ou inibir gerentes a introduzirem novas métricas ou eliminar aquelas obsoletas. O principal objetivo destas pesquisas é identificar mecanismos no qual o negócio pode gerenciar a evolução e subseqüentemente mudar seus SMD.

Em uma compilação realizada por Neely *et al.* (1997), vários autores convergem suas visões nas seguintes características que as novas medidas de desempenho devam possuir:

- \* ser derivadas da estratégia;
- \* ser simples de se entender e claramente definidas;
- \* garantir *feedback* rápido e acurado;
- \* baseadas em quantidades que possam ser influenciadas ou controladas pelo usuário dos dados, ou em cooperação com outros;
- \* refletir os processos de negócio;
- \* se relacionar a metas específicas;
- \* ser parte de um processo gerencial cíclico;
- \* ter um impacto visual;
- \* focar na melhoria;
- \* explicitamente baseada em uma fórmula e fonte de dados;
- \* empregar taxas ao invés de números absolutos;
- \* baseadas em tendências ao invés de momentos isolados;
- \* usar dados coletados automaticamente sempre que possível;

Desta maneira, Bititci (1995), afirma que pesquisadores como Neely *et al.* (1995), Norton & Kaplan (1992), Eccles & Pyburn. (1992), Meyes. (1994) e O'mara, *et al.* (1998), conduziram seus estudos na percepção da ligação entre indicadores de desempenho e planos estratégicos ou fatores de sucessos críticos dos negócios. Em suma, a necessidade de um conjunto de indicadores integrados que suportem a estratégia global da empresa desde os fornecedores, passando pelos processos internos até aos clientes, está efetivamente estabelecida.

A seguir é descrito o projeto IPROS onde indicadores de desempenho foram criados como suporte a estratégia da manufatura.

### 3. O Projeto IPROS

Este é um projeto do NUMA (Núcleo de Manufatura Avançada) localizado na USP São Carlos. Este núcleo agrega pessoas de diferentes áreas de conhecimento, permitindo o desenvolvimento de trabalhos interdisciplinares, e também pesquisadores da UFSCar, UNICAMP, UNIMEP e da Universidade de Aachen (Alemanha).

No final de 1999, o NUMA, apresentou no SAPTM - *University Alliance Grant Awards Program* - o projeto intitulado IPROS (*Integrated Production And Supply Chain Management*). Concorrendo com mais de 50 universidades dos Estados Unidos, Canadá e Países da América Latina, o projeto, coordenado pelo Prof. Carlos F. Bremer, foi o vencedor na categoria "Pesquisa e Aplicação". Esse projeto é usado para demonstração e fins educacionais criando um ambiente sinérgico, onde é possível ilustrar e avaliar os diversos projetos de pesquisa, que estão sendo realizados pelos grupos participantes do projeto.

Desta maneira, a proposta do IPROS é o desenvolvimento de um cenário onde uma cadeia de produção usará as soluções de um sistema informatizado, para a gestão da cadeia de suprimentos. O cenário é composto de uma fábrica de eixos composta de um torno, centro de usinagem e retífica. Sua matéria prima básica são barras em aço, as quais são adquiridas de uma siderúrgica. Estas barras, tão logo são compradas, vão diretamente para um parceiro que as corta e as trata termicamente. Esta fábrica possui um modo de produção *job shop*. Seus clientes são divididos em dois grupos. O primeiro é composto pela própria montadora de redutores, que é atendida prioritariamente com sua produção essencial, os eixos. Neste caso sua forma de produção é MTS (*make-to-stock*), devido à programação da produção da montadora exigir entregas rápidas. O segundo grupo de clientes, que são diversos, são atendidos pela produção de um "porta-treco" personalizado, os quais entram com o pedido, e somente assim a ordem é processada. A forma de produção para atender a estes clientes é MTO (*make-to-order*).

A cadeia de suprimentos da montadora de redutores é composta por fornecedores que a suprem com *commodities* (parafusos, porcas, etc.) e carcaça. Os eixos são fornecidos pela produtora de eixos, a qual a atende com alta prioridade enquanto que as engrenagens são produzidas dentro da própria montadora com produção MTS. Seus clientes são divididos em três grupos. O primeiro grupo são os dos setores de bebidas e alimentícios, os quais necessitam de redutores para suas linhas de produção. Eles demandam uma grande quantidade em relação ao volume, mas seus pedidos não são colocados constantemente. Estes são atendidos com a produção ATO (*assembled-to-order*). O segundo grupo é composto de clientes que produzem linhas de tratores. Os pedidos destes clientes são de um volume mais baixo, mas pode ser observada uma relativa constância na sua demanda. Também são atendidos com a produção ATO. O terceiro grupo são clientes que, de forma esporádica, solicitam produtos da montadora. Estes são atendidos com a produção MTO.

Dentro deste cenário, a preocupação dos autores foi à escolha e validação dos indicadores de desempenho, observando os aspectos estratégicos traçados, configurado um sistema de medição de desempenho onde um número

vasto de dados *on-line*, de diversas fontes, foi convertido em um inteligível sistema de informações através da solução Data Warehouse que é discutida logo a frente, para múltiplos usuários da empresa, onde serão listados todos os benefícios observados para o gerenciamento de desde o chão de fábrica até a alta gerencia. Esta solução é descrita logo abaixo.

#### 4. Modelo de Medição de Desempenho no Projeto IPROS

##### 4.1. O Problema

A necessidade de informações confiáveis e atuais das atividades em curso desde os fornecedores, passando pelo chão de fábrica de empresas de manufatura discreta até os clientes finais, não é uma operação fácil, devido à baixa confiabilidade das mesmas. As pesquisas em tecnologias avançadas de manufatura como as relacionadas com sensores, aquisição de dados e supervisão já estão devidamente sedimentadas e já apresentam aplicações com resultados favoráveis e economicamente viáveis, porém a capacidade resultante da integração destes sistemas ainda não foi completamente explorada (Mello *et al.* 2000).

Interno às empresas, a maior complexidade dos processos de manufatura modernos exige técnicas de monitoramento, supervisão e diagnóstico sofisticado. A literatura existente sobre supervisão de manufatura trata principalmente de processos de fluxo contínuo, como as indústrias químicas e nucleares, e existe pouca literatura sobre supervisão de processos discretos que são majoritários na indústria automobilística (Mello *et al.* 2000).

Nas empresas manufatureiras, a administração do chão de fábrica é um dos principais processos de negócios, porém em alguns setores a complexidade e a quantidade de informações são muitas elevadas o que dificulta a percepção das atividades. As empresas de manufatura discreta que trabalham com lotes de produção são um exemplo típico destas indústrias, já que sua produção é de baixo volume de cada produto com produção apenas após uma ordem de venda (MTO – Make to Order), apresentam alto *mix* de produtos resultando em situações onde cada máquina do chão de fábrica está trabalhando uma ordem de fabricação diferente. O perfil genérico dos produtos é relativamente complexo e específico para determinada função o que impede a padronização em famílias de produtos além de baixa estabilidade da demanda causando uma dificuldade tanto no nivelamento da produção quanto da previsão de demanda e conseqüentemente a programação da produção.

Empresas de forjaria, fundição e usinagem, são exemplos típicos deste setor. Nestas empresas o *mix* de produtos em produção é muito elevado, cada máquina esta produzindo uma ordem de fabricação diferente e, muitas vezes, mais de uma ordem ao mesmo tempo, como é o caso dos fornos de tratamento térmico e máquinas de jateamento e pintura.

O gerenciamento deste tipo de empresa apresenta características produtivas similares bem como usa complexidade e dificuldades pois a quantidade de informações de produção é muito alta e de baixa confiabilidade. Estes mesmos motivos tornam a avaliação de desempenho do sistema também muito complexa já pois:

- \* Existe uma baixa confiabilidade das informações dos dados de apontamento de chão de fábrica que muitas vezes não refletem a realidade
- \* A estrutura de processos é desordenada já que o *mix* é muito variado, e cada produto exige uma seqüência de atividades diferente sendo muito difícil a implementação de linhas e células de produção, pois as quantidades produzidas não justificam a criação de linhas dedicadas.
- \* As diferentes características de cada produto impossibilitam a criação de padrões para a produção.
- \* Os parâmetros de desempenho de cada máquina são diferentes entre si, existindo portanto, diferentes especificidades. Mesmo as especificidades em comum, como produtividade e eficiência, não podem ser comparadas entre máquinas.

O que se percebe então, é que a visão gerencial sobre o chão de fábrica é imprecisa ou incompleta. Existe uma baixa confiabilidade nos dados e a alta especificidade de cada produto/máquina, reportando indicadores de desempenho ineficientes. Além disso, a sumarização das informações é, muitas vezes, superficial e demorada o que torna o gerenciamento de chão de fábrica lento e ineficaz para a tomada de decisões.

Externo às empresas, a implementação de uma metodologia como o gerenciamento da cadeia de suprimentos encontra uma série de dificuldades que são proporcionais à sua complexidade. Disto, cabe as empresas componentes negociações e acordos que devem resultar em renúncio total ou parcial de privilégios o de vender a qualquer empresa interessada em comprar seus produtos, em prol da cadeia. Além disso, para Filho & Hamacher (2000, p. 4), certas empresas podem se tornar dependentes de empresas maiores, pois deixarão de comercializar seus produtos com empresas não participantes da cadeia.

##### 4.2. Coleta eletrônica de dados

A coleta eletrônica dos dados das operações que ocorrem no chão de fábrica, pode ser feita através da utilização de sensores (digitais e analógicos) monitorados por software SCADA (Supervisory and Control Data Acquisition) a transferência de dados é feita por uma rede do tipo Fieldbus, interligando os sensores que podem estar acoplados às várias máquinas do chão de fábrica ou aos coletores de dados.

A rede Fieldbus é o nome genérico para as estruturas de cabeamento e protocolo de comunicação que começaram a ser desenvolvidos desde o começo da década de 70. Assim dentro da categoria Fieldbus existem dezenas de propostas

de cabeamento e protocolos que se encontram atualmente no mercado, sendo que muitas delas não são compatíveis entre si.

Este sistema de rede tem como característica o uso de controladores (um conjunto de hardware especial com um software gravado em sua memória) que coletam os dados e, utilizando a lógica descrita em sua programação, os enviam para os atuadores da rede, estes podem ser, alarmes, coletores de dados, etc.

Os sensores que se conectam a rede Fieldbus são a entidade base da captação dos dados. Os sensores podem coletar os mais diversos tipos de sinais tais como de potência consumida, emissão acústica, sinais elétricos de reles, temperatura, posição, etc. Com o devido tratamento, diversas informações podem ser extraídas, como defeitos, desgaste de ferramenta, tempo de ciclo e motivo de parada, a literatura sobre o assunto é extensa e a aplicação destes sensores já se mostrou viável.

Outros sensores fixados pelo chão de fábrica podem ser utilizados para coleta de dados não atribuídos a uma máquina específica, como por exemplo, o nível de estoque entre operações em uma linha de produção, ou presença de pessoas em locais, ou ainda ao contato de uma peça sobre um suporte para determinação do começo de uma operação (muito utilizado nas operações de soldagem e montagem nas montadoras automotivas), entre várias outras aplicações.

Os coletores de dados podem ser utilizados para o monitoramento das operações logísticas da empresa, pois grande parte dos coletores de dados comerciais contam com o suporte ao código de barras. Isto permite que os produtos acabados e semi-acabados sejam acompanhados tanto durante as operações de produção (usinagem, torneamento, forjamento, etc.) como durante os tempos de fila e transporte, tornando o sistema altamente flexível e capaz de acompanhar uma ordem de produção durante todo o lead time.

### 4.3. O SCADA

Os dados que são captados pelos sensores são, assim, coletados através da estrutura de rede Fieldbus e centralizados no controlador da rede que pode até ser diretamente acoplada em computadores PC's. Através desta configuração, torna-se possível a integração deste controlador com aplicativos, desenvolvidos sobre linguagens comerciais, de tal forma que estes aplicativos possam fazer a leitura, o processamento, a visualização e também o envio de dados para o controlador da rede que envia para os atuadores.

Devido à dificuldade de codificação de programas para atuarem diretamente no controlador da rede, Mello *et al.* (2000) destaca o aparecimento de novos aplicativos customizados dedicados a este fim. Ainda segundo este autor, existem vários softwares SCADA disponíveis no mercado oferecendo os seguintes parâmetros de configuração para permitirem uma adequada customização do sistema às necessidades existentes:

- \* dados a serem coletados do controlador da rede;
- \* novos dados, podendo estes ser calculados a partir de outros ou preenchidos pelo usuário;
- \* interfaces gráficas de visualização dos dados;
- \* formas de integração com outros aplicativos através de *scripts* ou portas de comunicação;
- \* uso de banco de dados;
- \* integração com outros SCADA.

Os softwares SCADA são facilmente programáveis no sistema “arraste e clique”, além disso, diversos objetos gráficos podem ser incorporados para facilitar a visualização das informações. Desta maneira, a integração via este aplicativo, possibilita que metas para os indicadores de desempenho e evolução histórica destes sejam disponibilizadas na interface do sistema SCADA, nos vários níveis hierárquicos onde a decisão ocorre.

## 5. Data Warehouse no IPROS

Sabe-se que o chão de fábrica é um dos componentes mais importantes de uma fábrica, pois nela se concentra a produção de peças. Nas máquinas que o compõe, podem ser colocados sensores de detecção acústica para avaliar a produção de peças da fábrica, como discutido na seção 4.2. Os dados coletados por esses sensores são monitorados por um software SCADA que direciona esses dados. Esse cenário é retratado no IPROS, de forma que os dados são direcionados para uma base de dados em *SQL Server 7.0*. Estando esses dados no *SQL Server*, os mesmos tornam-se passíveis de serem processados por consultas SQL para a obtenção de alguns relatórios que, eventualmente, irão auxiliar no processo de tomada de decisão.

Contudo, somente esses dados ou esses relatórios obtidos por consultas SQL não bastam para um administrador do chão de fábrica, pois as consultas SQL não conseguem obter facilmente um relatório indicando fatores de perda de produção de um chão de fábrica, por exemplo. Sendo assim, uma tecnologia mais adequada para auxiliar o administrador é necessária. Além disso, deve ser observado que os dados obtidos pelos sensores também podem crescer exponencialmente com o tempo. Uma tecnologia que pode auxiliar em um cenário como esse é o Data Warehouse (DW), que é um repositório de dados históricos, integrados, não-voláteis, orientados a assuntos e homogêneos que possui informações relativas à todo o processo de transação e execução do negócio de uma empresa ou fábrica (Inmon, 1997). Com um DW, a gerência de negócios pode tomar decisões de modo mais preciso e rápido, pois o mesmo reúne variadas informações dispersas em diversas bases de dados e plataformas da empresa, aumentando a eficácia de análises e transformando dados esparsos em informações estratégicas, antes inacessíveis ou sub-aproveitadas. A partir desse DW são feitas consultas OLAP (*On-Line Analytical Processing*) para a confecção de relatórios.

Para o chão de fábrica do IPROS foi construído um DW utilizando o *SQL Server 7.0*, com a ferramenta *OLAP Services*. O *OLAP Services* foi utilizado para criar os cubos dimensionais, responsáveis pelas consultas OLAP. Um cubo dimensional do DW pode ser observado na Figura 1.

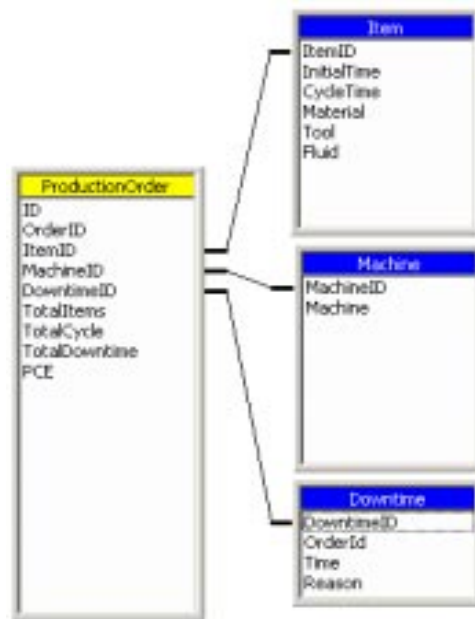


Figura 1. Cubo Dimensional do Data Warehouse.

Para a geração de relatórios foi utilizado como *front-end*, o *Microsoft Office 2000 Professional*, mais precisamente a ferramenta *Excel 2000*, devido a principal característica de conectar diretamente com os cubos dimensionais construídos no *OLAP Services*. Na Figura 2 pode ser observado um exemplo de consulta OLAP no *Excel 2000*.

A captura de tela mostra o Microsoft Excel 2000 com o seguinte conteúdo:

PCE REPORT				
Machine Description	Start Time	Cycle Time	Down Time	PCE
<b>CENTER MACHINE *</b>				
	22/10/2000 13:00:00	8810	9020	0.476
	22/10/2000 13:15:00	8810	9020	0.476
	22/10/2000 13:21:00	8810	9020	0.476
<b>GRINDING *</b>				
	22/10/2000 13:00:00	26730	29184	0.476
	22/10/2000 13:15:00	8810	9020	0.476
	22/10/2000 13:21:00	8810	9020	0.476
<b>TURNING *</b>				
	22/10/2000 13:00:00	8890	10080	0.460
	22/10/2000 13:15:00	8890	10080	0.460
	22/10/2000 13:21:00	8890	10080	0.460
<b>Total Global *</b>		<b>80184</b>	<b>89262</b>	<b>0.473</b>

À direita da tabela, há uma caixa de diálogo 'Tabela Dinâmica' com as seguintes configurações:

- Tabela dinâmica: [selecione]
- Mostrar: [selecione]
- Ordenar: [selecione]
- Mostrar em: [selecione]
- Mostrar em: [selecione]
- Mostrar em: [selecione]

Figura 2. Exemplo de Consulta OLAP no Excel 2000.

O cubo dimensional, bem como, a consulta OLAP feita no *Excel 2000* foi designada para reportar um relatório de desempenho da produção.

A partir desta arquitetura, os administradores do chão de fábrica podem portanto executar consultas dinâmicas com no exemplo da Figura 2, onde se pode por exemplo verificar a eficiência do chão de fábrica a partir de parâmetros como: tempo de ciclo, tempo de *setup*, tempo de fila, tempo outras paradas, perdas eventuais, etc. Desta maneira, o usuário pode configurar o tipo de relatório de acordo com a sua necessidade, otimizando, desta maneira, a imensa quantidade de informações anteriormente não ou pouco utilizadas.

Apesar do DW estar implementado no *SQL Server 7.0*, bem como, ter como *front-end* o *Excel 2000*. Esse cenário delimitado ainda não é o ideal. Módulos importantes providos pelo R/3 (por exemplo, APO, SCM e PP) possuem



informações importantes que podem auxiliar na gestão empresarial. Desse modo, uma solução provida pela SAP denominada de Business Information Warehouse (BIW ou BW) pode aumentar ou melhorar o DW já construído.

O BIW consiste em um servidor BW (OLAP) que concentra as informações necessárias para que um *front-end* denominado de Business Explorer possa efetuar consultas OLAP. O Business Explorer consiste em uma ferramenta que é executada no Excel 97/2000 por meio de macros em Visual Basic. O Business Explorer também pode salvar as consultas OLAP de forma dependente do servidor OLAP (Workbook) ou não, sendo que essa forma dependente é uma consulta OLAP que será re-processada no servidor OLAP.

