

UMA NOVA ABORDAGEM DE CAPP PARA PEÇAS ROTACIONAIS BASEADA EM MAPEAMENTO DE FEATURES

Alberto José Álvares

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica, Graco - Grupo de Automação e Controle, 70.910-300, Brasília, email: alvares@AlvaresTech.com

João Carlos Espíndola Ferreira

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Grupo de Integração da Manufatura - Grima, 88040-900, Florianópolis, SC, email: jcf@grucon.ufsc.br

Resumo. Este trabalho apresenta uma nova proposta para planejamento de processo de peças rotacionais simétricas baseada na abordagem de CAPP (*Planejamento de Processo Auxiliado por Computador*) Generativo. A metodologia CAPP é concebida a partir do paradigma de modelagem baseada em síntese por features de projeto, a fim de permitir a integração das atividades de projeto (CAD), planejamento do processo (CAPP) e manufatura (CAM Planejamento e CAM execução). O procedimento inicia-se na modelagem de uma peça por features num contexto de manufatura remota utilizando a Web como meio de comunicação, num modelo computacional cliente-servidor. O cliente conecta-se ao Modelador de Features Neutro via Web, e inicia a instância de uma nova peça a ser modelada a partir de uma base de dados, usando uma biblioteca de features padronizada, disponibilizada pelo sistema. Após a conclusão e validação do modelo, a peça criada é armazenada e disponibilizada para a metodologia CAPP gerar o plano de processo com alternativas para a peça e o programa NC para o plano linearizado. O sistema CAPP denominado WebCAPP é constituído por dez atividades (<http://WebMachining.AlvaresTech.com>).

Palavras-chave. CAPP, Features, STEP NC, Torneamento, Web.

1. INTRODUÇÃO

A integração entre as etapas do ciclo produtivo é um dos caminhos que devem ser explorados na busca pela redução de custos e tempos de produção. A utilização de *features* como base de informação para a modelagem do produto é o caminho para se atingir esta integração (TÖNSHOFF et al., 1994).

ERICKSON (1988) revisou mais de 127 sistemas CAPP e projetos associados e observou que a incompatibilidade nos *softwares*, no *hardware* e nas diferentes representações de produto, recursos e planos de processo, inibiram o desenvolvimento de um sistema integrado de propósito geral.

SHUNMUGAM et al. (2002) destacam que poucos sistemas CAPP reportados na literatura levam em consideração aspectos de otimização da sequência das operações ou sugerem sequências alternativas de operações ou planos de processo. SHYU et al. (1987) descrevem um sistema integrado de CAD/CAPP/CAM para centros de torneamento. DESAI e PANDE (1991) apresentam um sistema de modelagem baseado em *features* para CAPP voltado à fabricação de peças rotacionais. RICO et al. (1997) descrevem um CAPP para peças rotacionais baseado em *features* e perfis 2D. KRUTH e DETAND (1992) descrevem um sistema de CAPP para geração de planos de processos não lineares.

Este trabalho descreve uma nova proposta de CAPP voltado para o domínio de peças rotacionais simétricas. A metodologia CAPP é concebida a partir do paradigma de modelagem baseada em síntese por features de projeto, a fim de permitir a integração das atividades de projeto (CAD), planejamento do processo (CAPP) e manufatura (CAM Planejamento e CAM execução). O Plano de processo linearizado gerado pelo CAPP é representado utilizando uma estrutura de dados baseada em STEP-NC (ISO 14649 - Part 12), que é um novo padrão para transferência de dados entre sistemas CAD/CAM e máquinas CNC (XU e HE, 2003). A arquitetura proposta para o módulo CAD é baseada no paradigma de Projeto por *Features*. Já os módulos CAPP e CAM idealizados podem ser caracterizados segundo as quatro dimensões definidas por SHAH e MANTYLA (1995) como:

1. na dimensão de Planejamento é voltado para geração de planos de processos não lineares para peças rotacionais utilizando tornos CNC, contendo definição de operações, fixação/*setup*, seqüências de operações, ferramentas, parâmetros de corte, geração do código G e estimativas de tempos e custos, ou seja, micro planejamento;
2. na dimensão de Planejamento associado ao tempo pode ser aplicado no nível tático e no nível operacional de um sistema de Gestão da Produção;
3. na dimensão Método de Planejamento é caracterizado com sendo um CAPP Generativo;

4. e na dimensão Profundidade de Planejamento é definido como dinâmico, ou seja, planos podem ser mudados dinamicamente durante a manufatura em função das características dinâmicas do sistema de manufatura, trabalhando também de forma *on-line*.

O procedimento inicia-se na modelagem de uma peça por features num contexto de manufatura remota utilizando a Web como meio de comunicação, num modelo computacional cliente-servidor. O cliente conecta-se ao Modelador de Features Neutro via Web e inicia a instanciação de uma nova peça a ser modelada a partir de uma base de dados, usando a biblioteca de features padronizadas disponibilizada pelo sistema. Após a conclusão e validação do modelo, a peça criada é armazenada e disponibilizada para a metodologia CAPP gerar o plano de processo com alternativas para a peça, sua linearização e a representação do plano de processo linearizado baseado em STEP-NC (ISO 14649 - Part 12), bem como, a geração do programa NC para um torno CNC específico, no caso o centro de torneamento Galaxy 15M da Romi (<http://video.graco.unb.br>).

A comunicação com o centro de torneamento Galaxy/CNC Fanuc 18-Tia é realizada através de uma conexão *ethernet* (camada física e enlace do padrão ISO/OSI), usando os protocolos TCP/IP (camadas rede e transporte do padrão ISO/OSI) associado ao protocolo de aplicação *Focas1/ethernet libraries* da Fanuc, o qual é uma API para desenvolvimento de aplicações usando uma estrutura de dados padronizada para ter acesso a 300 funções do CNC.

O sistema de CAPP denominado por WebCAPP (<http://WebMachining.AlvaresTech.com>) é constituído por dez atividades. A figura 2 apresenta as atividades associadas ao diagrama IDEF0, sendo: mapeamento de *features* de projeto para features de manufatura (usinagem); determinação das operações de usinagem com alternativa, associadas às features de usinagem (*workingsteps*); determinação da sequência de usinagem com alternativas (*workplan* não linear); estratégias para geração de trajetórias de ferramentas; determinação das ferramentas de corte (insertos e suportes); determinação do modelo de tempos e cálculo dos tempos padrão e custo padrão para cada *workingstep*; determinação das condições tecnológicas de usinagem otimizadas utilizando algoritmos genéticos; linearização do plano de processos não linear baseado algoritmos genéticos; geração do programa NC (ISO 6983); geração de relatórios e plano de processo.

2. ABORDAGEM PROPOSTA PARA PLANEJAMENTO DE PROCESSO

2.1 Aderência à ISO 14649 (STEP-NC)

ISO 14649 é basicamente uma representação estruturada de um plano de processo para operações de torneamento, fresamento, entre outras, sendo baseada em features de usinagem (SUH et al., 2003). ISO 14649 está em desenvolvimento para operações de torneamento, sendo denominada de ISO 14649 - Part 12.

Enquanto o padrão ISO 6983 (código G) preocupa-se em especificar a trajetória de movimentação de ferramenta, o STEP-NC especifica o plano de usinagem por meio de “*Workingstep*”, como a entidade central. Um *Workingstep* associa uma feature de usinagem a uma operação de usinagem (ferramenta de usinagem, condições de corte, funções da máquina-ferramenta e estratégia de usinagem associada à movimentação de ferramenta).