## 6. Considerações Finais

A iniciativas e tomada de decisões serão executadas baseadas nas informações retiradas dos relatórios do DW, ficando seu sucesso restrito a capacidade da administração do chão de fábrica. Nesta situação os indicadores podem gerar as melhorias nos processos, na participação do mercado, no desempenho financeiro, dos funcionários e da capacidade física e financeira da empresa para implementar com êxito estas melhorias para a sobrevivência, competitividade e evolução.

A partir então da otimização dos indicadores de desempenho através da tecnologia disponível, torna se possível e viável a elaboração de um sistema de avaliação de desempenho rápido, confiável e eficiente, que suporte tanto as necessidades de gerenciamento do chão de fábrica como a necessidade de avaliação competitividade, flexibilidade e as estratégias que permeiam a organização.

Como proposta e sugestão para trabalhos complementares a este e que visem a concepção de um sistema de avaliação ainda mais completo, estas ações devem se concentrar em esforços da integração do sistema aqui proposto com a inserção de novas informações, principalmente, de ordem gerencial ou empresarial com por exemplo dos sistemas ERP (Enterprise Resource Planning), e também outras ferramentas de gerenciamento como a gestão da cadeia de suprimentos.

## Referências Bibliográficas

- Atkinson, A. A. *et al.* 1997, A Stakeholder Approach To Strategic Performance Measurement. *Sloan Management Review*. Outono. p. 25-37.
- Beamon, B. M., 1999, Measuring Supply Chain Performance. *International Journal Of Operations & Production Management*. v. 9, n. 3 ,p. 275-292.
- Bititci, U. S., 1995, Modeling Of Performance Measurement Systems In Manufacturing Enterprises. *International Journal Of Production Economics*. n. 42, p. 137-147.
- Bititci, U. S. *et al.*,1997, Integrated Performance Measurement Systems. *International Journal Of Operations & Production Management*. v. 17. n. 5. p 522-534.
- Carpinetti, L.C.R., 2000, Uma Proposta para o Processo de Identificação e Desdobramento de Melhorias: Um Enfoque Estratégico. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos. Universidade de São Paulo.
- Eccles, R. G. & Pyburn, P. J., 1992, Creating A Comprehensive System To Measure Performance. *Management Accounting*. Out. p 41-44.
- Filho, G. P & Hamacher, S., 2000, Modelo Para Avaliação Dos Ganhos do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. . Anais do 24<sup>o</sup> Enanpad, Florianópolis.
- Hoek, R. I. V., 1998, Measuring The Unmeasurable – Measuring And Improving Performance In The Supply Chain. *Supply Chain Management*. v. 3. n. 4. p. 187-192;
- Inmon, W. H., 1997, Como construir o Data Warehouse. Editora Campus, Rio de Janeiro.
- Kaplan, R. S., 1990, Measures for manufacturing excellence. Boston, Mass: *Harvard Business Review Press*.
- Kaplan, R. & Cooper, R., 1998, Custo e desempenho: administre seus custos para ser mais competitivo. São Paulo: Editora Futura.
- Kaplan, R.S. & Norton, D.P., 1992, The Balanced Scorecard – Measures That Drive Performance. *Harvard Business Review*. Jan-Fev. p 71-79.
- Martins, R. A., 1999, Sistemas de Medição de Desempenho: Um Modelo Para Estruturação do Uso. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica. São Paulo. Universidade De São Paulo.
- Mello, R. G. *et al.*, 2000, Análise Comparativa De Duas Metodologias Para Elaboração do Balanced Scorecard. Anais do 24<sup>o</sup> Enanpad, Florianópolis.
- Meyes, C., 1994, How The Right Measures Help Teams Excel. *Harvard Business Review*. v 72. n. 3. Mai-Jun. p 95-63.
- Neely, A. *et al.*, 1995, Performance Measurement System Design: A Literature Review And Research Agenda. *International Journal Of Production Economics*. n. 4, p 80-116.
- Neely, A. *et al.*, 1996, Performance Measurement System Design: Should Process Approaches Be Adopted? *International Journal Of Production Economics*. n. 46-47, p 423-431.
- Neely, A., 1999, The performance Measurement revolution: why now and what next? *International Journal of Operations & Production Management*. v 19. n. 2. p 205-228.
- Noble, J. S., 1997, An Integrated Dynamic Performance Measurement System For Improving Manufacturing Competitiveness. *International Journal Of Production Economics*. n. 48, p 207-225.

- O'mara, C. E. *et al.*, 1998, Performance Measurement And Strategic Change. *Managing Service Quality*. v 8, n. 3, p 179-182.
- Rolstadås, A., 1998, Enterprise Performance Measurement. *International Journal Of Operations & Production Management*. v 18. n. 9/10. p. 989-999.
- Waggoner, D. B. *et al.*, 1999, The Forces That Shape Organizational Performance Measurement Systems: An Interdisciplinary Review. *International Journal Of Production Economics*. N. 60/61. P 53-60.
- White, G.P., 1996, A Survey And Taxonomy Of Strategy-Related Performance Measures For Manufacturing. *International Journal Of Operations & Production Management*. v. 16, n. 3, p. 42-61.

## **DATA WAREHOUSE TECHNOLOGY APPLIED TO SHOP-FLOOR DATA TO IMPROVE PRODUCTION DEMAND**

**Emerson Bond<sup>1</sup>, Luiz C. R. Carpinetti<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>bond@sc.usp.br, <sup>2</sup>carpinetti@prod.eesc.sc.usp.br

Universidade de São Paulo. EESC. Eng. Produção. Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Centro. São Carlos – SP – Brasil – 13566-590

**Solange O. Rezende, Walter A. Nagai, Robson B. T. de Oliveira**

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação  
Universidade de São Paulo – São Carlos  
Avenida Trabalhador São-Carlense, 400 – Centro  
Caixa Postal 668 – Telefone: 55-16-273-9671, Fax: 55-16-273-9751  
{solange, wnai, robson}@icmc.sc.usp.br

**Abstract:** In a competitive environment, companies need to continually establish new business objectives to fulfill their corporate visions and develop strategies that may drive them to a better performance. In order to manage their performance on key business success factors, many companies nowadays have been supporting their decisions on systems of performance measures so as to improve their effectiveness (doing the things right) and efficacy (doing the right thing). As an information technology support for performance measurement systems, Data Warehouse (DW) offers the necessary basis for a decision support system, supplying integrated and historical data from top managers to low-level management. This technology can also be applied to manage the huge quantity of shop-floor data, providing many useful information reports. This solution was proposed as part of a project called IPROS (*Integrated Production And Supply Chain Management*) and developed by a research group of the NUMA (Advanced Manufacturing Center) at the University of São Paulo, in São Carlos, Brazil. One of the objectives of the project is to develop a production cockpit using the concepts and technologies proposed here to support production planning.

**Key Words:** Data Warehouse, Performance Measurement, Manufacturing Strategy.

## ANÁLISE DO SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL APLICADO NAS INDÚSTRIAS DA REGIÃO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

**Roberto Kazuo Kuroshima** Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP – IP&D Av. Shishima Hifumi, 2.911 – Urbanova CEP 12244-000 – São José dos Campos – SP email: rkaz@uol.com.br

**Prof. Dr. Paulo Tadeu de Mello Lourenção** Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP - FCSA Av. Shishima Hifumi, 2.911 – Urbanova CEP 12244-000 – São José dos Campos – SP email: lourenc@iconet.com.br

***Resumo.** A atuação do homem sobre a natureza tem causado efeitos ambientais negativos. Percebe-se então que o crescimento econômico da maneira como estava sendo realizado estava levando o mundo a comprometer os recursos naturais. Entre as tecnologias existentes para o controle do meio ambiente estão as normas e regulamentos para sistema de gestão ambiental, um esforço no sentido de as indústrias terem uma responsabilidade pelo futuro do planeta. Um processo de Sistema de Gestão Ambiental, de acordo com a Norma ISO 14001 é uma tecnologia de gerenciamento empresarial que traz benefícios para a indústria, a comunidade e também para o meio ambiente. Este trabalho é o resultado do estudo teórico nessa área e análise de uma pesquisa realizada em empresas que atuam na região de São José dos Campos, SP.*

***Palavras chaves.** Gestão Ambiental, normas ambientais, série ISO 14000,*

### 1. Introdução

O Mundo hoje vive uma época de grande crescimento industrial, gerado pelo avanços tecnológicos em diversas áreas, e junto com todo esse desenvolvimento, vem aumentando a preocupação com a qualidade do meio ambiente. Esta preocupação com a conservação do meio ambiente e a preservação para as futuras gerações deram origem a teoria de desenvolvimento sustentável que teve um grande destaque na Conferência das Nações Unidas, Rio 92.

Nos dias atuais o governo, ONG's, opinião pública, organizações internacionais e agora muitos industriais reconhecem a necessidade de uma mudança no manejo e uso dos recursos naturais, com o objetivo de compatibilizar o crescimento econômico e tecnológico com as questões ecológicas. A grande dúvida que existe para todos é como e o que fazer para conseguir um resultado equilibrado entre essas duas preocupações.

Essa questão é colocada para todos, pois a tarefa de suprir a necessidade do ser humano alimenta os investimentos na área de pesquisa por novos produtos e consequentemente novas linhas de produção e até mesmo novas indústrias. A indústria, em suas diversas áreas de atuação, é o principal agente poluidor e desmatador do meio ambiente, provocado pelo consumo de recursos naturais, despejo de efluentes no meio ambiente e desmatamento de grandes áreas para sua instalação física. Sendo assim, é natural que recaia sobre essa massa industrial a maior atenção ao controle e monitoramento das suas atividades em produção.

A produção industrial obteve com as normas de qualidade um crescimento na eficiência e na qualidade dos processos e dos produtos finais dentro de cada empresa. Porém, a preocupação com o meio ambiente não era prioridade nesses locais, devido a sua oferta abundante e baixo custo. Com as normas da série ISO14000 essa preocupação está mudando a gestão dos empresários, sob a pressão da opinião pública, dos organismos não-governamentais, dos consumidores em particular e até mesmo dos investidores.

Neste cenário o objetivo desse trabalho é apresentar uma pesquisa realizada junto as empresas da região de São José dos Campos para verificar como elas estão lidando com o tema Gestão Ambiental, o que levou a implantar um Sistema de Gestão Ambiental, quais os benefícios que trouxeram e quais as dificuldades enfrentadas. Foi elaborada também uma análise comparativa entre as indústrias de grande porte e as de médio e pequeno em relação à Gestão Ambiental.

### 2. Normas ambientais

Grandes acidentes ambientais provocados pela ação direta ou indireta do homem marcaram o passado na relação da indústria com o meio ambiente. Eram quase nulas a existência e a preocupação com o meio ambiente, além de não serem tomadas medidas de ações preventivas para a incidência desses acidentes.

Depois de ter sofrido esses acidentes, a comunidade afetada diretamente faz grandes exigências às indústrias e com o apoio do Estado consegue mudar esse cenário. Tem-se como exemplo o acidente causado pela Petrobrás no Rio de Janeiro em janeiro de 2000, onde foram tomadas ações corretivas e uma severa punição à empresa. Por outro lado, as empresas já se mostram mais interessadas em manter uma imagem positiva aos consumidores e adotam medidas de controle ambiental. É monitorada a utilização de recursos naturais visando a sua sustentabilidade para as próximas gerações e realizado um rigoroso controle na emissão de efluentes, diminuindo e até zerando o impacto ao meio ambiente.

Essas atitudes implicam a implantação de um Sistema de Gestão Ambiental. Outro fator que reforça a necessidade de tal política é a Legislação Ambiental, em vigor desde 1998 e regulamentada em setembro de 1999 considerada uma das mais severas, com multas pesadas para a empresa que infringir essa legislação. O mercado externo exige excelência ambiental nos produtos que consome. Sendo assim, ter um sistema de gestão ambiental é um fator decisivo nesse cenário cada vez mais concorrido. A comunidade também faz mais exigências, produtos ecologicamente corretos agradam ao consumidor, que está mudando o hábito do consumo, aumentando a procura por biodegradáveis, renováveis ou recicláveis. Portanto, não é aceitável acreditar que o desenvolvimento tecnológico deve ser pago com danos à natureza..

D'Avignon(1996) afirma que "Uma norma ambiental é a tentativa de homogeneizar conceitos, ordenar atividades e criar padrões e procedimentos que sejam reconhecidos por aqueles que estejam envolvidos com alguma atividade produtiva que gere impactos ambientais". Portanto, a norma serve para monitorar e controlar a matéria-prima, insumos, efluentes e resíduos no processo produtivo, e o transporte e armazenagem do produto final.

No início da década de 90 existia auditoria ambiental em algumas empresas dos EUA, seguindo normas internas. Porém, essas normas não eram aceitas por outras empresas e nem em outros países, criando assim a necessidade de uma norma com aceitação mundial.

Em meados de 1991 a British Standard Institute (BSI), começa a elaborar a norma BS 7750 e lança a primeira versão em 1992, com a primeira revisão programada para julho de 1993, e em abril de 1994 foi editada a versão final. A norma foi muito criticada pelos empresários por ser muito rígida tirando a competitividade das indústrias que adotaram, Cajazeira(1997).

Em agosto de 1991 foi formado o Strategic Advisory Group on the Environment (SAGE) para realizar um estudo das normas internacionais sobre o meio ambiente, e considerar se tais normas poderiam servir para uma abordagem comum sobre o controle ambiental. Em 1992 foi estabelecido pela ISO, International Organization for Standardization, a formação de um comitê técnico denominado de TC 207 para desenvolver a série ISO 14000.

#### **Legislação Ambiental**

Estão listadas a seguir as leis ambientais mais importantes do país, segundo Prof. Paulo Affonso Leme Machado, autor do livro "Direito Ambiental Brasileiro", Professor na Universidade Estadual Paulista, UNESP, campus Rio Claro. (<http://www.meioambiente.sp.gov.br>)

**Patrimônio Cultural (Decreto-Lei nº 25, de 30.11.1937)** - Organiza a Proteção do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, incluindo como patrimônio nacional os bens de valor etnográfico, arqueológico, os monumentos naturais, além dos sítios e paisagens de valor notável pela natureza ou a partir de uma intervenção humana. A partir do tombamento de um destes bens, fica proibida sua destruição, demolição ou mutilação sem prévia autorização do Serviço de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - SPHAN, que também deve ser previamente notificado, em caso de dificuldade financeira para a conservação do bem. Qualquer atentado contra um bem tombado equivale a um atentado ao patrimônio nacional.

**Florestas (Lei nº 4.771, de 15.09.1965, alterada pela Medida Provisória nº 2.080-62, de 19/4/2001)** – Determina a proteção de florestas nativas e define como áreas de preservação permanente (onde a conservação da vegetação é obrigatória) uma faixa de 30 a 500 metros nas margens dos rios (dependendo da largura do curso d'água), de lagos e de reservatórios, além dos topos de morro, encostas com declividade superior a 45° e locais acima de 1800 metros de altitude. Também exige que propriedades rurais da região Sudeste do País preservem 20% da cobertura arbórea, devendo tal reserva ser averbada no registro de imóveis, a partir do que fica proibido o desmatamento, mesmo que a área seja vendida ou repartida. A maior parte das contravenções desta lei foram criminalizadas a partir da Lei dos Crimes Ambientais..Micro e Pequenas Empresas no Estado de São Paulo e a Legislação Ambiental

**Fauna Silvestre (Lei nº 5.197, de 03.01.1967, e alterações posteriores )** – A fauna silvestre é bem público (mesmo que os animais estejam em propriedade particular). A lei classifica como crime o uso, perseguição, apanha de animais silvestres, caça profissional, comércio de espécimes da fauna silvestres e produtos derivados de sua caça, além de proibir a introdução de espécie exótica (importada) e a caça amadorística sem autorização do IBAMA. Também criminaliza a exportação de peles e couros de anfíbios e répteis (como o jacaré)em bruto. O site do IBAMA traz um resumo comentado de todas as leis relacionadas à fauna brasileira, além de uma lista das espécies brasileiras ameaçadas de extinção.

**Atividades Nucleares (Lei nº 6.453 de 17.10.1977)** – Dispõe sobre a responsabilidade civil por danos nucleares e a responsabilidade criminal por atos relacionados com as atividades nucleares. Entre outros, determina que quando houver um acidente nuclear, a instituição autorizada a operar a instalação tem a responsabilidade civil pelo dano, independente da existência de culpa. Em caso de acidente nuclear não relacionado a qualquer operador, os danos serão suportados pela União. A lei classifica como crime produzir, processar, fornecer, usar, importar, ou exportar material sem autorização legal, extrair e comercializar ilegalmente minério nuclear, transmitir informações sigilosas neste setor, ou deixar de seguir normas de segurança relativas à instalação nuclear.

**Parcelamento do solo urbano (Lei nº 6.766, de 19/12/1979, alterada pela Lei nº 9.785, de 1.2.1999)** – Estabelece as regras para loteamentos urbanos, proibidos em áreas de preservação ecológica, naquelas onde a poluição representa perigo à saúde e em terrenos alagadiços. O projeto de loteamento deve ser apresentado e aprovado previamente pelo Poder Municipal, sendo que as vias e áreas públicas passarão para o domínio da Prefeitura, após a instalação do empreendimento.

**Zoneamento Industrial nas Áreas Críticas de Poluição (Lei 6.803, de 02/07/1980, alterada pela lei nº 7.804, de 20.7.1989)** – Atribui aos estados e municípios o poder de estabelecer limites e padrões ambientais para a instalação e

licenciamento das indústrias, exigindo Estudo de Impacto Ambiental. Municípios podem criar três zonas industriais: 1) zona de uso estritamente industrial: destinada somente às indústrias cujos efluentes, ruídos ou radiação possam causar danos à saúde humana ou ao meio ambiente, sendo proibido instalar atividades não essenciais ao funcionamento da área; 2) zona de uso predominantemente industrial: para indústrias cujos processos possam ser submetidos ao controle da poluição, não causando incômodos maiores às atividades urbanas e repouso noturno, desde que se cumpram exigências, como a obrigatoriedade de conter área de proteção ambiental para minimizar os efeitos negativos. 3) zona de uso diversificado: aberta a indústrias, que não prejudiquem as atividades urbanas e rurais.

**Área de Proteção Ambiental (Lei nº 6.902, de 27.04.1981, alterada pela Lei nº 9.985, de 18.7.2000)** – Lei que criou as "Estações Ecológicas" (áreas representativas de ecossistemas brasileiros) e as "Áreas de Proteção Ambiental" ou APAs (onde podem permanecer as propriedades privadas, mas o poder público limita atividades econômicas para fins de proteção ambiental). Ambas podem ser criadas pela União, Estado, ou Município. A Lei nº 9.985/2000 instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, que estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das Estações Ecológicas e APAs e outras áreas com características naturais relevantes.

**Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938, de 17.01.1981, e alterações posteriores)** – A mais importante lei ambiental. Define que o poluidor é obrigado a indenizar danos ambientais que causar, independentemente de culpa. O Ministério Público (Promotor de Justiça ou Procurador da República) pode propor ações de responsabilidade civil por danos ao meio ambiente, impondo ao poluidor a obrigação de recuperar e/ou indenizar prejuízos causados. Também esta lei criou os Estudos e respectivos Relatórios de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), regulamentados em 1986 pela Resolução 001/86 do CONAMA. O EIA/RIMA deve ser feito antes da implantação de atividade econômica, que afete significativamente o meio ambiente, como estrada, indústria ou aterros sanitários, devendo detalhar os impactos positivos e negativos que possam ocorrer devido às obras ou após a instalação do empreendimento, mostrando como evitar os impactos negativos. Se não for aprovado, o empreendimento não pode ser implantado. A lei dispõe ainda sobre o direito à informação ambiental.

**Ação Civil Pública (Lei 7.347 de 24/07/1985, e alterações posteriores)** – Lei de Interesses Difusos, que trata da ação civil pública de responsabilidades por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor e ao patrimônio artístico, turístico ou paisagístico. Pode ser requerida pelo Ministério Público (a pedido de qualquer pessoa), ou por uma entidade constituída há pelo menos um ano. A ação judicial não pode ser utilizada diretamente pelos cidadãos. Normalmente, ela é precedida por um inquérito civil.

**IBAMA (Lei nº 7.735, de 22.02.1989, e alterações posteriores)** – Criou o IBAMA, incorporando a Secretaria Especial do Meio Ambiente (antes subordinada ao Ministério do Interior) e as agências federais na área de pesca, desenvolvimento florestal e borracha. Ao IBAMA compete executar e fazer executar a política nacional do meio ambiente, atuando para conservar, fiscalizar, controlar e fomentar o uso racional dos recursos naturais. Hoje subordina-se ao Ministério do Meio Ambiente, MMA. Micro e Pequenas Empresas no Estado de São Paulo e a Legislação Ambiental

**Agrotóxicos (Lei nº 7.802 de 11.07.1989, alterada pela Lei nº 9.974, de 7.6.2000)** – A Lei dos Agrotóxicos regulamenta desde a pesquisa e fabricação dos agrotóxicos até sua comercialização, aplicação, controle, fiscalização e também o destino da embalagem. Impõe a obrigatoriedade do receituário agrônomo para venda de agrotóxicos ao consumidor. Também exige registro dos produtos nos Ministérios da Agricultura e da Saúde e no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. Qualquer entidade pode pedir o cancelamento deste registro, encaminhando provas de que um produto causa graves prejuízos à saúde humana, meio ambiente e animais. O descumprimento da lei pode acarretar multas e reclusão, inclusive para os empresários.

**Exploração Mineral (Lei nº 7.805 de 18.7.1989)** - Regulamenta a atividade garimpeira. A permissão da lavra é concedida pelo Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, a brasileiro ou cooperativa de garimpeiros autorizada a funcionar como empresa, devendo ser renovada a cada cinco anos. É obrigatória a licença ambiental prévia, que deve ser concedida pelo órgão ambiental competente. Os trabalhos de pesquisa ou lavra, que causarem danos ao meio ambiente são passíveis de suspensão, sendo o titular da autorização de exploração dos minérios responsável pelos danos ambientais. A atividade garimpeira executada sem permissão ou licenciamento é crime.

**Política Agrícola (Lei nº 8.171 de 17.01.1991, e alterações posteriores)** – Coloca a proteção do meio ambiente entre seus objetivos e como um de seus instrumentos. Num capítulo inteiramente dedicado ao tema, define que o Poder Público (federação, estados, municípios) deve disciplinar e fiscalizar o uso racional do solo, da água, da fauna e da flora; realizar zoneamentos agroecológicos para ordenar a ocupação de diversas atividades produtivas (inclusive instalação de hidrelétricas), desenvolver programas de educação ambiental, fomentar a produção de mudas de espécies nativas, entre outros. Mas a fiscalização e uso racional destes recursos também cabe aos proprietários de direito e aos beneficiários da reforma agrária. As bacias hidrográficas são definidas como as unidades básicas de planejamento, uso, conservação e recuperação dos recursos naturais, sendo que os órgãos competentes devem criar planos plurianuais para a proteção ambiental. A pesquisa agrícola deve respeitar a preservação da saúde e do ambiente, preservando ao máximo a heterogeneidade genética.

**Engenharia Genética (Lei nº 8.974, de 5.1.1995, alterada pela Medida Provisória nº 2.137, de 27.4.2001)** - Regulamentada pelo Decreto nº 1.752, de 20.12.1995, a lei estabelece normas para aplicação da engenharia genética, desde o cultivo, manipulação e transporte de organismos geneticamente modificados (OGM), até sua comercialização, consumo e liberação no meio ambiente. Define engenharia genética como a atividade de manipulação de material genético, que contém informações determinantes de caracteres hereditários de seres vivos. A autorização e fiscalização do funcionamento de atividades na área e da entrada de qualquer produto geneticamente modificado no país, é de

responsabilidade dos ministérios do Meio Ambiente (MMA), da Saúde (MS) e da Agricultura. Toda entidade que usar técnicas de engenharia genética é obrigada a criar sua Comissão Interna de Biossegurança, que deverá, entre outros, informar trabalhadores e a comunidade sobre questões relacionadas à saúde e segurança nesta atividade. A lei criminaliza a intervenção em material genético humano in vivo (exceto para tratamento de defeitos genéticos), sendo que as penas podem chegar a vinte anos de reclusão.

**Recursos Hídricos (Lei nº 9.433 de 08.01.1997, alterada pela Lei nº 9.984, de 18.7.2000)** – Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos. Define a água como recurso natural limitado, dotado de valor econômico, que pode ter usos múltiplos (consumo humano, produção de energia, transporte, lançamento de esgotos). Descentraliza a gestão dos recursos hídricos, contando com a participação do Poder Público, usuários e comunidades. São instrumentos da nova Política das Águas: 1 - os Planos de Recursos Hídricos (por bacia hidrográfica, por Estado e para o País), que visam gerenciar e compatibilizar os diferentes usos da água, considerando inclusive a perspectiva de crescimento demográfico e metas para racionalizar o uso; 2 - a outorga de direitos de uso das águas, válida por até 35 anos, deve compatibilizar os usos múltiplos; 3 - a cobrança pelo seu uso (antes, só se cobrava pelo tratamento e distribuição); e 4 - os enquadramentos dos corpos d'água. A lei prevê também a criação do Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos para a coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão.

**Crimes Ambientais (Lei nº 9.605, de 12.2.1998)** - Reordena a legislação ambiental brasileira no que se refere às infrações e punições. A partir dela, a pessoa jurídica, autora ou co-autora da infração ambiental, pode ser penalizada, chegando à liquidação da empresa, se ela tiver sido criada ou usada para facilitar ou ocultar um crime ambiental. Por outro lado, a punição pode ser extinta quando se comprovar a recuperação do dano ambiental e -no caso de penas de prisão de até 4 anos - é possível aplicar penas alternativas. A lei criminaliza os atos de picar edificações urbanas, fabricar ou soltar balões (pelo risco de provocar incêndios), danificar as plantas de ornamentação, dificultar o acesso às praias ou realizar desmatamento sem autorização prévia. As multas variam de R\$ 50,00 a R\$ 50 milhões. É importante lembrar, que na responsabilidade penal tem que se provar a intenção(dolo) do autor do crime ou sua culpa (imprudência, negligência e imperícia). Difere da responsabilidade civil ambiental, que não depende de intenção ou culpa.

## 2.1 Série ISO 14000

A ISO, International Organization for Standardization (Organização Internacional para Normalização, [www.iso.ch](http://www.iso.ch)) é uma organização não governamental, de normalização técnica com sede na Genebra, Suíça que congrega mais de 100 países. Os países são representados na ISO pelas suas associações de normalização técnica. No caso brasileiro, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)). O Comitê Técnico (TC) 207 é formado por cerca de 60 países participantes e 20 entidades internacionais de ligação, como a Câmara de Comércio Internacional (CCI), a Organização Mundial do Comércio (OMC), o Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento (PNUD) e o World Wild Life Fund (WWF). O Comitê Técnico 207 secretariado pelo Canadá, é composto por seis Subcomitês (SC) e um grupo de Trabalho Especial, divididos por assuntos, e tem secretarias em diversos países.

A série ISO 14000 é um grupo de normas que fornecem ferramentas e estabelecem um padrão de Sistemas de Gestão Ambiental, e está dividida em seis grandes grupos: sistemas de gestão ambiental, avaliação de desempenho ambiental, auditoria ambiental, análise do ciclo de vida do produto, rotulagem ambiental, aspectos ambientais em normas de produtos, veja Fig. (1).

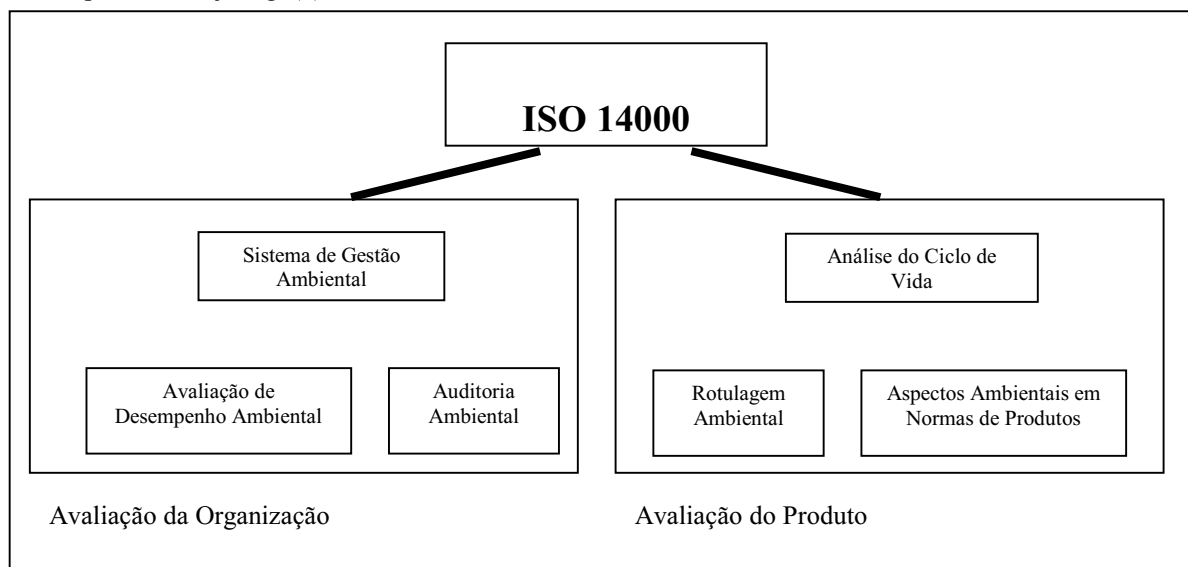


Figura 1 Visualização da série ISO 14000 (D'Avignon,1996)

A norma ISO 14001 prove para as organizações, os elementos de um sistema de gestão ambiental integrados com outros sistemas de gestão, de forma a auxiliá-las a alcançar os objetivos ambientais e econômicos.

As normas da série ISO 14000 têm grande credibilidade internacional e também junto à comunidade. Portanto, esses são os fatores que levam as organizações a adotarem essa norma ambiental.

### 3. Gestão ambiental nas indústrias de São José dos Campos

Este trabalho tem como base a pesquisa do CNI, e foi realizado nas indústrias da região de São José dos Campos, SP. Essa é uma cidade onde predomina a atividade industrial e tem grande importância para a região, concentrando indústrias de diversos setores como metalúrgico, petroquímico, alimentos e farmacêutico. Possui mais de 700 empresas, desde de micro porte até as de grande porte, veja Tab. (1).

PORTE INDUSTRIAL	INDÚSTRIAS		PESSOAL OCUPADO	
	Nº	%	Nº	%
Micro/Pequenas	683	94,1	7.170	17,1
Médio	28	3,9	6.626	15,8
Grande	15	2,1	28.146	67,1
Total	726	100,0	41.942	100,0

Tabela 1 Distribuição das indústrias segundo porte industrial e pessoal ocupado (PMSJC,1999)

No gráfico da Fig.(2), Indústrias por ramo de atividade e pessoal ocupado, destaca-se o ramo de transportes pelo seu elevado número de pessoal, isso em razão de duas grandes empresas: Embraer - Empresa Brasileira de Aeronáutica S/A e General Motors do Brasil, nas quais está concentrada a maioria do pessoal empregado.

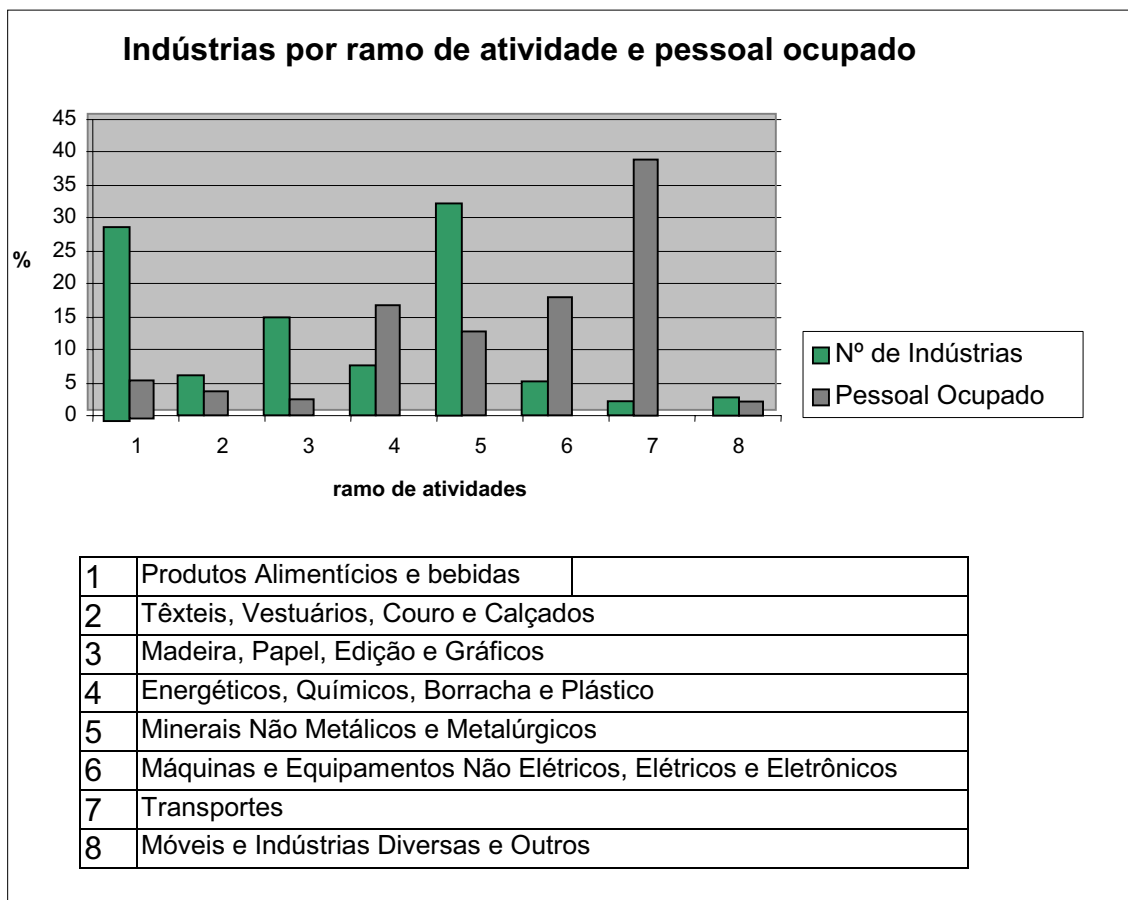


Figura 2 Indústria por ramo de atividade e pessoal ocupado (PMSJC,1999)

No mesmo gráfico, destaca-se também, pelo grande número de pessoal ocupado, o ramo de Máquinas e Equipamentos Não Elétricos, Elétricos e Eletrônicos, no qual podemos citar as empresas: Philips do Brasil Ltda., Ericsson Telecomunicações S/A, Solectron do Brasil. Em seguida está o ramo de Energéticos, Químicos, Borracha e Plástico, com destaque para Petróleo Brasileiro S/A Petrobrás, Johnson & Johnson Produtos Profissionais Ltda., Johnson & Johnson Indústria e Comércio Ltda., Kodak Brasileira Comércio e Indústria Ltda. A importância desses ramos de atividades está na grande concentração de pessoal ocupado, mais de 70%, em um número reduzido de empresas.

Pode-se observar também o elevado número de empresas no ramo de alimentos, onde estão cadastradas as padarias, caracterizadas por ser empresas de micro e/ou pequeno porte, absorvendo pouca mão de obra. Em seguida tem-se o ramo de Minerais Não Metálicos e Metalúrgicos que concentra em sua maioria empresas direcionadas para a produção de produtos para a construção civil. Pode-se destacar ainda o ramo de Madeira, Papel, Edição e Gráficos onde estão as empresas de marcenaria.

#### **4. Pesquisa Gestão Ambiental na Indústria Brasileira**

A pesquisa Gestão Ambiental na Indústria Brasileira, realizada pela primeira vez pela CNI, BNDES, e SEBRAE, visou subsidiar os formuladores de políticas e tomadores de decisão nos organismos públicos, instituições de apoio técnico e nas empresas com uma variada gama de informações sobre o tema (Pesquisa Gestão Ambiental na Indústria Brasileira, 1998)

Essa pesquisa, de abrangência nacional, foi realizada em 1998, por meio de um questionário, e enviada às empresas através do SEBRAE e da Federação de Indústrias. Foram coletados dados referentes à percepção e práticas das questões ambientais, relacionamento com órgãos ambientais, desenvolvimento da gestão ambiental, e expectativas de atuação do governo.

##### **4.1 Pesquisa Gestão Ambiental nas Indústrias da Região de São José dos Campos.**

A primeira pesquisa apresentada neste trabalho tem como base a pesquisa sobre Gestão Ambiental na Indústria Brasileira e obteve dados das indústrias da região de São José dos Campos. Foi realizada através de um questionário e enviado pela CIESP (Centro das Indústrias do Estado de São Paulo) de São José dos Campos. Nessa fase do trabalho a pesquisa foi direcionada para empresas de grande porte que já possuem a certificação ISO14001. Responderam ao questionário quatro empresas assim discriminadas: Philips do Brasil Ltda, Blindex Vidros de segurança Ltda, Rohm and Haas Química Ltda, Kodak Brasileira Comércio e Indústria Ltda.

##### **4.1.1 Principais resultados**

A pesquisa realizada em empresas de grande porte e que já tem a certificação ISO 14001 coletou dados referentes a percepção e execução de práticas de gerenciamento ambiental, relacionamento com órgãos ambientais e ações futuras em gestão ambiental.

Em relação as práticas e percepção das questões ambientais, verificou-se que as empresas adotam algum tipo de procedimento gerencial, como disposição adequada de resíduos sólidos ou lixo industrial, reciclagem ou aproveitamento de sucatas, resíduos ou refugos, e controle de vibração e ruídos. A principal razão para adoção de práticas de Gestão Ambiental é estar em conformidade com política ambiental da empresa, e atender a exigência para licenciamento, além de reduzir custos de processos industriais.