STEP-NC também suporta seqüências de processos não lineares definidas através das entidades presentes em objetos executáveis de um programa STEP-NC. Estas são entidades “*SUBTYPE*” de “*program_structure*”: operações seletivas/*Selective* (entidade que define um conjunto de executáveis em que apenas um será executado, correspondendo ao “OU”); paralelas/*Parallel* (entidade que permite executar vários executáveis em paralelo e disparados ao mesmo tempo); não seqüenciais/*Non_sequential* (entidade que define um conjunto de executáveis que serão executados sem uma ordem pré-estabelecida, correspondendo ao “E”).

Assim pode-se gerar planos de processos não lineares usando um esquema de representação baseado em Gráfico de Seqüência de Processo (PSG), que nada mais é do que um Grafo E-OU (SUH et al., 2003). Um PSG é uma representação gráfica da seqüência de workingsteps descritas em termos de features de usinagem (*machining_features*) e operações de usinagem (*machining_operations*) usando relacionamento E-OU.

2.2 Modelo de Informação Baseado em Features

O modelo de informação que possibilita a integração CAD/CAPP/CAM é baseado na abordagem Projeto por *Features* (síntese por *features* de projeto), sendo concebido através da abordagem metodológica IDEF1X (base de dados relacional), tendo todos os dados referentes ao modelo de informação contidos em um único diagrama IDEF1X (ÁLVARES, 2003). O modelo de informação descreve cada subsistema em termos de entidades/objetos, atributos e relacionamentos. A partir deste modelo IDEF1X é gerado o modelo físico da base de dados relacional. É utilizado o sistema de gerenciamento de base de dados MySQL. A figura 1 apresenta a base de dados MySQL e a taxonomia de features utilizada, sendo baseada em CAM-I (1986).

O modelo de informação é dividido em domínios (CHEP et al., 1998) associados as base de dados de *features* (*Features* de Forma, *Features* de Tolerância, *Features* de Produção e *Features* de Materiais) e base de dados de tecnologia de usinagem (Biblioteca de Máquinas-ferramenta, Biblioteca de Ferramentas de Corte, Biblioteca de Usabilidade e Biblioteca de Fixações). A base de dados de *features* relaciona-se com o modelo do produto e a base de dados de tecnologia de usinagem relaciona-se com o modelo de recursos.

O usuário remoto conecta-se ao sistema criando um novo projeto, que será constituído pelos dados referentes à modelagem por *features* de uma peça acabada e de uma peça bruta, além de informações tecnológicas, tolerâncias dimensionais e geométricas, referência e cotas de projeto, relacionamento de *features*, acabamento superficial, dados de produção e dados do usuário.

Todos os relacionamentos entre as entidades são vistos de forma hierárquica a partir do domínio da peça (peça bruta ou peça acabada), seguido pela classe de *features* (concêntrica ou não-concêntrica), pelo tipo de *features* de forma (furo, diâmetro externo (OD), diâmetro interno (ID), reentrância, canal, rosca, face, rasgo, entre outros) e

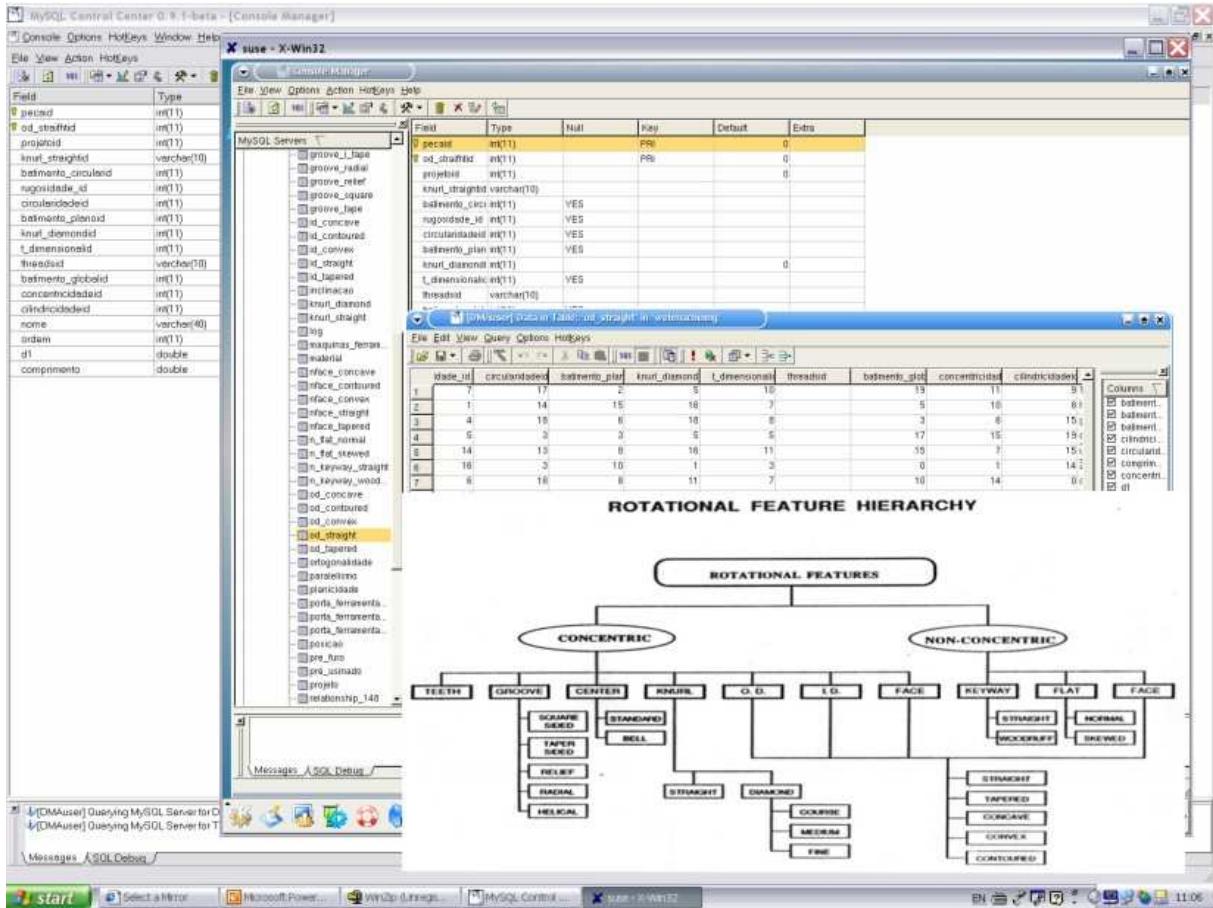


Figura 1: Base de dados em MySQL e taxonomia de features CAM-I.

finalmente pela *feature* em si e seus atributos. O modelo de produto baseado em features é disponibilizado para o sistema CAPP.

3. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DA PROPOSTA DE CAPP PARA PEÇAS ROTACIONAIS

3.1 Mapeamento de *Features*

A atividade de mapeamento de features de usinagem depende da geometria da peça bruta e da peça acabada, dos métodos de usinagem (operações e *setup*) e da seqüência de operações de fabricação. Em função destas escolhas pode-se ter mapeadas diferentes features de usinagem.

A nova técnica proposta de mapeamento é derivada da técnica de *mapeamento baseado em células* (SHAH e MANTYLA, 1995), apresentando uma abordagem lógica para decomposição volumétrica orientada por três aspectos (ÁLVARES, 2003):

1. Geométrico: geometria da peça acabada e bruta, gerando um esquema de representação do tipo *Poliforma Fechada*, composta por elementos geométricos 2D do tipo linhas e arcos, onde são conhecidos todos os vértices da poliforma, representando a fronteira de remoção de material. Esta poliforma, modelo geométrico, é gerada a partir do modelo de features.
2. *Setup*: determina-se inicialmente a quantidade de fixações necessárias (1, 2 ou 3) para fabricar a peça, e a seguir as alternativas de fixação da peça para cada um dos *setups*, determinando-se as superfícies de fixação da peça e grupo de features a serem usinadas em cada *setup*. Em função do *setup* as features de usinagem podem ser diferentes, logo os volumes de usinagem dependem do *setup*.
3. Operações de usinagem: em função do tipo de feature pode-se determinar a classe de mapeamento, simplificando o problema. Por exemplo uma feature rosca ou um recartilhado pode ser mapeadas em um modelo de classe 1 => 1 usando um método heurístico. Já um canal, em função da sua geometria, pode ser mapeado em vários tipos de combinações de operações de usinagem podendo ser classificado como um mapeamento com alternativas, classe de *mapeamento especializado* (1 => n).