As barreiras para solucionar os seus problemas ambientais são a disponibilidade de recursos técnicos para implantar as soluções ambientais. As fontes para as soluções das questões ambientais geralmente são desenvolvidas dentro da própria empresa com seus técnicos. O relacionamento dessas empresas com órgãos ambientais se estabelece principalmente através da fiscalização e licenciamento. Entre as causas que apresentaram maiores dificuldades destacam-se a disposição final, estocagem, transporte e utilização final do produto. Atualmente, na atividades de registro de controle e monitoramento, a mais praticada pelas empresas é a de controle de perdas de produtos e refugos de materiais, seguida de controle na geração de resíduos sólidos e posteriormente o controle e monitoramento na emissão de ruídos e vibrações. Em nenhuma empresa foi constatada punição ambiental.

As empresas, apesar de já estarem certificadas pela norma ISO14001, pretendem dar continuidade ao processo de melhoria em Gestão Ambiental. Entre os principais tipos de investimentos a serem realizados destacam-se as tecnologias de controle de perdas e refugos, o controle de ruído, seguido por tecnologia para conservação de energia. Todas as empresas pretendem realizar esses investimentos com recursos próprios.

##### **4.2 Pesquisa Gestão Ambiental nas Indústrias de Micro e Pequeno Porte de São José dos Campos.**

A segunda pesquisa executada neste trabalho foi realizada em empresas de micro e pequeno porte de São José dos Campos e teve o apoio da ASSECRE, Associação dos Empresários do Chácaras Reunidas. O questionário foi enviado diretamente ao dono ou diretor responsável, já que nenhuma das empresas pesquisadas tinha um setor específico ligado ao meio ambiente. Além do questionário escrito, a pesquisa foi realizada também por entrevista telefônica. Esta pesquisa foi realizada no Chácaras Reunidas, um bairro de São José dos Campos com predominância



industrial, onde se concentra um grande número de empresas de micro e pequeno porte. Pelos dados do 5º censo do Distrito Empresarial do Chácaras Reunidas, atualmente estão instaladas nesse distrito 241 empresas sendo 19 de micro porte e 97 de pequeno porte. Participaram dessa fase da pesquisa as empresas A&M Com. E Ind. Ltda, Acседar Ind. e Com. Ltda, Comac Comércio e Manutenção Ltda, Marchezoni Metalurgia Ltda.

#### 4.2.1 Principais resultados

A pesquisa realizada em empresas de micro e pequeno porte obteve dados referentes ao planejamento e execução de um Sistema de Gestão Ambiental, monitoramento e ações futuras nesse processo. Esse questionário foi composto das seguintes questões.

1. *A sua empresa tem algum tipo de preocupação associado à questão ambiental? Quais?*
2. *Qual é a principal razão para a adoção de práticas de gestão ambiental na sua empresa?*
3. *Existem procedimentos gerenciais relacionadas à questão ambiental na sua empresa? Quais?*
4. *Qual o relacionamento de sua empresa com órgãos ambientais?*
5. *Qual a principal razão que dificulta a solução dos problemas ambientais em sua empresa?*
6. *Como está o processo de adoção de Certificação Ambiental(ISO 14001)?*
7. *Em que área a empresa pretende realizar investimentos ambientais nos próximos anos?*
8. *Quais são as fontes para futuros investimentos na área ambiental*

As empresas pesquisadas ainda não têm uma preocupação específica para controlar o impacto ao meio ambiente. Entre as justificativas para isso pode-se destacar o fato de serem empresas pequenas e que acreditam que o potencial de impacto no meio ambiente seja “insignificante”. Portanto não possuem práticas de gestão ambiental dentro de suas empresas, apesar de adotarem procedimentos gerenciais que atenuam o impacto que possa acontecer. Como exemplo pode-se citar o controle na armazenagem de materiais evitando a perda pela ação da ferrugem.

Nenhuma das empresas tem relacionamento com órgãos ambientais para o processo de Gestão Ambiental. Entre as dificuldades na solução dos problemas ambientais está o conhecimento limitado da legislação ambiental e de normas ambientais como a série ISO 14000. Portanto, essas empresas ainda não adotaram procedimentos para a certificação.

Como investimentos futuros, pretendem aumentar o controle e monitoramento dos estoques, evitando as perdas de materiais. Para esses investimentos planejam a utilização de recursos próprios.

#### 5. Conclusões

A preocupação com a degradação do meio ambiente está mobilizando a população, indústrias e órgão governamentais, entre outras entidades. A indústria parece estar fazendo o seu papel, controlando os impactos causado ao meio ambiente. Um Sistema de Gestão Ambiental é um fator importante. Apesar da pesquisa ter sido realizada em São José dos Campos, em uma análise comparativa com a Pesquisa Gestão Ambiental nas Indústrias, de abrangência nacional, pode-se observar que reflete o cenário das indústrias instaladas no país.

A pesquisa revela que o Sistema de Gestão Ambiental implantado nas indústrias traz benefícios sociais, pois melhora a imagem junto a comunidade. Como benefícios econômicos, podem ser citados a redução de perdas de materiais, controle no uso de recursos naturais e a manutenção da competitividade dessa indústria, pois o mercado exige excelência ambiental, produtos que não agridam ao meio ambiente durante o processo e o descarte.

Essa mesma questão ambiental está chegando às empresas de pequeno e micro porte, Os empresários desse setor têm preocupações ambientais, e procuram, dentro de suas possibilidades, soluções que estão ao seu alcance. O processo de implantação de um Sistema de Gestão Ambiental em empresas de micro e pequeno porte ainda não está presente na maioria delas mas já faz parte de projetos futuros.

#### 6. Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14001:1996 “Sistema de gestão ambiental” - especificação e diretrizes para uso./ Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- Cajazeiras, Jorge Emanuel Reis. “ISO 14001”: Manual de Implantação. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.
- D’Avignon, Alexandre. “Normas ambientais ISO 14000”: Como podem influenciar sua empresa. 2ª Ed.- Rio de Janeiro: CNI, DAMPI, 1996.
- Guia Empresarial 2000/2001 ASSECRE Associação dos Empresários do Chácaras Reunidas.
- Indústrias de São José dos Campos. São José dos Campos: Prefeitura Municipal de São José dos Campos (PMSJC), Maio, 1999.
- Maimon, Dalia. “ISO 14001”: passo a passo da implantação nas pequenas e médias empresas. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.
- Pesquisa Gestão Ambiental na Indústria Brasileira. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Confederação Nacional da Indústria, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Rio de Janeiro: BNDES; Brasília, DF: CNI, SEBRAE, 1998.
- Tibor, Tom, Feldman, Ira. “ISO 14000”: um guia para as normas de gestão ambiental. Tradução de Bazán Tecnologia e Linguística. São Paulo: Futura, 1996.

[www.ambienteglobal.com.br](http://www.ambienteglobal.com.br)  
[www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)  
[www.cni.org.br](http://www.cni.org.br)  
[www.iso.ch](http://www.iso.ch)  
[www.meioambiente.sp.gov.br](http://www.meioambiente.sp.gov.br)  
[www.sebrae.org.br](http://www.sebrae.org.br)

## **ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM ADAPTED BY THE INDUSTRY IN SÃO JOSÉ DOS CAMPOS**

### **Roberto Kazuo Kuroshima**

Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP – IP&D Av. Shishima Hifumi, 2.911 – Urbanova CEP 12244-000 – São José dos Campos – SP email: rkaz@uol.com.br

### **Prof. Dr. Paulo Tadeu de Mello Lourenção**

Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP - FCSA Av. Shishima Hifumi, 2.911 – Urbanova CEP 12244-000 – São José dos Campos – SP email: lourenc@iconet.com.br

***Abstract.** The action of man on the nature has caused harmful environmental impacts. The analysis of these effect led to the conclusion that the economic growth without concern on environmental question would impact natural resources on a negative way. Among the technologies currently available for environmental control, norms and regulations related to environmental management systems are the basis for the industry to assume responsibility for the future of Earth. ISO 14001 is a management tool that produces positive results for the industry, the community and the environment. This works presents results related to a research effort done with some industries in São José dos Campos area.*

**Keywords.** environmental management, environmental norms, ISO 14000

# A UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS À PROVA DE ERROS: O *POKA YOKE* EMPREGADO NA MELHORIA DE DESEMPENHO DE PROCESSOS DE MANUFATURA

## Felipe Araújo Calarge

Universidade Metodista de Piracicaba – FEMP- Rod. Iracemápolis-SBO- km 01- CEP: 13450-000 - Santa Bárbara d'Oeste- SP  
e-mail: fcalarge@unimep.br

## José Carlos Davanso

Delphi Automotive Systems do Brasil Ltda.- Divisão Energy&Chassis Systems- Av. Leopoldo Dedini, 1363- Piracicaba- SP

**Resumo.** A utilização de dispositivos à prova de erros tem crescido em várias empresas, principalmente aquelas nas quais estão sendo conduzidos programas de melhorias de desempenho dos processos de manufatura, tais como o Controle de Qualidade Zero Defeito. Uma maneira de se atingir tal meta é através da implementação de dispositivos Poka Yoke, que se trata de uma abordagem já implantada há tempo por empresas japonesas, como uma eficaz ferramenta para atingir zero defeito e também eliminar inspeções de controle da qualidade. A principal premissa associada ao conceito do Poka Yoke é a de que as falhas humanas são inevitáveis, mas podem ser eliminadas prevenindo-se que uma falha venha a se tornar um defeito. Este trabalho descreve os conceitos envolvendo os dispositivos Poka Yoke, suas funções básicas e os tipos de dispositivos que podem ser usados para prevenir e detectar erros e defeitos. Também são exploradas as principais dificuldades verificadas na implantação dos conceitos relativos ao Poka Yoke, bem como necessidades de treinamento e envolvimento da força de trabalho de uma empresa fabricante de baterias e componentes eletrônicos para montadoras da indústria automobilística e mercado nacional de reposição de autopeças.

**Palavras chave:** Prevenção de Defeitos, Poka Yoke, Zero Defeito, Controle de Qualidade .

## 1. Introdução

A necessidade do desenvolvimento de metodologias que promovam a melhoria do desempenho dos processos de manufatura, há muito tem sido colocado como uma das principais prioridades de muitas organizações, sendo que recursos humanos e financeiros tem sido crescentemente empregados na busca de soluções que permitam aos sistemas de manufatura produzir a custos menores com maiores níveis de qualidade, podendo-se estar associado a diferentes dimensões da qualidade que envolvam desde as características de controle primárias de um produto até aspectos intangíveis de escolha.

Malhotra et al. (1994) em um estudo detalhado, identificaram e classificaram aspectos de manufatura os quais empresários e acadêmicos americanos julgavam como de maior importância e relevância para serem abordados durante a década dos anos 90, com a finalidade de estabelecer bases para que empresas pudessem adquirir competências para competirem em mercados globalizados. O estudo foi conduzido tomando como base a metodologia Delphi (Turoff & Hiltz, 1995), reunindo 86 vice-presidentes de empresas americanas com faturamento superior a 50 milhões de dólares anuais, as quais se dispuseram a participar deste estudo que teve a duração aproximada de um ano, objetivando ressaltar entre o público pesquisado os maiores pontos a favor e contra as questões elencadas.

Este trabalho relacionou quais eram os aspectos estratégicos de maior importância pelos pesquisados, bem como através de quais táticas poderia-se contemplar as estratégias relacionadas, sendo que uma importante observação é que aspectos relacionados à gestão e controle da qualidade foram relacionados como estratégias e táticas de maiores prioridades a serem abordadas. A Tabela (1) relaciona os cinco aspectos estratégicos e táticos relacionados como de maior importância na manufatura dos anos 90, destacando-se a gestão da qualidade como o aspecto estratégico citado como de maior importância nesta pesquisa, devendo estar pautadas em melhorias contínuas no ambiente de manufatura, caracterizando-se como uma importante fonte de vantagem competitiva para as organizações. No tocante aos aspectos táticos, o controle da qualidade é relacionado como o de maior prioridade, devendo-se estar direcionado dentre outras abordagens pela diminuição de perdas e retrabalhos, estabilização de processos produtivos e satisfação das necessidades dos clientes, sejam estes internos ou externos à organização.

Esta situação denota a importância assumida pelos ambientes de manufatura no combate às fontes de desperdício, tendo como foco a totalidade do fluxo produtivo e não apenas as operações na sua forma individualizada. Dentro desta abordagem, Zimmer (2000) esclarece que o processo de melhorias poderia se dar das seguintes formas no ambiente de manufatura:

- Melhorias conduzidas nas operações de manufatura, cuja ênfase seria na redução de perdas através de uma análise detalhada das causas destas perdas (equipamento, mão-de-obra, materiais, métodos, etc.), identificando e resolvendo as raízes destas causas
- Melhorias conduzidas no processo de manufatura, cuja ênfase seria a eliminação de inspeções e do retrabalho através da garantia na fonte da qualidade. Isto seria atingido determinando-se os parâmetros de manufatura que são responsáveis pela produção de peças em conformidade, e então monitorando e ajustando rigorosamente cada operação de manufatura no sentido de atingir tais parâmetros de manufatura.

Em ambas as situações deve-se aliar um programa de prevenção de erros em cada etapa do processo de manufatura, envolvendo equipamentos e estações de trabalho, desenvolvendo dispositivos e procedimentos que garantam que as peças só sejam produzidas em conformidade com as especificações requeridas. Uma das maneiras de se conduzir uma metodologia de prevenção de erros na fonte do processo é através da utilização de dispositivos *Poka Yoke*, cuja conceituação, classificação e aplicações serão descritas nos itens seguintes.

Tabela 1. Importantes aspectos estratégicos e táticos da manufatura nos anos 90 (Adaptado de Malhotra et al., 1994).

Prioridade em Aspectos Estratégicos		Ênfase
1ª	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gerenciamento da Qualidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Essencial para a excelência nos anos 90, impactando fortemente a competitividade da organização, devendo ser visualizada como um processo de melhoramento contínuo.</li> </ul>
2ª	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estratégia de Manufatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Representa a visão de integração e otimização dos outros aspectos de manufatura, capturando a missão da empresa.</li> </ul>
3ª	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tecnologia de Processo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Necessário utilizar o estado da arte em tecnologia para suprir as expectativas dos clientes, considerando os principais fatores competitivos: flexibilidade para <i>mix</i> de produtos e tempo de resposta ao mercado.</li> </ul>
4ª	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desenvolvimento Organizacional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pessoas são pontos chave das mudanças que estão ocorrendo, devendo criar uma estrutura para atrair, treinar e reter bons funcionários.</li> </ul>
5ª	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planejamento do Produto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Direcionado para as rápidas mudanças de mercado, enfatizando a simplicidade e efetividade do produto, devendo envolver outros setores da manufatura desde a concepção do produto.</li> </ul>
Prioridade em Aspectos Táticos		Ênfase
1ª	<ul style="list-style-type: none"> <li>Controle da Qualidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>É um aspecto absoluto nos dias atuais, onde estabelece-se cada vez mais menores índices de perdas, minimiza-se as variações, qualifica-se vendas, etc., buscando a satisfação do cliente.</li> </ul>
2ª	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas de Planejamento e Controle da Manufatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integração e simplicidade de processos e/ou sistemas são necessários nos dias atuais, buscando principalmente na comunicação a solução para problemas. Sistemas de manufatura integrados por computador contribuem para diminuir tempos de produção e melhorar níveis de qualidade.</li> </ul>
3ª	<ul style="list-style-type: none"> <li>Supervisão da Força de Trabalho</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Motivação e participação são essenciais para melhorias de produtividade e qualidade, buscando uma supervisão da força de trabalho que promova o desenvolvimento pessoal.</li> </ul>
4ª	<ul style="list-style-type: none"> <li>Política de Compras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve-se reduzir custos de vendas do produto buscando-se competitividade principalmente através de abordagens de equipe, fontes mundiais de fornecimento, análise de mercados, melhorias na agregação de valor em processos e custeio do ciclo de vida de produtos.</li> </ul>
5ª	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestão de Materiais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abordagem integrada de gestão de materiais, buscando oportunidades focadas na redução de capital empregado e aumento dos lucros.</li> </ul>

## 2. A abordagem de prevenção de erros através da utilização de dispositivos *Poka Yoke*.

O erro humano têm sido uma grande preocupação no ambiente de manufatura e nos sistemas produtivos em geral, pois englobam aspectos que vão desde a concepção destes sistemas até a sua operação. Uma análise dos últimos 30 anos mostra que nos sistemas aeroespaciais tem-se uma porcentagem de falhas creditadas ao erro humano que varia de 50 e 75% do total de falhas verificadas. De certa maneira o que se tem constatado com frequência é que a maior parte dos estudos visando a confiabilidade de sistemas tem-se pautado na análise de máquinas e seus componentes, preterindo a influência do homem, que tem significativa importância dentro do sistema produtivo (IMAM, 1998).

A confiabilidade humana envolve a probabilidade de que uma tarefa ou serviço seja feito com sucesso dentro do tempo reservado para o mesmo, sendo que a Fig. (2) ilustra o impacto do erro humano sobre a falha do sistema durante o ciclo de vida de um dado produto. Pode-se verificar que os erros de montagem depois de um certo tempo diminuem muito e eventualmente podem atingir uma taxa constante, sendo que o mesmo acontece com os erros devidos a manutenção, com exceção do que ocorre em sua fase inicial, quando existe uma probabilidade maior de quebra de equipamento, de forma que se tem mais trabalho e maior possibilidade de erro.

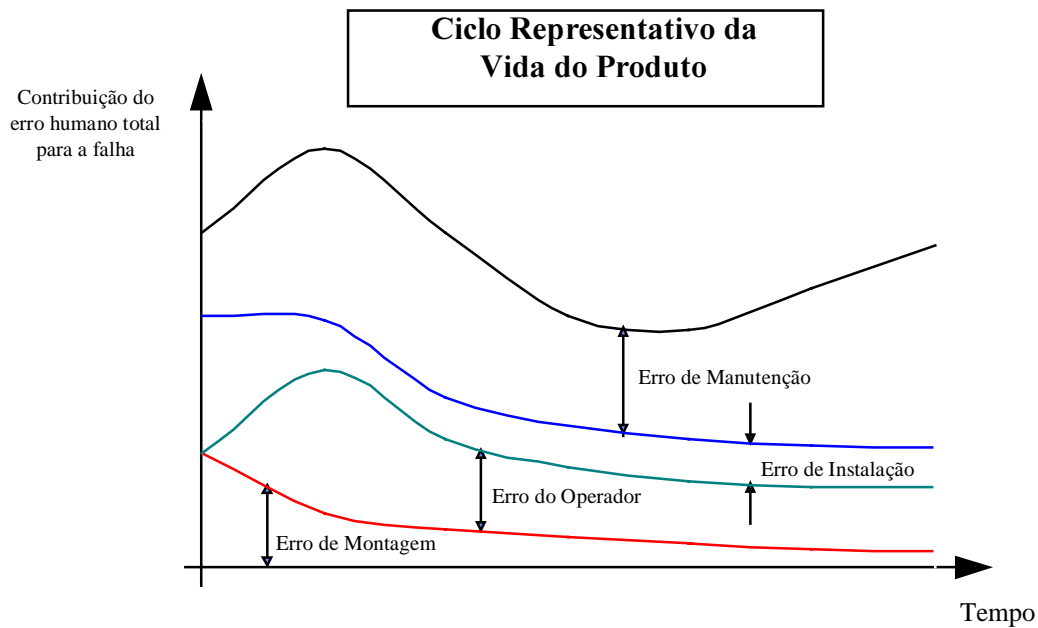


Figura 2. Confiabilidade Humana: contribuição proporcional das diferentes espécies de erro humano para a falha do sistema (IMAN, 1998).