O método proposto leva em consideração, de forma simultânea, os três aspectos que mais influenciam a determinação dos volumes a serem usinados em peças rotacionais. As features de usinagem são mapeadas a partir das features de projeto disponíveis no banco de dados, através da decomposição volumétrica baseada em critérios geométricos, *setup* da peça e nas operações de usinagem.

Após a determinação do número de *setups*, para a melhor alternativa, e a definição dos grupos de features por *setup*, é realizado a decomposição de volumes baseado na geometria do *blank* (peça bruta) e da peça final. O método proposto é baseado na decomposição de uma poliforma. Uma poliforma é uma forma geométrica fechada formada por uma sucessão de linhas e arcos conectados, que descrevem em 2D a área final da peça rotacional e a área global de material a ser removido do *blank*. Na realidade a área (2D) está relacionada ao volume do sólido rotacional e ao volume global de material a ser removido do *blank*. O mapeamento de features é feito a partir da

Tabela 1: Operações de usinagem modeladas na decomposição orientada à operação.

Operações	Tipo de feature de usinagem associada e direção
Torneamento	Volume associado ao perfil da peça na direção horizontal
Faceamento	Volume associado ao perfil da peça na direção vertical
Perfilamento	Volume associado ao contorno da peça sem direção preferencial
Furação	Volume associado a um furo
Canal/Reentrância	Volume associado a um canal ou reentrância na peça pode ser curto ou largo
Recartilhamento	Atributo da feature de usinagem pai (superfície primária e secundária)
Rosqueamento	Atributo da feature de usinagem pai (superfície primária e secundária)

determinação do volume a ser removido por usinagem levando em conta a geometria da peça acabada menos a peça bruta.

O volume de usinagem global é dividido em features de usinagem usando um algoritmo de varredura de linha horizontal e vertical (figura 3). Para diâmetros externos é feito a varredura para features de forma do tipo OD de maior diâmetro para features OD de diâmetro imediatamente inferior, determinando-se os vértices desta poliforma. A seguir repete-se o procedimento até fazer a varredura de todos os diâmetros externos das features OD. Para diâmetros internos repete-se o mesmo procedimento de forma inversa às features OD.

Após a identificação do grupo de features por *setup*, dos volumes de material a serem removidos é necessário a decomposição dos volumes globais de material a serem removidos, previamente identificados, em features de usinagem, associando um sub-volume de um volume maior a uma operação de usinagem e um determinado tipo de ferramenta.

Em algumas situações as features de usinagem decompostas pelo método geométrico não podem ser usinadas em apenas uma operação. Assim as features de usinagem devem ser decompostas em outras features de usinagem. Por exemplo, canal (largo ou estreito), faceamento, torneamento e feature de perfil. Logo pode-se ter muitas alternativas de operações de usinagem para uma determinada feature de usinagem. As operações de usinagem modeladas são apresentadas na Tabela 1.

3.2 Determinação das Operações de Usinagem Associadas as Features: *Workingsteps*

A atividade proposta de mapeamento de features determina as features de usinagem associando-as às operações de usinagem com alternativas, considerando a geometria da peça bruta e da peça acabada, *setup* e operações de usinagem. Para representar todas estas alternativas utiliza-se um grafo E/OU que relaciona as várias possibilidades de operações de usinagem, geometria das ferramentas e *setup*, para gerar uma determinada feature de usinagem.