Segundo Juran (1992), os erros humanos podem ser classificados segundo as definições a seguir:

a) Erros por Inadvertências

São aqueles que no momento em que são cometidos, não se percebe a sua ocorrência, podendo ser divididos em: não intencionais, inconscientes e imprevisíveis. As soluções para estes tipos de erros por inadvertências envolvem basicamente a concentração na execução das tarefas e redução de extensão da dependência humana.

b) Erros Técnicos

Este grupo pode envolver várias categorias de erros relacionados fundamentalmente à falta de aptidão, habilidade e conhecimento para a execução de determinada tarefa, podendo ser divididos em: não intencionais, específicos, conscientes e inevitáveis. As soluções para estes tipos de erros técnicos envolvem basicamente treinamento, mudança tecnológica e melhorias no processo.

c) Erros Premeditados

Este grupo pode também assumir diversas formas, estando relacionado fundamentalmente a questões de responsabilidade e comunicação confusas, podendo ser divididos em: conscientes, intencionais e persistentes. Algumas possíveis soluções para este tipo de erro premeditado estariam relacionadas à delegação de responsabilidades e melhoria de comunicação interpessoal.

Assim, reconhecendo o erro como inevitável dentro da natureza humana, torna-se importante adotar uma abordagem que previna a sua ocorrência, impedindo que o mesmo venha a se manifestar na forma de defeito.

**2.1. Métodos e dispositivos *Poka Yoke*: conceituação e principais classificações.**

O conceito do *Poka Yoke* foi concebido inicialmente por Shingo (1992), verificando que as características de controle em um determinado produto eram conduzidas basicamente através de três tipos de técnicas baseadas em inspeção que eram: inspeção por julgamento, inspeção informativa e inspeção na fonte.

Na inspeção por julgamento, os produtos com defeito são separados dos produtos bons após o processamento, em geral através de amostragem, revelando alguns defeitos antes da entrega mas não diminuindo o índice de defeitos verificados.

Na inspeção informativa dá-se o passo seguinte, ou seja, investiga-se estatisticamente as causas dos defeitos e transmite-se tais informações aos processos apropriados, de forma a se tomar medidas para reduzir os defeitos. No entanto, com muita frequência, estas informações demoram a chegar na origem do problema, de maneira que defeitos continuam a ser produzidos.

A inspeção na fonte trabalha na origem de onde está ocorrendo o processo, dando um retorno imediato e evitando que os erros se transformem em defeitos. Este tipo de inspeção é conduzido durante o tempo limitado em que a peça está sendo posicionada para uma operação, ou logo depois que ela sai da máquina, de maneira que utilizando este meio de inspeção os erros podem ser corrigidos antes que se transformem em defeitos.

Logo, a inspeção na fonte constitui-se em um importante aspecto para que se elimine o defeito dos processos de manufatura em busca do que se denomina de "Controle de Zero Defeito" (Shingo, 1986), constituindo-se os

dispositivos *Poka Yoke* como os meios para se garantir a não ocorrência destes defeitos. Os dispositivos ou mecanismos *Poka Yoke*, também denominados de mecanismos de prevenção de erros ou à prova de falhas, tem sua origem da língua japonesa (*yokeru*: evitar; *poka*: erros inadvertidos), sendo utilizado a muito tempo pela indústria manufatureira japonesa, tendo sido esta idéia sistematizada e aperfeiçoada por *Shigeo Shingo* como um meio de se atingir o zero defeito e eventualmente eliminar as inspeções para o controle de características da qualidade (Shimbun Nikkan Kogyo, 1988).

Um dispositivo *Poka Yoke*, dentro da manufatura tem como funções básicas a paralisação de um sistema produtivo (máquina, linha, equipamento, etc.); o controle de características pré-estabelecidas do produto e/ou processo e a sinalização quando da detecção de anormalidades. Tais funções básicas podem ser utilizadas para prevenir um defeito impedindo a sua ocorrência, ou detectando o mesmo após a sua ocorrência, podendo assim ser classificados como (Moura & Banzato, 1996):

- Função Reguladora
- Mecanismos de Detecção

A Figura 3 ilustra esquematicamente as funções dos dispositivos *Poka Yoke*.

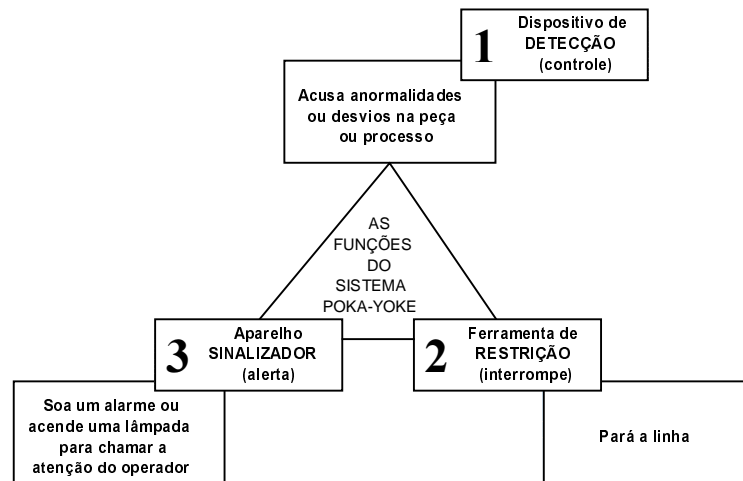


Figura 3: Esquematização das funções dos dispositivos *Poka Yoke* (Moura & Banzato, 1996)

Com relação a estas funções, os dispositivos *Poka Yoke* podem utilizar os seguintes métodos ilustrados na Fig. 4 a seguir:

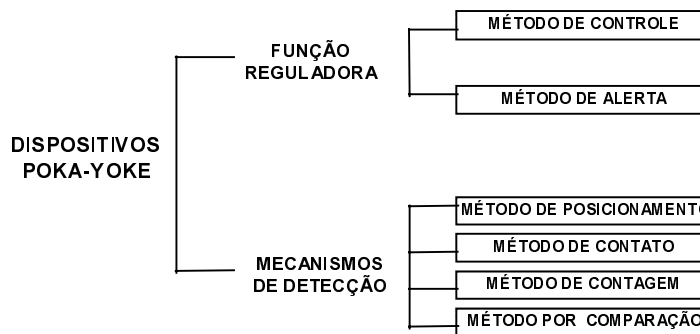


Figura 4: Métodos de atuação dos dispositivos *Poka Yoke* (Moura & Banzato, 1996)

Tais métodos tem como principais objetivos dentro de um sistema de manufatura:

- a) Método de Controle: são métodos que na ocorrência de anormalidades paralisam o equipamento ou interrompem a operação, evitando assim a ocorrência ou reincidência de defeitos.
- b) Método de Alerta: são aqueles métodos que na ocorrência de anormalidades ativam sinais luminosos ou sonoros de alerta, indicando a necessidade de providências sem contudo paralisar o equipamento ou interromper a operação.
- c) Métodos de Posicionamento: consistem na elaboração de dispositivos que permitem a condução da operação, somente quando do posicionamento correto do conjunto de elementos envolvidos nesta operação, impedindo fisicamente que tal conjunto seja montado de forma inadequada.
- d) Métodos de Contato: estão baseados na liberação da condução de uma operação, a partir do contato de sistemas de sensores que indicam condição adequada para operação.

e) Métodos de Contagem: através da contagem de elementos verifica-se as características de conformidade do conjunto, alertando no caso de detecção de anormalidades e impedindo a continuidade da operação.

f) Métodos de Comparação: utilizando-se dispositivos que possibilitem comparação de grandezas físicas (temperatura, pressão, torque, etc.), impedindo a continuidade da operação quando da detecção de anormalidades.

Feitas tais definições uma questão que se coloca é qual a melhor abordagem para implantar dispositivos *Poka Yoke* e como definir qual método a ser utilizado? Além disso, qual o comportamento da força de trabalho de uma empresa frente a abordagem de mecanismos à prova de erros? Procurando esclarecer algumas destas questões, será descrito a seguir um estudo de caso sobre a implantação de dispositivos *Poka Yoke*, ressaltando pontos e aspectos importantes desta experiência.

### 3. A experiência da aplicação de dispositivos *Poka Yoke* em uma empresa do setor automobilístico.

A empresa onde foi conduzido o estudo de caso sobre a aplicação de dispositivos *Poka Yoke*, pertence ao ramo automobilístico, sendo um dos grandes fornecedores para várias montadoras de automóveis no Brasil e na América Latina, possuindo também uma presença marcante no mercado de produtos de reposição nos países onde atua. A unidade fabril em questão conta atualmente com cerca de 1000 colaboradores e ocupa uma área construída de 40.000 m<sup>2</sup>, sendo que dentre os principais produtos em linha da empresa encontram-se: sistemas de controle de armazenamento e conservação de energia (SCACE); sistemas de controle de fluxo de ar e combustível para o motor (SCACM); sistemas de controle de emissão de gases de escape (SCEGE); sistemas de ignição (SIG); solenóides e sensores de monitoramento aos sistemas citados (SSM).

Atualmente a empresa possui 25 dispositivos *Poka Yoke* implantados, sendo distribuídos da seguinte forma: 08 mecanismos implantados na linha SCACE; 06 mecanismos implantados na linha SIG; 06 mecanismos implantados na linha SSM; 03 mecanismos implantados na linha SCEGE e 02 mecanismos implantados na linha SCACM. Destes 25 dispositivos *Poka Yoke* instalados, tem-se como principais características:

- Um total de 23 mecanismos tem como função o controle e os 02 mecanismos restantes tem como função o alerta de anormalidades
- A possibilidade de inspecionar e prevenir anormalidades está presente em 15 mecanismos *Poka Yoke*, sendo que os 10 mecanismos restantes podem apenas detectar anormalidades

A principal forma de organização da força de trabalho nesta empresa se dá através da formação de times de trabalho (Golbarg, 1995), os quais tem como características principais o agrupamento por linhas de produto da empresa, envolvendo assim pessoas de diferentes áreas dentro da empresa, mas que estão envolvidos com uma mesma linha de produtos. Na área de produção, os operadores são alocados aos times de trabalho de acordo com as linhas de produção em que os mesmos atuam, possuindo responsabilidades também sobre aspectos que envolvam itens de qualidade, segurança e manutenção.

Tais times de trabalho são os responsáveis por gerar a necessidade de instalação de um dispositivo *Poka Yoke*, sendo que tal necessidade deriva dos seguintes aspectos principais:

- Enfoque de melhoria contínua conduzido principalmente por abordagens de análise e solução de problemas (MASP) e modo de análise e prevenção de falhas no processo (PFMEA).
- Enfoque de prevenção e redução de riscos de trabalho

Na condução dos trabalhos de implantação de um dispositivo *Poka Yoke* é designado um responsável do time de trabalho, que com o apoio do time dá o andamento do plano de implementação do dispositivo, promovendo reuniões para condução de processos de *brainstorm*, elaboração de diagramas causa-efeito, análise de dados operacionais de equipamentos, análise de dados de perdas e retrabalhos do produto, análise de cartas de controle e do CEP (Controle Estatístico do Processo) e outros. Alguns pontos preliminares que são abordados visando estabelecer a necessidade e a melhor adequação dos dispositivos *Poka Yoke* envolvem análise de aspectos, tais como a identificação do produto e suas características primárias principais (peso, dimensão, forma, etc.) e identificação de condições críticas de processamento (número máximo de peças, temperatura, pressão, tempo, etc.).

#### 3.1 O processo de aceitação e validação de um dispositivo *Poka Yoke*.

A empresa em questão executa um processo de aceitação e validação de um dispositivo *Poka Yoke*, o qual envolve também a definição de responsabilidades no acompanhamento da eficácia do dispositivo proposto. Neste caso, o time de trabalho responsável pela implantação de um dispositivo deverá inicialmente construir um protótipo do dispositivo e realizar a sua validação.

A validação de um dispositivo é feita através de 100 verificações de peças, sendo que destas verificações devem ser consideradas de forma aleatória 10% de verificações em conformidade e 90% de verificações em não-conformidade com as características estabelecidas, de maneira que se considera um dispositivo *Poka Yoke* válido se o mesmo conseguir detectar a totalidade de peças em não-conformidade, impedindo assim que o erro se manifeste em defeito, e não atuar sobre as peças que estão em conformidade com as características controladas. Caso o dispositivo falhe neste

controle, o processo de validação é interrompido, sendo feito uma análise para a detecção da causa desta falha e solução do problema, para novamente ser reconduzido outra validação do dispositivo.

Na condução deste processo são definidas responsabilidades com relação a:

a) Quando a implantação envolver melhoria contínua:

- O time de trabalho é responsável pelo desenvolvimento, instalação e validação do dispositivo
- A engenharia da qualidade deve controlar a codificação e preencher os registros de controle de dispositivos

b) Quando a implantação estiver relacionada com um produto em desenvolvimento:

- O time de trabalho é responsável pelo desenvolvimento, instalação e validação do dispositivo
- A engenharia da qualidade deve controlar a codificação e preencher os registros de controle de dispositivos
- A engenharia de manufatura deve atualizar a documentação do Plano da Qualidade, Instruções de Processo e PFMEA.

A Figura 5 a seguir ilustra os procedimentos e condutas seguidos na empresa para implantação e validação de um dispositivo *Poka Yoke*.

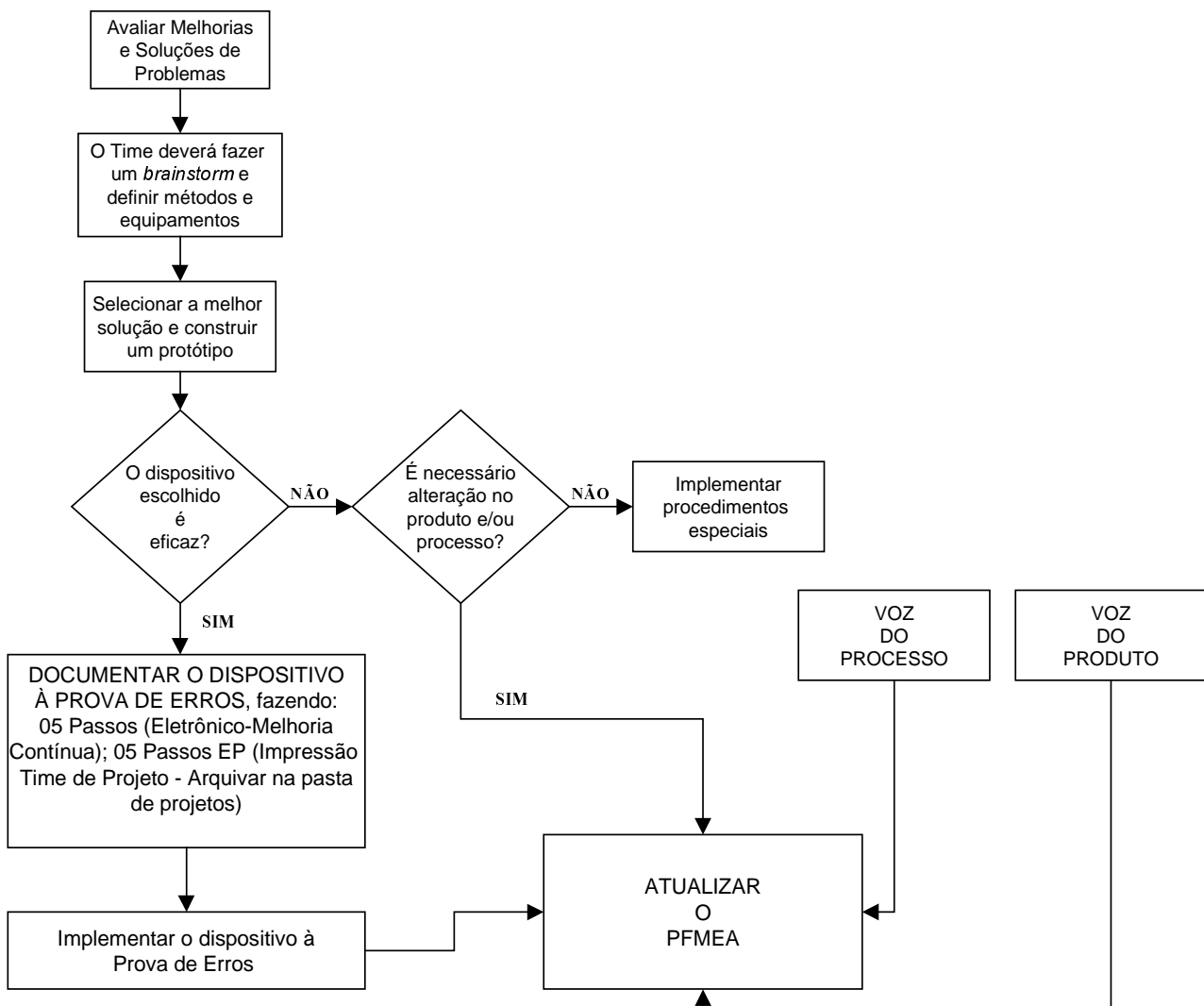


Figura 5: Fluxograma de procedimentos para implantação de dispositivos *Poka Yoke* na empresa analisada.

#### 4. Pontos importantes e recomendações na instalação de dispositivos *Poka Yoke*

A análise e experiência no acompanhamento da implantação de dispositivos *Poka Yoke* nesta empresa fornecedora do setor automotivo, mostrou pontos importantes que devem ser observados e seguidos para que se tenha sucesso na aplicação destes dispositivos à prova de falhas na busca do zero defeito. Alguns pontos verificados já eram esperados em função do relatado pela literatura da área, mas outros pontos necessitam ser melhor explorados, pois apresentam



características que podem envolver aspectos da cultura organizacional da empresa. Alguns pontos de maior relevância verificados foram:

a) A questão do treinamento

Demonstrou ser um ponto fundamental para a implantação de dispositivos *Poka Yoke*, verificando contudo a observação de que não se pode esperar que apenas com treinamento todos os problemas sejam resolvidos, sendo também necessário a verificação da eficácia dos treinamentos e se o problema a ser abordado é possível de ser resolvido apenas com treinamento. Em algumas situações verificou-se que devido a característica do problema ou da falha não era possível a obtenção de 100% de acerto, ocorrendo tal situação principalmente quando o trabalho era muito repetitivo. Neste caso, optou-se pela implantação de um dispositivo a prova de falha acompanhado de treinamento para realização das verificações necessárias quanto ao funcionamento do dispositivo, pois tal dispositivo tirou do operador a incumbência de verificar pequenos detalhes, que podem passar despercebido em operações de caráter muito repetitivo.

b) A questão do comprometimento e motivação

Um aspecto verificado é que apesar de muitas vezes os dispositivos *Poka Yoke* envolverem características eminentemente técnicas e relativas às especificidades das áreas, é fundamental o apoio dos níveis gerenciais na condução dos trabalhos, pois quanto maior o comprometimento existente por parte da gerência maior o envolvimento e motivação dos times de trabalho. Neste aspecto, também é importante a motivação individual e do time de trabalho, constatando pelo exemplo da empresa analisada que a possibilidade das pessoas se expressarem e exporem idéias, sendo incentivadas na participação da análise e solução de problemas, permite com que tais pessoas se sintam mais seguras e motivadas nas suas funções.

c) A questão da mudança de postos de trabalho

A situação de rotatividade no desempenho de tarefas, colocado como um ponto importante na formação de mão-de-obra multifuncional e polivalente, mostrou que deve ser analisada com certas restrições, principalmente quando se trata de operações dedicadas que requeiram habilidade e qualificação específica. Nestes casos, o tempo e treinamento requeridos para uma interação adequada com o equipamento e com os dispositivos *Poka Yoke* instalados podem não prescindir da experiência e familiarização com os mesmos. Assim, verificou-se nesta situação que a rotatividade de funções em alguns casos contribuía para uma maior frequência de falhas e paralisações por falta de conhecimento específico das atividades.

d) A questão dos recursos financeiros

Alguns aspectos que envolvem recursos financeiros destinados à implantação de dispositivos *Poka Yoke* são vitais para a viabilidade de execução da proposta, devendo ser considerado: custos relativos à implantação; vida útil estimada do produto ou da linha de produção onde o dispositivo será instalado; taxa esperada do retorno do investimento efetuado na implantação; eficácia do dispositivo comparativamente à taxa de não-conformidades esperada ou permitida. Um caso verificado neste estudo pode melhor ilustrar esta questão, pois tratava-se de uma nova máquina a ser adquirida pela empresa visando instalação em determinada linha de produção, onde através de uma análise conduzida por um time de trabalho constatou-se a necessidade de instalação de um dispositivo a prova de falha que evitasse a montagem errada da peça na máquina, pois tal peça apresentava características com relação a aspectos dimensionais imperceptíveis ao operador. Feito o levantamento do orçamento para instalação de um dispositivo *Poka Yoke* que pudesse atuar sob tais condições, verificou-se que o valor aproximado estava na faixa de US\$ 20.000, o que constituía à primeira vista num elevado desembolso para tal situação, necessitando de consistentes argumentos e justificativas para a implantação de tal dispositivo *Poka Yoke*. A estratégia adotada foi de realizar um treinamento com os funcionários envolvidos no processo produtivo para fazer uma simulação de montagem do produto, de forma que fosse realizada da maneira mais próxima da realidade, ou seja, com as peças que realmente seriam utilizadas na produção, mas sem fazer o fechamento final do conjunto para que houvesse a possibilidade de desmontagem para verificação, e também para não gerar perda caso a montagem estivesse errada. O resultado obtido nesta simulação foi de que em 200 peças montadas 12 apresentaram erro na montagem, sendo que cada peça tinha um custo estimado R\$35,00; a produção mensal seria de 30.000 peças e a expectativa de vida menos otimista desse produto era de cinco anos, com a possibilidade de utilização deste equipamento no produto substituto. Nesta condições o retorno sobre o investimento se daria em menos de 30 dias, tendo assim consistentes argumentos para justificar à alta administração da empresa a viabilidade de se investir neste dispositivo *Poka Yoke*.

#### 4.1 Aspectos verificados com relação à eficiência dos dispositivos *Poka Yoke*

A maior parte dos dispositivos *Poka Yoke* instalados na empresa em questão são baseados nos métodos de controle, os quais possibilitam tanto a prevenção quanto a detecção de falhas, pois paralisam o equipamento impedindo assim que a operação seguinte seja executada, tendo o funcionário necessariamente de retirar a peça que causou a parada de máquina do seu fluxo normal para que seja reiniciada a produção.

Nos dispositivos baseados nos métodos de alerta, seja por sinal luminoso ou sonoro, nem sempre ocorre a parada da máquina de imediato, pois o operador pode não estar naquele momento no posto de trabalho ou não ouvir o sinal sonoro, sendo que nestes casos ocorre a continuidade da operação podendo ser produzidas peças em não-conformidade, o que diminui a eficiência dos dispositivos, dado que os mesmos dependem da ação humana.

De maneira geral, a conduta genérica adotada pela empresa em questão tem como uma primeira abordagem que para sistemas de produção onde as operações são executadas por várias máquinas em seqüência, existindo a possibilidade de ocorrência de falhas durante o processo de fabricação, utilizar dispositivos baseados no método de controle que conduzem à parada do equipamento. Para equipamentos dispostos de maneira isolada e que executam uma única operação, o indicado são dispositivos baseados no método de alerta.

Pode-se também constatar no estudo de caso conduzido, que a forma mais indicada e mais econômica de inspeção é a prevenção, pois impede-se que a falha detectada prossiga no fluxo de produção, dado que ocorre a parada da máquina, evitando assim a geração de sucata ou retrabalho de peças. Porém nem sempre é possível instalar um sistema que tenha como forma de inspeção a prevenção, podendo isso ser impossibilitado por características geométricas do produto ou mesmo pela seqüência de operação. Um exemplo desta situação foi verificado em um produto de armazenamento e conversão de energia, onde ocorreu uma montagem de cabos elétricos com polaridade invertida, sendo que tal operação dependia exclusivamente da atenção do operador durante a conexão dos cabos, não existindo meios para a instalação de um sistema de falha neste posto de trabalho. Neste caso a falha só vai ser detectada quando o produto for submetido ao teste de descarga rápida, o qual tem acoplado um dispositivo de inspeção de detecção de polaridade inversa. Por isso, a recomendação é de dispositivos de prevenção, pois neste caso não seria gerado sucata, não se teria consumido energia desnecessária no processo e não se teria utilizado mão de obra desnecessária, situações estas que certamente contribuiriam para maior produtividade e menor custo do produto, alavancando a posição competitiva da organização.

No tocante aos dispositivos *Poka Yoke* com relação aos mecanismos de detecção, na empresa em questão verificou-se que os métodos mais seguros são os de contato e os de movimento, uma vez que para a execução da operação seguinte a máquina depende do sinal de liberação do dispositivo. O método de movimento só é utilizado quando não houver possibilidade de instalação de outro método devido a característica do produto ou da máquina, pois nestes casos devido a detecção ser feita através da ocorrência de um número determinado de movimentos iguais e repetitivos, a interrupção ocorre baseada na quantidade de movimentos necessários para a operação, podendo assim ocorrer uma falha durante a operação e a mesma só ser acusada no final do processo, gerando assim sucata ou retrabalho da peça.

Com relação a quantidade de dispositivos *Poka-Yoke* instalados na empresa onde foi conduzido este estudo de caso, vale salientar que só foram analisados e considerados os dispositivos instalados após o recebimento dos equipamentos, dadas necessidades de melhorias do processo produtivo e da qualidade dos produtos. Os dispositivos que são originário do equipamento, ou aqueles que pela experiência dos times responsáveis pela implantação de novas linhas ou de novos produtos são solicitados aos fabricantes que incluam em seus equipamentos, não foram objetivo de análise deste trabalho.

## 5. Considerações Finais

Na atualidade, o desempenho de fornecedores tem sido um aspecto constantemente avaliado e considerado para futuras cotações e fornecimentos de novos produtos, como também para a continuidade dos negócios já existentes, tendo como principais critérios básicos considerados: qualidade, preço e prazo de entrega. Tomando-se como exemplo a empresa onde o estudo de caso foi realizado, um dos clientes principais que é uma das grandes montadoras automotivas instalada no Brasil, avalia mensalmente o quesito qualidade considerando um indicador de desempenho denominado RRPPM (Retorno de Peças Rejeitadas a cada Um Milhão de Peças Recebidas), definindo que fornecedores ativos e em condições de cotações para novos produtos deverão possuir um índice inferior à 250 RRPPMs. Este exemplo ilustra o fato de que em muitos segmentos industriais, para que as empresas possam ser competitivas no mercado em que atuam considerando dentro outros aspectos aqueles relativos a qualidade, preço e prazo de entrega, novas ferramentas e técnicas devem ser desenvolvidas e assimiladas tendo como enfoque principal o de melhorias contínuas.

Um dos fatores que propiciaram aos dispositivos *Poka Yoke*, idealizados e introduzidos inicialmente no âmbito das empresas japonesas e sendo posteriormente difundidos mundialmente, foi a busca de melhores indicadores de retrabalho e perdas de materiais tendo como meta o nível de zero defeito.

No estudo de caso conduzido nesta empresa fornecedora de montadoras automotivas, observou-se que a os dispositivos *Poka Yoke* cumpriram sua função de obter um processo livre de defeitos e no fortalecimento da imagem dos produtos perante os cliente externos, dado que se trata de um segmento competitivo em nível mundial e empresas concorrentes estavam conduzindo estratégias agressivas de aumento de mercado.

Como citado anteriormente e constatado durante o estudo de caso, os dispositivos *Poka Yoke* devem ser concebidos basicamente a partir de princípios simples, de baixo custo de fabricação e que possam reduzir o índice de perda a zero. Nestas condições, o investimento efetuado na implantação dos dispositivos *Poka Yoke* tornam-se baixos em relação as vantagens obtidas no processo produtivo.

Outro importante aspecto verificado no estudo de caso, é que a implantação de dispositivos *Poka Yoke* caminhou junto com esforços das empresas na tentativa de envolver os funcionários nas mudanças e aperfeiçoamento dos processos produtivos, fazendo com que os mesmos pudessem sentir-se integrados e comprometidos com os objetivos e estratégias da organização. A possibilidade e liberdade dos funcionários exporem suas idéias e o envolvimento dos mesmos na análise e solução de problemas permitiu eliminar-se a sensação de culpa e frustração quando se comete um

erro, permitindo que aumentasse a iniciativa dos funcionários em propor melhorias e inovações nos processos produtivos. Como constatado no início da implantação dos primeiros dispositivos na empresa analisada, uma das maiores dificuldades na busca do zero defeito residia nas próprias pessoas em aceitarem as mudanças necessárias e no receio que tais mudanças pudessem implicar na substituição destas pessoas, podendo tais dificuldades serem minoradas e quase que totalmente irradicadas, através de treinamento, conscientização e incentivo da força de trabalho na participação e envolvimento na reorganização dos processos produtivos.

## 6. Referências

- Golbarg, Marcos César, 1995, “Times – ferramenta eficaz para a qualidade”, São Paulo: Makron Books do Brasil Ltda., 273p.
- IMAN, 1998, “Poka Yoke - Métodos à Prova de Falhas”, 86p.
- Juran, J.M., Frank, M. Grina, 1992, “Controle de Qualidade-Handbook: ciclo dos produtos, inspeção e teste”, v.IV, São Paulo: Editora Makron Books do Brasil Ltda., 226p.
- Malhotra, M. K., Steele, D. C., Grover, V., 1994, “Important strategic and tactical manufacturing issues in the 1990s” Decision Science, v.25, n.2, March-April.
- Moura, A. Reinaldo, Banzato, J. Maurício, 1996, “Poka-Yoke: a eliminação dos defeitos com o método à prova de falhas”, São Paulo: IMAN, 80p.
- Shimbun Nikkan Kogyo, 1988, “Poka-Yoke: improving product quality by preventing defects”, Cambridge: Productivity Press, 282p.
- Shingo, Shigeo, 1986, “Zero quality control: source inspection and Poka Yoke system”, Cambridge: Productivity Press, 303p.
- Shingo, Shigeo, 1992, “The Shingo Production Management System: Improving Process Functions System”, Edited by Productivity Press: Cambridge, 283p.
- Turoff, M. , Hiltz, S. R.,1998, “Computer based Delphi processes” Disponível na Internet.  
<http://eies.njit.edu/~turoff/Papers/delphi3.html#Contents>, 16 January.
- Zimmer, Larry, 2000, “Get lean to boost profits”, Forming and Casting Magazine, v.7, n.2, February.

## THE UTILIZATION OF MISTAKE PROOFING DEVICES: POKA YOKE’S CONCEPT EMPLOYED IN THE PERFORMANCE IMPROVEMENT OF THE MANUFACTURING PROCESSES.

### Felipe Araújo Calarge

Methodist University of Piracicaba – Faculty of Mechanical and Industrial Engineering - Rod. Iracemápolis – SOB – km 01 – CEP: 13450-000 – Santa Bárbara d’Oeste – SP - Brazil  
 e-mail: fcalarge@unimep.br

### José Carlos Davanso

Delphi Automotive Systems do Brasil Ltda.- Energy & Chassis Systems Division- Av. Leopoldo Dedini,1363- Piracicaba- SP – Brazil.

**Abstract.** *The utilization of mistake proofing devices are increasing in many companies, mainly those that are engaged in programs related with the performance improvement of the manufacturing process, such as Zero Defect Quality Control. One approach in order to reach this goal is by implementing the Poka Yoke devices, which although the concept has existed for a long time, the japanese industries had been developed and implemented this concept like a tool for achieving zero defects and also eliminate quality control inspections. The mainly premise involved in the Poka Yoke concept is that the human errors are inevitable, but can be eliminated by preventing that a failure becomes in a defect. The utilization of the Poka Yoke concept is one of the parts in order to achieve the Lean Manufacturing, which is based in the continuous flow production. This paper relates the concepts involved in the Poka Yoke devices, its basic functions and the kinds of variety that can be used to prevent and to detect errors and defects. It is explored also the mainly difficulties in the implementation of the Poka Yoke concept and the necessities related with the training and compromising of the work force and also the staff of the company. Finally is described the fully process of implementation Poka Yoke devices in a company producer of batteries and electronic components for the automobilist industries and supplier market.*

**Keywords:** *mistake proofing, Poka Yoke concept, Zero Defect, Quality Control.*

## SISTEMA PARA BALANCEAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM BASEADO NO MÉTODO COMSOAL

Eduardo Takashi Togawa

Júlio Vital Diniz de Paula

Alberto José Álvares

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica, Graco - Grupo de Automação e Controle, CEP 70910-900, Brasília, DF.

[togawa@zaz.com.br](mailto:togawa@zaz.com.br), [juliodepaula@yahoo.com](mailto:juliodepaula@yahoo.com) & [alvares@alvarestech.com](mailto:alvares@alvarestech.com)

*Resumo. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um programa para o balanceamento de linhas de montagem baseado no método COMSOAL. O problema de balanceamento de linha consiste em arranjar os processos individuais em estações de forma que o tempo de cada estação montada seja aproximadamente o mesmo. Assim, este tempo determinará o fluxo de produção, havendo um aumento da produtividade. Atualmente o uso de computadores nos permite uma maior rapidez e eficiência para realizar determinados tipos de trabalho de forma mais conveniente que a manual. O procedimento do algoritmo COMSOAL é de realizar iterações e assim obter soluções diversas para ficar com a melhor delas. O sistema desenvolvido visa facilitar o problema de organização de uma linha de montagem de forma a se formar estações com tempo de ciclo determinado. Esta organização de processos em estações de trabalho visa melhorar a produção de uma linha de montagem evitando a formação de gargalos na mesma.*

*Palavras chave: Balanceamento de Linha, COMSOAL, Manufatura, Produtividade, Montagem.*

### 1. Introdução

Atualmente o desenvolvimento tecnológico se encontra em estágio bastante avançado, destacando-se o grande avanço da informática. Com isso, o uso de computadores para a realização de tarefas que antes eram feitas apenas de forma manual passaram a ser realizadas com maior confiabilidade, eficiência e rapidez pelas máquinas processadas.

Em muitas áreas os computadores já são considerados ferramentas essenciais para a realização de trabalhos, podendo-se destacar a área de aquisição de dados, de controle e de projetos para realização de tarefas extremamente complexas e demoradas.

Neste trabalho ele é utilizado, juntamente com uma ferramenta de programação muito poderosa, para a realização do balanceamento de linhas de montagem de uma fábrica de forma a se obter uma produção ótima para o produto que se deseja obter.

O problema de balanceamento de linha consiste em combinar as tarefas individuais de processamento e montagem para que o tempo total exigido em cada estação de trabalho seja aproximadamente o mesmo (Ferreira, 1998). Se os elementos de trabalho podem ser agrupados de modo a que todos os tempos em cada estação sejam exatamente iguais, ter-se-á o caso de um balanceamento perfeito da linha, e conseqüentemente a produção será suave. Entretanto, na maioria das situações práticas é muito difícil alcançar um balanceamento perfeito. Quando os tempos das estações de trabalho são diferentes, a estação mais lenta determina a taxa de produção global da linha.

Como exemplo deste problema podemos citar o controle remoto de um aparelho qualquer que deve ser montado numa linha dedicada. A tarefa total de montagem do produto deve ser dividida em elementos mínimos de trabalho. Cada elemento do controle deve ser montado sobre a placa de silício do mesmo. Dos elementos a serem posicionados sobre a placa podemos citar os resistores, capacitores, e dos processos podemos enumerar a soldagem, a embalagem.

Fica claro que para soldarmos os elementos da placa, devemos primeiro colocá-los na posição correta. Logo o processo de soldagem tem como predecessor a colocação dos itens do circuito, assim como a embalagem tem como predecessores todos os demais elementos.

Além das restrições de precedência, existem outros tipos de restrições à solução do problema de balanceamento. Estas referem-se às restrições no arranjo das estações em vez da seqüência dos elementos de trabalho. O primeiro tipo de restrição no arranjo das estações chama-se restrição de área, que pode ser positiva ou negativa. Uma restrição de área positiva significa que certos elementos de trabalho devem ser localizados próximos uns dos outros, preferivelmente na mesma estação. Por exemplo, todos os elementos de pintura devem ser efetuados juntos, pois uma estação especial semi-fechada deve ser utilizada. Uma restrição de área negativa indica que certos elementos de trabalho poderão interferir uns com os outros, e deverão portanto localizar-se afastados. Por exemplo, um elemento de trabalho que requer ajuste fino ou manuseio delicado não deve ser localizado próximo a uma estação que gera ruídos e vibrações elevados.

Uma outra restrição no arranjo das estações é a restrição de posição. Esta é encontrada na montagem de produtos grandes tais como automóveis. O produto é bem grande para um operador executar o trabalho em ambos os lados. Portanto, para acelerar e facilitar o trabalho, operadores são localizados em ambos os lados da linha.

O balanceamento de linhas torna-se então uma etapa muito importante tanto no planejamento quanto na execução de um produto, pois com ele uma produção se tornará mais organizada, rápida, havendo assim uma melhora na

produtividade desta linha. Com ela há uma administração mais otimizada dos recursos disponíveis para a montagem e fabricação.

O método de balanceamento de linha que aqui está apresentado, o COMSOAL, não está equipado para lidar com as restrições de arranjo das estações convenientemente. Entretanto, em situações reais, tais restrições devem ser consideradas no projeto do sistema de manufatura.

## 2. Revisão Bibliográfica / Estado da Arte

### 2.1 Considerações iniciais.

Vários são os métodos existentes de balanceamento de linhas de montagem e estes se diferem no que se diz respeito às restrições que eles fazem às linhas de produção. Os métodos podem ser heurístico, que significa que eles baseiam-se na lógica e bom senso ao invés de uma prova matemática. Nenhum desses métodos garante uma solução ótima, mas eles provavelmente levarão a boas soluções que aproximam-se do verdadeiro ótimo.

Alguns métodos ainda levam em conta a produtividade de cada funcionário da empresa, caso trate-se de uma montagem ou produção manual. No caso do método COMSOAL isso não é levado em conta, sendo apenas considerado o tempo médio de montagem de cada componente.

Conforme sabemos, toda programação exige um algoritmo para o desenvolvimento de um programa e um método deve ser seguido para se conseguir realizar o desenvolvimento deste algoritmo. O método utilizado neste trabalho foi o COMSOAL, escolhido pela sua simplicidade e eficiência.