Uma operação de usinagem define o processo de usinagem para uma área limitada da peça denominada de feature de usinagem. Define-se assim o conteúdo de um *workingstep* de usinagem (*Machining_workingstep*¹) ou de torneamento (*Turning_workingstep*²) associando a operação de usinagem a uma feature de usinagem, definindo no mínimo a ferramenta e os parâmetros tecnológicos de usinagem segundo STEP-NC.

A cada *feature* mapeada, a área ou perfil de usinagem associado a uma operação de desbaste é determinada. É previsto um sobrematerial para as operações de semi-acabamento e/ou acabamento. As operações de acabamento consistem de: perfilamento/cópia, rosqueamento, torneamento interno e externo, faceamento e alargamento. A operação final de acabamento constitui-se de um único passe. As operações de desbaste consistem de faceamento, torneamento interno e externo e furação. A profundidade de corte ainda não é conhecida e só será calculada depois que uma apropriada ferramenta de corte tenha sido selecionada e as condições de usinagem tenham sido otimizadas.

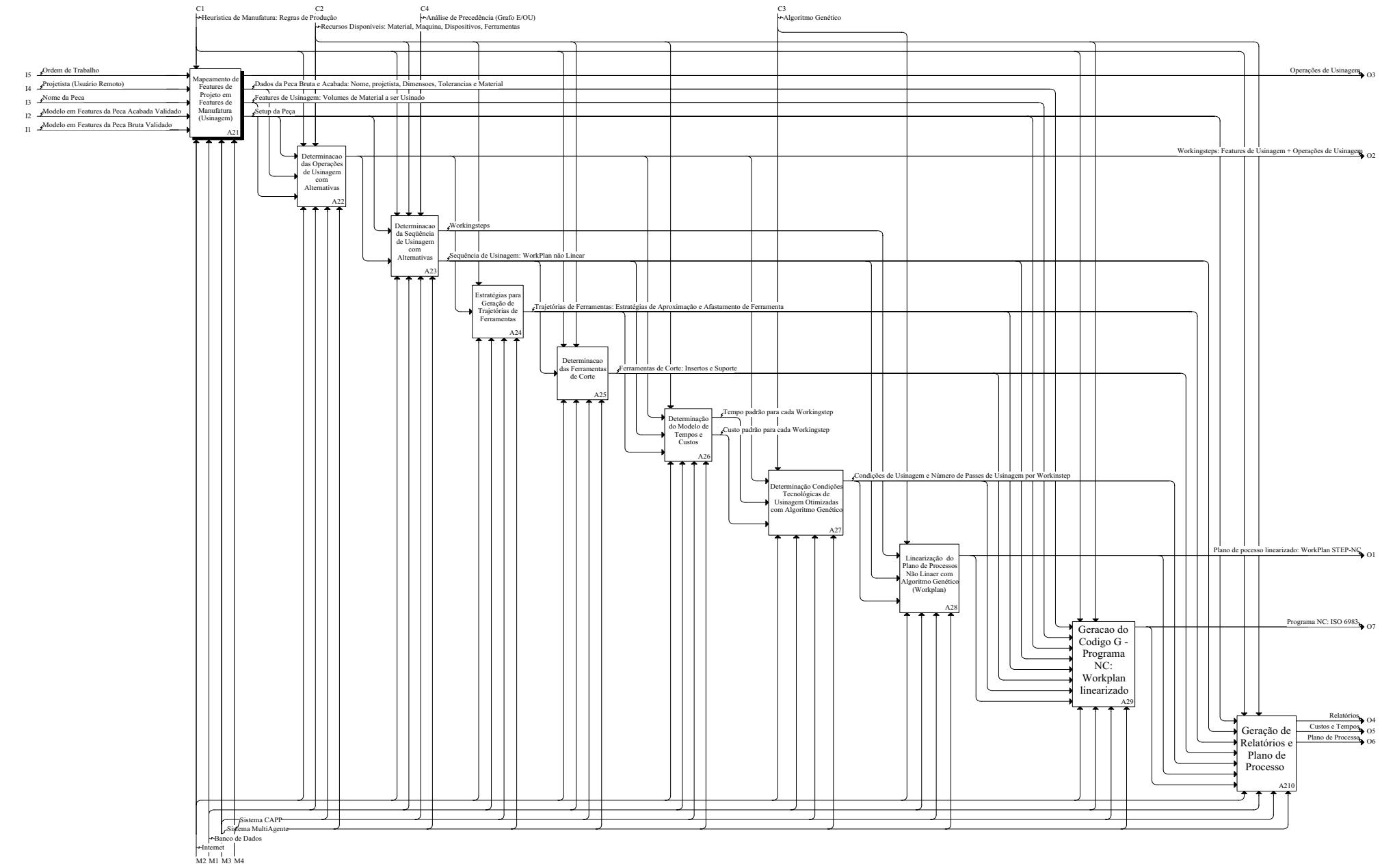
A geração das features de usinagem (torneamento, externo e interno, e furação) é representada no plano de processo com alternativas usando uma representação baseada em Grafo E/OU. Um exemplo de descrição das alternativas de fabricação para uma features de usinagem associada a uma feature de projeto do tipo Canal largo (reentrância) com uma face perpendicular à direita e um superfície cônea à esquerda para fora da peça, terá como alternativas as operações (figura 4): sangramento + torneamento com ferramenta para esquerda; ou sangramento + torneamento com ferramenta para direita com ângulo de abordagem da ferramenta compatível com a inclinação do cone; ou sangramento + ferramenta neutra com ângulo de abordagem da ferramenta compatível com a inclinação do cone.