Para a criação do software foi utilizada a ferramenta Borland C++ Builder versão 5.0, pois ele fornece todos os recursos que fazem com que um programa torne-se de fácil uso e ainda possui ferramentas que facilitam a sua implementação.

O programa desenvolvido fornece recursos de construção de linhas de montagem, edição de linhas de montagem, recursos que permitem o armazenamento em disco da linha criada e do melhor resultado obtido por este método, além de possibilidade de impressão de linhas de montagem e outros recursos mais simples que visam facilitar o uso do software criado.

A chave para a redução de inventário sem perdas econômicas e sem aumento das despesas operacionais é a produção sincronizada (Alvares *et al.*,1991). Assim, o software criado objetiva uma produção otimizada e baseia-se na administração de gargalos.

### 2.2. COMSOAL

O algoritmo utilizado para o desenvolvimento do programa foi o COMSOAL cuja sigla significa Computer Method of Sequencing for Assembly Lines. É um método desenvolvido pela empresa Chrysler e relatado pela Arcus em 1966. (Groover, 1987).

Este método de balanceamento de linha, apesar de não ter sido o primeiro, atraiu mais atenção do que aqueles que o precederam devido a sua simplicidade e eficiência.

O procedimento deste algoritmo é realizar iterações através de uma seqüência de alternativas de soluções e ficar com a melhor delas.

A seguir, na Tabela 1, está mostrada uma tabela de entrada para a realização do balanceamento de linhas de montagem.

Tabela 1. Exemplo de uma linha de montagem para realização de balanceamento utilizando-se o método COMSOAL. (Groover, 1987).

Número	Descrição do processo	Tempo	Elemento predecessor
1	Processo 1	0.2	-
2	Processo 2	0.4	-
3	Processo 3	0.7	1
4	Processo 4	0.1	1,2
5	Processo 5	0.3	2
6	Processo 6	0.11	3
7	Processo 7	0.32	3
8	Processo 8	0.6	3,4
9	Processo 9	0.27	6,7,8
10	Processo 10	0.38	5,8
11	Processo 11	0.5	9,10
12	Processo 12	0.12	11

Assim, o algoritmo pode ser descrito da seguinte forma:

Passo 1: Construa a lista A (Tabela 2), a partir da tabela de entrada, mostrando todos os elementos de trabalho em uma coluna e o número total de elementos que precedem imediatamente cada elemento em uma coluna adjacente.

Tabela 2. Exemplo da lista criada com base no passo 1 e na Tabela 1.

<b>Elemento</b>	<b>Número de predecessores imediatos</b>
1	0
2	0
3	1
4	2
5	1
6	1
7	1
8	2
9	3
10	2
11	2
12	1

Passo 2: Construa a lista B (Tabela 3), mostrando todos os elementos da lista A que não possuem predecessores imediatos.

Tabela 3. Exemplo da lista criada com base no passo 2 e na Tabela 2.

<b>Elementos com nenhum predecessor imediato</b>
1
2

Passo 3: Selecione aleatoriamente um dos elementos da lista B.

Passo 4: Elimine o elemento selecionado no passo 3 das listas A e B e atualize ambas as listas, se necessário.

Passo 5: Selecione novamente um dos elementos da lista B tal que seja adequado para o tempo de ciclo.

Passo 6: Repita os passos 4 e 5 até que todos os elementos tenham sido alocados em estações dentro do tempo de ciclo ( $T_c$ ).

Passo 7: Retenha a solução atual e repita os passos de 1 a 6 na tentativa de determinar uma solução melhor. Se uma solução melhor for obtida, ela deve ser retida.

Tabela 4. Exemplo da linha de montagem criada com base no método COMSOAL e com os elementos da linha de montagem descritos na Tabela 1.

<b>Estação</b>	<b>Elementos</b>	<b>Tempo</b>	<b>Tempo parcial</b>
1	1	0.2	1.0
	2	0.4	
	5	0.3	
	4	0.1	
2	3	0.7	0.81
	6	0.11	
3	8	0.6	0.98
	10	0.38	
4	7	0.32	0.59
	9	0.27	
5	11	0.5	0.62
	12	0.12	

### 3. Arquitetura do Sistema

O presente projeto apresentou como proposta o desenvolvimento de um sistema para o balanceamento de linhas de montagem baseado no método COMSOAL. Para isso escolheu-se a linguagem de programação Borland C++ Builder 5.0, devido aos inúmeros recursos oferecidos por esta ferramenta e a grande interatividade que ela propicia ao usuário.

O programa criado visa oferecer ao usuário um ambiente bastante amigável, independente do grau de conhecimento deste sobre computadores para realizar o balanceamento de linhas de montagem.

A arquitetura básica do sistema criada está ilustrada na Figura 1.

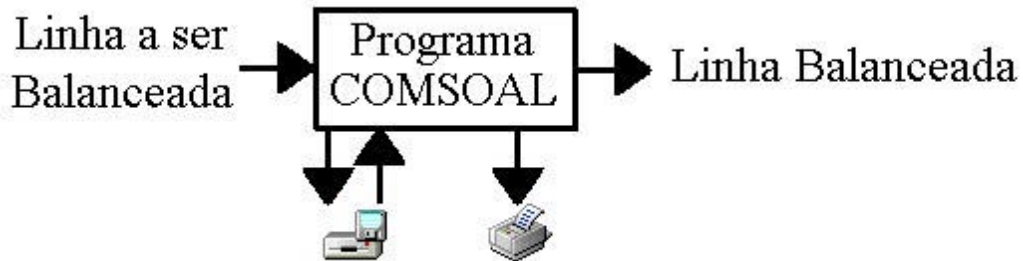


Figura 1. Arquitetura básica do sistema.

Inicialmente, o programa apresenta uma tela principal (Figura 2) que aparece ao se executar o programa. Ela permite ao usuário escolher o que ele deseja fazer, seja editar (Botão Editar linha de montagem) ou realizar o balanceamento de linhas de montagens (Botão Realizar balanceamento). Ainda nesta tela o usuário pode ler as instruções para esclarecer dúvidas sobre a correta utilização do programa (Botão Instruções) e verificar informações adicionais sobre o programa (Botão Sobre).

A partir de uma linha de montagem já criada ou que ainda será criada, o usuário pode, após a entrada de parâmetros para realização do balanceamento (Botão Entrada de Parâmetros), realizar o balanceamento desta linha de montagem.

Para sair do programa basta o usuário estar na tela principal do programa a clicar sobre o botão Sair.



Figura 2. Tela principal do programa de realização de balanceamento baseado no método COMSOAL.

O software criado em Borland Builder C++ 5.0 possui ainda uma série de facilidades ao usuário, como a possibilidade de navegação nos discos do computador para a busca de arquivos. O programa é capaz de salvar a linha de montagem criada, o resultado do balanceamento de linhas de montagem e ainda pode realizar a impressão destas linhas. Os arquivos são salvos em formato texto, de acordo com o padrão ASCII. O sistema esta disponível em [http://graco.unb.br/pub/alvares/sim/trabalhos\\_sim\\_2000/comsoal/](http://graco.unb.br/pub/alvares/sim/trabalhos_sim_2000/comsoal/)

Existem ainda outros softwares para balanceamento de linhas de montagem baseados em outros métodos, como o SISBALIM, utilizado no balanceamento da linha de montagem de refrigeradores da empresa Consul da Santa Catarina. Este software é comercial e implementa o algoritmo COMSOAL de forma customizada para o processo produtivo da empresa. Comparado com este, o novo software criado mostra-se muito mais moderno, de fácil utilização e com uma grande interatividade para com o usuário.

#### 4. Resultados e Análise

A seguir ilustra-se uma linha de montagem criada no bloco de notas (Figura 3) que foi passada para o programa (Figura 4) para a realização do balanceamento.

Processo	Descrição do processo	Tempo	Processos predecessores
1	Colocação dos resistores	.8	-
2	Colocação dos diodos	.9	-
3	Colocação dos capacitores	1.1	-
4	colocação do transformador	.4	-
5	Colocação da casa do CI	.3	-
6	Colocação do CI	.7	5,7
7	Soldagem dos componentes e inspeção	1.7	1,2,3,4,5
8	Fixação do transformador	1.6	4
9	Revisão dos processos descritos	1.8	1,2,3,4,5,6,7,8
10	Embalagem do produto	.5	1,2,3,4,5,6,7,8,9

Figura 3. Descrição da linha de montagem de um controle remoto de portões automáticos da Empresa Rossi.

Várias linhas de montagem foram editadas e algumas já existentes foram adicionadas ao programa (Figura 4) para a verificação da eficiência da realização do balanceamento implementado no programa. O resultado da linha de montagem ilustrada está apresentado na Figura 5.

Tipo de arquivo	Processo	Descrição do processo	Tempo	Processos predecessores
Texto (*.txt)	1	Colocação dos resistores	.8	.
	2	Colocação dos diodos	.9	.
	3	Colocação dos capacitores	1.1	.
	4	colocação do transformador	.4	.
	5	Colocação da casa do CI	.3	.
	6	Colocação do CI	.7	5,7
	7	Soldagem dos componentes e inspeção	1.7	1,2,3,4,5
	8	Fixação do transformador	1.6	4
	9	Revisão dos processos descritos	1.8	1,2,3,4,5,6,7,8
	10	Embalagem do produto	.5	1,2,3,4,5,6,7,8,9

Figura 4. Tela do programa que mostra uma linha de montagem criada baseada na montagem do controle remoto do portão eletrônico da Empresa Rossi.





Figura 5. Tela do programa que realiza o balanceamento da linha de montagem.

Para a realização do balanceamento da linha de montagem da Figura 4, o tempo de ciclo escolhido foi de 2 minutos para cada estação e o número de iterações foi de 100. Assim, o programa organizou os processos de modo que cada estação estivesse com um tempo de ciclo máximo de 2 minutos.

É importante observar que para um elemento estar encaixado em uma estação, ele não pode possuir nenhum elemento predecessor.

A melhor forma de se organizar essa linha de montagem, baseado nesse tempo de ciclo e no número de iterações desejados, foi dividir os processos em 7 estações, possuindo a estação 1 os processos 1, 2 e 5, totalizando 2 minutos exatos na montagem desses componentes. A estação 2 realiza a montagem dos processos 3 e 4 (1,5 minutos). A estação 3 o processo 7 (1,7 minutos). A estação 4 o processo 6 (0,7 minutos). A estação 5 o processo 8 (1,6 minutos). A estação 6 o processo 9 (1,8 minutos). A estação 7 o processo 10 (0,5 minutos).

O processo 10 não pode ser realizado sem que estejam realizados todos os demais processos, conforme especificado na edição da linha de montagem. Isto é claro, pois o produto só deve ser embalado após estar totalmente pronto.

Para comparação do resultado oferecido pelo programa criado, o exemplo da linha de montagem para realização de balanceamento utilizando-se o método COMSOAL da Tabela 1 foi adicionado ao mesmo e o resultado obtido com o número de iterações igual a 50 é o apresentado na Tabela 5.

Comparando o resultado da Tabela 5 com o resultado da Tabela 1 observa-se que existe uma pequena diferença quanto à ordem dos elementos 7 e 10. Este fato pode ser atribuído ao número de iterações que o exemplo adotou, não mencionado. Apesar disto, o número de estações é o mesmo nos dois casos sendo o menor possível para este tempo de ciclo adotado.

Caso o tempo de ciclo fosse maior, o número de estações poderia ser menor, pois algum processo poderia ser encaixado em uma outra estação sem exceder esse tempo máximo permitido. Com isso, poderia haver uma melhor taxa de produção do produto, sendo esta uma melhor alternativa de produção.

Com os resultados obtidos de várias linhas de montagem editadas, observa-se que o programa possui uma grande eficiência quanto à realização do balanceamento de linhas de montagens e obedece criteriosamente o método COMSOAL adotado.

Tabela 5. Resultado obtido com o software criado a partir da linha de montagem da Tabela 1.

Estação	Elementos	Tempo	Tempo parcial
1	2	0.4	1.0
	1	0.2	
	4	0.1	
	5	0.3	
2	3	0.7	0.81
	6	0.11	
3	7	0.32	0.92
	8	0.6	
4	9	0.27	0.65
	10	0.38	
5	11	0.5	0.62
	12	0.12	

## 5. Conclusões

No presente trabalho foi desenvolvido um sistema para balanceamento de linhas de montagem baseado no método COMSOAL. Para isso, utilizou-se o compilador Borland C++ Builder 5.0.

Os resultados obtidos por diversas linhas de montagem testadas mostraram-se coerentes com o proposto pelo algoritmo COMSOAL.

Portanto, o programa desenvolvido está de acordo com o proposto, além de possuir ferramentas adicionais ao usuário e elevada interatividade.

A grande vantagem do uso deste tipo de software para o balanceamento de linhas de montagem está no fato da grande rapidez e eficiência com que esta tarefa é executada, podendo-se assim, em um curto espaço de tempo, obter uma solução ótima ao sistema em estudo.

## 6. Referências

- Alvares, A. J., Lafratta, F. H., Volkmer, R., Almeida, M. C., Bernard, G. S., 1991, "CIM – Computer Integrated Manufacturing, Aspectos Relevantes Para Sua Implantação".
- Dias, Adilson de Souza, 2000, "Desenvolvendo em Borland C++ Builder 5.0. Rio de Janeiro", Ciência Moderna LTDA.
- Groover, Mikell P., 1987, "Automation, Production System and Computer Integrated Manufacturing". New Jersey, Prentice-Hall.
- João Carlos E. Ferreira, 1998, "Sistemas Integrados de Manufatura", Apostila do Curso de Graduação, UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica.
- Schildt, Herbert, 1995, "C: The Complete Reference. Berkeley, McGraw-Hill".
- Schildt, Herbert, 1998, "C++: The Complete Reference. Berkeley, McGraw-Hill".

## DEVELOPMENT OF A LINE BALANCING SYSTEM BASED ON COMSOAL METHOD

**Eduardo Takashi Togawa**

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica, CEP 70910-900, Brasília, DF.  
[togawa@zaz.com.br](mailto:togawa@zaz.com.br)

**Júlio Vital Diniz de Paula**

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica, CEP 70910-900, Brasília, DF.  
[juliodepaula@yahoo.com](mailto:juliodepaula@yahoo.com)

**Alberto José Alvares**

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica, CEP 70910-900, Brasília, DF.  
[alvares@alvarestech.com](mailto:alvares@alvarestech.com)

*Abstract - In assembly lines, the production flow depends upon the total time ("t") assigned to each workstation, meaning that "t" determines line productivity. The line balancing problem is to arrange the individual processing and assembly tasks at the workstations so that "t" is approximately the same in each workstation (cycle time). Such balancing could be accomplished manually; however, the use of computer tools allows a more complete enumeration of possible solutions to a line balancing problem than is practical with a manual solution method. The COMSOAL (Computer Method of Sequencing Operation for Assembly Lines) algorithm procedure is one such tool that iterates through a sequence of alternative solutions and chooses the more suitable one. This paper presents an assembly line balancing system based on the COMSOAL algorithm. The system was developed in Borland C++ Builder 5.0, chosen for being a middle level, easily programmable language, and allowing the development of highly user-interactive programs. It provided results consistent with the method's proposed goals, in addition to being user friendly.*

*Keywords: Line Balancing, COMSOAL, Borland C++ Builder 5.0, Production, assembly.*

## UMA NOVA ESTRATÉGIA DE USINAGEM DE CAVIDADES 2 ½ D

**Leandro Costa de Oliveira**

Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Tecnologia – Depto. de Eng. Mecânica – Campus Universitário – Santa Maria – RS – CEP 97105-900

[leandro@inf.ufsm.br](mailto:leandro@inf.ufsm.br)

**Marcos de Sales Guerra Tsuzuki**

Universidade de São Paulo – Escola Politécnica – Depto. de Eng. Mecatrônica e Sistemas Mecânicos – Av. Prof. Mello Moraes, 2231 – Cidade Universitária – São Paulo – SP – CEP 05508-900

[mtsuzuki@usp.br](mailto:mtsuzuki@usp.br)

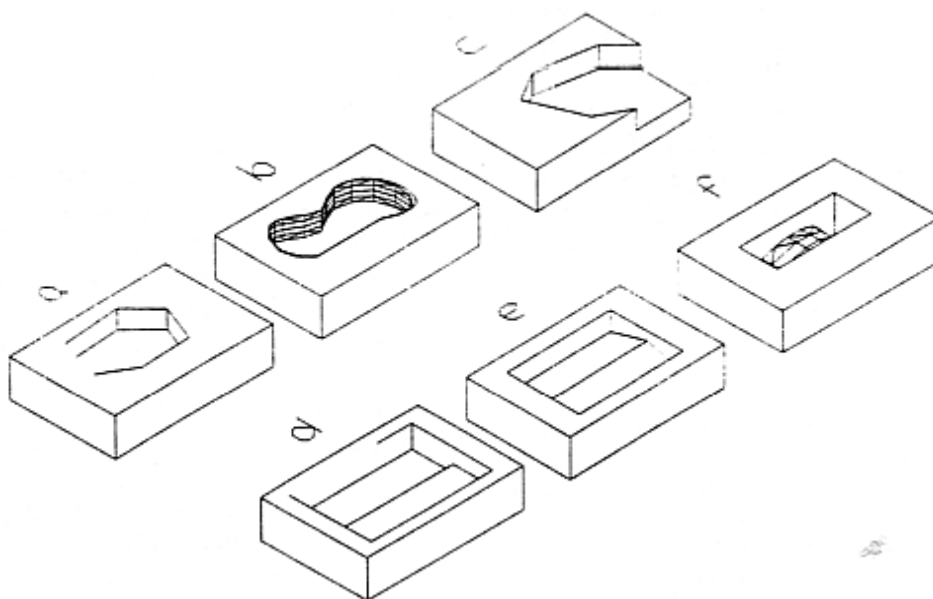
**Resumo.** Este trabalho trata de uma nova estratégia para a geração do caminho de corte para usinagem de cavidades 2 ½ D. Na determinação desta estratégia foram considerados os métodos mais usuais, de trajetórias paralelas a uma direção (zigzag) e trajetórias equidistantes ao contorno (offset), sendo analisadas as possibilidades de otimização do processo com redução do caminho de corte. A usinagem é dividida em duas etapas: usinagem interna e usinagem dos cantos da cavidade. A usinagem da região interna é realizada em trajetórias equidistantes ao contorno (offset), determinadas com auxílio do Diagrama de Voronoi obtido através do contorno da cavidade. A usinagem dos cantos também segue o mesmo princípio equidistante ao contorno. O Diagrama de Voronoi é parametrizado, e o espaçamento entre as trajetórias pode ser o máximo possível, sendo que trajetórias sobre os bissetores podem ser criadas para remover o material não usinado anteriormente. Na geração do caminho de corte é aplicado o método de seleção de dimensões de ferramentas de corte baseado em Programação Dinâmica, que também confere vantagens na redução do tempo de usinagem. Os resultados são comparados com os métodos usuais e demonstram as vantagens obtidas com esta nova estratégia.

**Palavras chave:** usinagem de cavidades, usinagem CNC, programação CNC.

### 1. Introdução

Este trabalho trata de uma nova estratégia para a geração do caminho de corte para usinagem de cavidades 2 ½ D. As cavidades existentes em peças mecânicas, segundo Hatna *et al.* (1998), podem ser classificadas em 6 categorias:

- cavidade plana (Fig. 1a);
- cavidade de contorno livre (Fig. 1b);
- cavidade de canto (Fig. 1c);
- cavidade de face de múltiplas entradas (Fig. 1d);
- cavidade multi-faces (Fig. 1e), e;
- cavidade de forma livre (Fig. 1f).



**Figura 1 - Tipos de cavidades segundo Hatna *et al.* (1998).**

Os 4 primeiros tipos, que se enquadram na definição de cavidades  $2 \frac{1}{2} D$ , podem ser usinados com uma ferramenta rotativa (fresa) de extremidade cilíndrica. Em função da profundidade da cavidade e da máxima profundidade de corte permitida à ferramenta, a operação poderá ser executada em um ou mais planos.

As geometrias de  $2 \frac{1}{2} D$  podem ser definidas por um desenho plano, limitado por arcos e segmentos de retas, que através de uma operação chamada extrusão ou *sweeping* adquire volume. No caso específico de cavidades  $2 \frac{1}{2} D$ , pode-se considerar o deslocamento do contorno provocando uma reentrância na peça de base perpendicular ao contorno. Desta forma, esta cavidade pode ser compreendida apenas por uma vista superior com a informação da profundidade da cavidade.

A grande maioria dos processos de usinagem industrial pode ser realizada utilizando usinagem  $2 \frac{1}{2} D$ . Segundo Held (1991), mais de 80 % das peças mecânicas podem ser usinadas usando este conceito pois a maioria destas possui forma de curvas de nível, pela própria funcionalidade e facilidade de montagem, apresentando paralelismo e perpendicularismo em suas faces. Além disso, as superfícies de forma livre muitas vezes são desbastadas em  $2 \frac{1}{2} D$ .

## 2. Métodos de Usinagem de Cavidades $2 \frac{1}{2} D$

A geração do caminho de corte para usinagem de cavidades com esta geometria em máquinas com CNC, pode ser realizada fazendo uso de algumas estratégias de movimentação da ferramenta. Destas, as mais usuais e que oferecem maiores vantagens são: estratégia de trajetórias paralelas a uma direção (zigzague – Fig. 2) e estratégia de trajetórias equidistantes ao contorno (*offset* – Fig. 3)

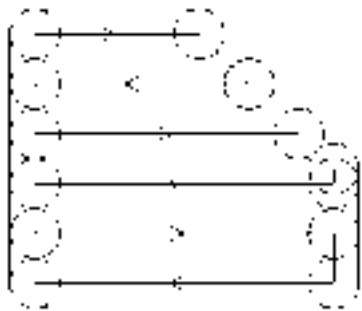


Figura 2 - Usinagem em zigzague.

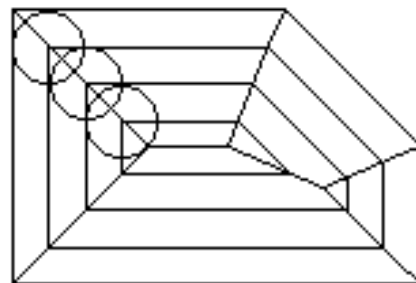


Figura 3 - Usinagem em *offset*.

## 3. Detalhamento da Estratégia

Neste trabalho, é apresentada uma nova estratégia de usinagem de cavidades  $2 \frac{1}{2} D$ , de considerar 2 etapas de usinagem: usinagem interna e usinagem dos cantos, baseada na proposta de Veeramani & Gau(1997). A usinagem interna é realizada em trajetórias equidistantes ao contorno, determinadas através do Diagrama de Voronoi, que é uma ferramenta de geometria computacional que foi inicialmente apresentada matematicamente por Voronoi (1908) *apud* Held (1991). Entretanto, sua utilização na usinagem com CNC ficou mais popular através da proposta de Persson (1978) que implementou um sistema computacional para geração do caminho de corte de cavidades  $2 \frac{1}{2} D$  arbitrárias.

A usinagem dos cantos também é realizada em trajetórias equidistantes ao contorno, pois confere um melhor desempenho que a proposta em zigzague preconizada por Veeramani & Gau (1997).

### 3.1 Implementação

O sistema implementado recebe informações do contorno de uma cavidade e uma lista de dimensões das ferramentas disponíveis, e deste contorno determina o caminho de corte a ser realizado pelas ferramentas.

Baseado na metodologia já citada anteriormente, as etapas de usinagem são divididas em usinagem interna e usinagem de cantos. A usinagem interna é realizada em trajetórias equidistantes ao contorno (*offset*) geradas a partir de um Diagrama de Voronoi obtido do contorno da cavidade. Esta etapa é responsável pela maior parcela da remoção do material da cavidade e por isso, busca-se a utilização de ferramentas de maiores dimensões, sempre que possível. Com os dados do Diagrama de Voronoi, que apresenta os bissetores parametrizados, gera-se também trajetórias em *offset* para as demais ferramentas disponíveis visando a seleção posterior realizada através de programação dinâmica, cujo objetivo é a redução do tempo de usinagem. As equações para a determinação dos bissetores parametrizados constam em Persson (1978) e Tsuzuki & Moscato (1995).

Considerando as ferramentas disponíveis, gera-se também, a trajetória de usinagem dos cantos, para posterior determinação da melhor combinação de dimensões para atingir os objetivos propostos.

Este sistema foi implementado em Microsoft Visual C++ 6.0 utilizando os recursos da STL (*Standard Template Library*).

O sistema recebe informações do contorno e das ferramentas disponíveis, executa as rotinas de geração do caminho de corte para a região interna e para os cantos, com as diversas ferramentas e posteriormente processa estes dados através de programação dinâmica para determinar qual combinação de ferramentas possibilita um menor tempo de usinagem.

### 3.2 Entrada de dados

O sistema utiliza a entrada dos dados do contorno através do formato DXF (*Drawing Exchange File*) devido a sua facilidade de interfaceamento de dados gráficos. As demais informações utilizadas como dimensões de ferramentas e valores de velocidade de avanço são informados via teclado.

### 3.3 Arquitetura do Sistema

O sistema desenvolvido apresenta várias estruturas inter-relacionadas. As principais são **vertice**, **aresta**, **bissetor**, **intersect** e **element** (do Diagrama de Voronoi).

O algoritmo utilizado para determinar o Diagrama do Voronoi, mostrado na Fig. 4, é o seguinte:

1. Inicialmente o contorno do polígono é recuperado e armazenado na estrutura **vertice**.
2. Em seguida a partir da estrutura **vertice** cria-se a estrutura das arestas que definem o contorno: **aresta**.
3. Enquanto o número de arestas ativas for maior que 3 devemos realizar os passos de 4 a 6.
4. Determina os bissetores que existem entre duas arestas ativas vizinhas. As equações dos bissetores são armazenadas na estrutura **bissetor**. Assim, os bissetores estarão parametrizados.
5. Determina todas as intersecções existentes entre bissetores que possuem uma aresta ativa em comum. Assim, cada bissetor deverá ter associado duas intersecções. As intersecções são armazenadas na estrutura **intersect**.
6. Em seguida determina-se qual intersecção que define o bissetor com segmento de reta mais curto. Assim, os dois bissetores que definiram esta intersecção devem ser acrescentados à estrutura **element**. A aresta comum a estes dois bissetores deve ser feita inativa para não participar mais do algoritmo. Este ponto de intersecção deve ser considerado como ponto de início do bissetor a ser definido entre esta nova vizinhança (definida com a ação de desativar a aresta que determinou os dois bissetores que participam do Diagrama de Voronoi).
7. Ao sair do laço, deve-se determinar o último bissetor existente e acrescentá-lo à estrutura **element**, pois ele também participa do Diagrama de Voronoi.

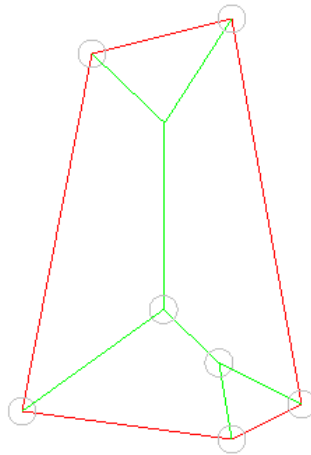


Figura 4 - Obtenção do Diagrama de Voronoi.

### 3.4 Geração do caminho de corte

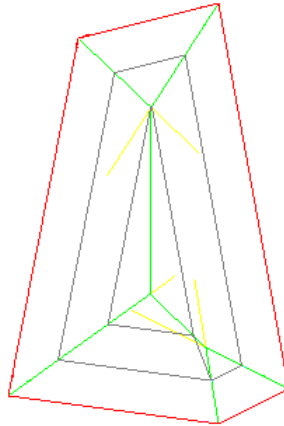
Com os elementos (bissetores) parametrizados do Diagrama de Voronoi, determina-se o caminho de corte com a geração de trajetórias equidistantes em função da dimensão da ferramenta. A trajetória mais próxima do contorno está a uma distância igual ao raio da ferramenta e as seguintes tem um espaçamento que pode variar entre o valor do raio ao diâmetro da ferramenta.

À medida que este espaçamento torna-se maior que o raio, ficam regiões não usinadas sobre os bissetores. Estas regiões são usinadas com trajetórias sobre os bissetores.

O algoritmo para determinação do caminho de corte é o seguinte:

1. O raio de ferramenta é adotado como *offset* inicial. Determina-se o ponto mais interno da cavidade com seu respectivo *offset*. Desta maneira é possível calcular o número de passadas da ferramenta.

2. Através do raio da ferramenta e do número da passada atual, determina-se quais bissetores possuem *offset* inicial menor que o nível do *offset* atual e quais bissetores possuem *offset* final maior que o nível de *offset* atual.
3. Monta-se uma lista contendo a aresta, os pontos final e inicial, e o *offset* correspondente. Esta lista é ordenada segundo a ordem crescente de identificação da aresta. Desta forma, o caminho de corte é determinado, como mostra a Fig. 5.

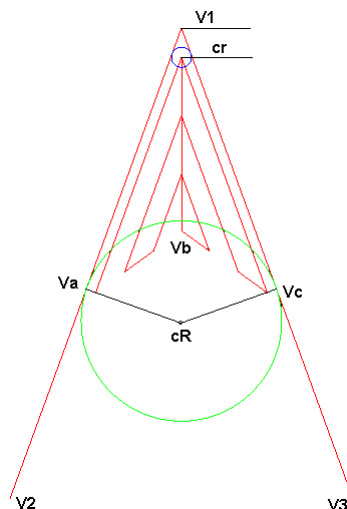


**Figura 5 - Geração do caminho de corte –usinagem interna.**

### 3.5 Usinagem dos cantos

A usinagem de cantos é implementada pelo algoritmo descrito abaixo, baseado na Fig. 6:

1. Determina-se os vértices **V1**, **V2** e **V3**, que definem o canto;
2. Determina-se o ângulo do bissetor, e se for maior que 180 graus, então este canto não é considerado;
3. Determina-se os pontos **Va**, **Vb** e **Vc**;
4. Determina-se o número de passadas para a ferramenta de menor raio;
5. Em seguida, por meio de um laço, determina-se os pontos equidistantes nos segmentos **VaVb**, **VbVc** e **crVb** para a seqüência de passadas da ferramenta de menor raio, estes pontos são armazenados em vetores;
6. Finalmente, une-se os pontos determinados anteriormente, definindo o caminho de corte para o canto de forma completa.



**Figura 6 – Caminho de corte – usinagem de cantos.**

### 3.6. Seleção de Ferramentas

Os tempos de usinagem são calculados com o valor do comprimento do caminho de corte e com a velocidade de avanço para cada ferramenta. Estes valores são organizados em uma tabela para aplicação do método de seleção de ferramentas de corte através de programação dinâmica, conforme Oliveira & Tsuzuki(1999).

### 4. Resultados

Nesta seção é apresentado um exemplo de geração do caminho de corte obtido através do sistema implementado neste estudo. Tomando uma situação de exemplo, temos a cavidade da Fig. 7.

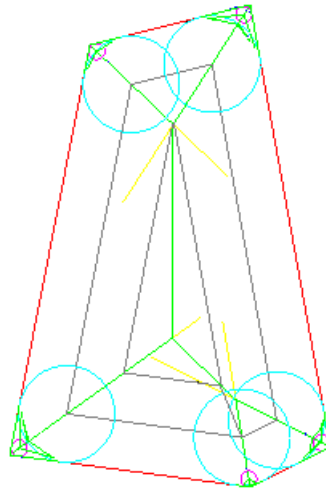


Figura 7 - Exemplo de geração do caminho de corte com ferramentas de 12 e 2 mm.

Para usinagem desta cavidade, estão disponíveis as ferramentas de diâmetro 20 mm, 16 mm, 12 mm, 8 mm, 4 mm e 2 mm. A Tab. (1) apresenta os valores do comprimento do caminho de corte (mm), determinado para esta cavidade com as ferramentas disponíveis.

Tabela 1. - Comprimento do Caminho de Corte em mm.

Raio ferr. (mm)	10	8	6	4	2	1
Estág./ferr.	1	2	3	4	5	6
0	93,472	138,412	218,110	367,195	789,678	1633,670
1		204,868	158,294	134,843	169,264	254,828
2			153,910	114,096	123,264	174,006
3				103,528	80,369	107,642
4					57,048	61,632
5						28,524

Considerando os valores de velocidade de avanço para as ferramentas existentes, tem-se a Tab. (2) com os tempos acumulados para a usinagem da cavidade. Com estes dados, é possível determinar quais ferramentas proporcionam um menor tempo de usinagem.



**Tabela 2 - Tempos de usinagem acumulados, em segundos.**

<b>Raio Ferr. (mm)</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Vel. Avanço (mm/s)</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Estág./ferr.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>0</b>	46,736	69,206	<b>109,055</b>	367,195	789,678	1633,670
<b>1</b>		154,170	130,883	186,579	221,000	306,564
<b>2</b>			151,161	188,302	197,470	248,212
<b>3</b>				217,583	194,424	<b>221,697</b>
<b>4</b>					248,627	253,211
<b>5</b>						222,948
<b>Mínimo</b>	46,736	69,206	<b>109,055</b>	186,579	194,424	<b>221,697</b>

De acordo com os valores calculados, observa-se a seleção das ferramentas de 12 mm para usinagem interna e a ferramenta de 2 mm para a usinagem de cantos. Na coluna da ferramenta 6, de raio 1 mm, o tempo mínimo foi de 221,697 s, no estágio 3. Desta forma, a ferramenta que precede esta etapa deverá ser a ferramenta 3, de raio 6 mm, cujo tempo acumulado é de 109,055s. Neste exemplo, das 6 ferramentas disponíveis, o uso de apenas 2 oferece uma melhor situação para a redução tempo de usinagem.

## 5. Considerações finais

Implementou-se em C++ e STL (Ammeraal, 1999), um sistema que determina o diagrama de Voronoi para um polígono, determina o caminho de ferramenta para usinagem interna, e implementou-se o algoritmo para usinagem dos cantos. Por fim, integrou-se tudo em um sistema que utilizando-se de programação dinâmica, determina a seqüência ótima de ferramentas para se realizar a usinagem. Pôde-se observar que os resultados obtidos não são nem um pouco intuitivos.

Os desenvolvimentos teóricos para determinar o diagrama de Voronoi, realizados indicam a complexidade do processamento matemático envolvido. É necessário solucionar um sistema polinomial de três variáveis de segunda ordem. Considera-se também a possibilidade de propagação de erros numéricos, e, caso existam, atenuar a sua influência utilizando Aritmética Intervalar neste processamento. Tsuzuki (2000), considera esta aplicação muito indicada pela existência de sistemas polinomiais multivariáveis.

No estudo das possibilidades de estratégias para usinagem interna, observou-se que esta etapa além de ser a mais importante em função do tempo envolvido para sua execução, também apresenta uma grande complexidade devido à variedade geométrica que pode ocorrer. Desta forma, espera-se realizar o cálculo do valor do tempo de usinagem interna com pelo menos duas situações: em zigzag e *offset*. Obviamente, nestes cálculos os valores de espaçamento também são variados buscando uma melhor situação.

Desta forma, conclui-se que esta nova estratégia pode configurar-se como uma alternativa para redução de tempo de usinagem de cavidades  $2 \frac{1}{2} D$ .

## 6. Referências

- Ammeraal, L., 1999, "STL for C++ Programmers", John Wiley & Sons, Chichester, England, 226 p.
- Hatna, A., Grieve, R. J., Broomhead, P., 1998, "Automatic CNC milling of pockets: geometric and technological issues", Computer Integrated Manufacturing Systems, v. 11, n. 4, p. 309-330.
- Held, M., 1991, "On the Computational Geometry of Pocket Machining", Springer-Verlag, 178p.
- Oliveira, L. C. de, Tsuzuki, M. de S. G., 1999, "Um método de seleção de dimensões de ferramentas de corte para usinagem de cavidades em máquinas com CNC", Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - COBEM'99, Águas de Lindóia - SP.
- Persson, H., 1978, "NC machining of arbitrarily shaped pockets", Computer-Aided Design, v. 10, n. 3, pp. 169-174.
- Tsuzuki, M. S. G., Moscato, L. A., 1995, "Diagramas de Voronoi e sua Utilidade na Determinação do Caminho de Corte de Reentrâncias Complexas", Boletim da EPUSP.
- Tsuzuki, M. S. G., 2000, "Solucionando Sistemas Polinomiais Não Lineares pelo Método do Poliedro Projetado Implementado em Aritmética Intervalar", Tese de Livre Docência, Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos - EPUSP.
- Veeramani, D., Gau, Y.-S., 1997, "Selection of na optimal set of cutting-tools for a general triangular pocket", International Journal of Production Research, v. 35, n. 9, p. 2621-2637.

## A NEW STRATEGY OF 2 ½ D POCKETS MACHINING

**Leandro Costa de Oliveira**

Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Tecnologia – Depto. de Eng. Mecânica – Campus Universitário – Santa Maria – RS – CEP 97105-900

[leandro@inf.ufsm.br](mailto:leandro@inf.ufsm.br)

**Marcos de Sales Guerra Tsuzuki**

Universidade de São Paulo – Escola Politécnica – Depto. de Eng. Mecatrônica e Sistemas Mecânicos – Av. Prof. Mello Moraes, 2231 – Cidade Universitária – São Paulo – SP – CEP 05508-900

[mtsuzuki@usp.br](mailto:mtsuzuki@usp.br)

***Abstract.** This work deals with a new strategy for the generation to the tool path for 2 ½ D pockets machining. In the determination to this strategy had been considered the methods most usual, of paths parallel to an route (zigzag) and paths equidistant to the contour (offset), being analyzed the optimization possibilities of the process with reduction of the tool path. The machining is divided in two stages: internal machining and corner machining of the pocket. The machining of the internal region is carried through in paths equidistant to the contour (offset), determined with aid of the Diagram of Voronoi gotten through the contour of the pocket. The machining of the corners also follows the same principle, equidistant to the contour. The Diagram of Voronoi is parametric, and the distance between the paths can be the possible maximum, being that paths on the bisectors can be created to remove the material previously not machined. In the generation of the tool path, the method of selection of dimensions of cutting tools based on Dynamic Programming is applied, that also confers advantages in the reduction of the machining time. The results are compared with the usual methods and demonstrate the advantages gotten with this new strategy.*

**Keywords:** pockets machining, CNC machining, CNC programming.