Faz-se a representação do plano de processos não linear através de *Workingsteps*, incluindo as entidades *Non_sequencial* e *Selective*, para cada *setup*, segundo ISO 14649 - Part 10 (STEP NC), representando assim as operações de usinagem com alternativas (Grafo E/Ou) associadas as features de usinagem. A figura 5 apresenta um exemplo para uma peça, destacando a geometria da peça, features de usinagem e *setup* (a), a lista de *workingstep* (b), o grafo E/OU da sequência de processo (c) e a estrutura de dados das operações de usinagem associadas as features, descrito através de uma lista (d).

¹Segundo STEP-NC Part 10, um *Machining_workingstep* associa uma operação de usinagem a uma única feature de usinagem, incluindo também um plano de segurança.

²Segundo STEP-NC Part 12, um *Turning_workingstep* associa uma operação de usinagem a uma lista de features de usinagem (duas ou mais), incluindo também um plano de segurança. Esta definição viola a definição de Part 10. Pela Part 10 não pode haver ambiguidade de relações de "n" features de usinagem e 1 operacão (n:1), nao permitindo uma lista de features de usinagem, conforme definido em Part 12. *Workingstep* esta sempre associado com 0 ou 1 feature de usinagem. Operações podem estar associadas a "n" features de usinagem. Já *Machining_workingstep* pode estar associada a uma única feature de usinagem. Este contradição contínua pendente até as próximas revisões do Draft da norma atual.

Figura 2: Diagrama IDEF0: Atividades CAPP.



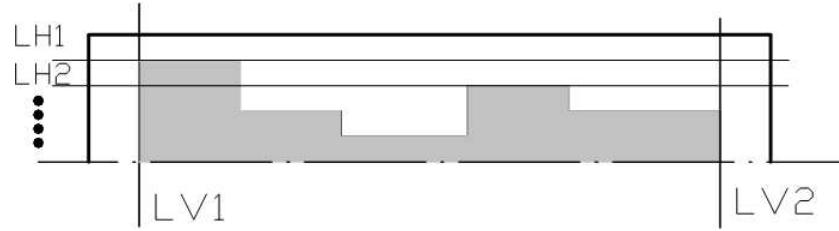


Figura 3: Poliforma fechada representando o perfil 2D da peça bruta e peça acabada.

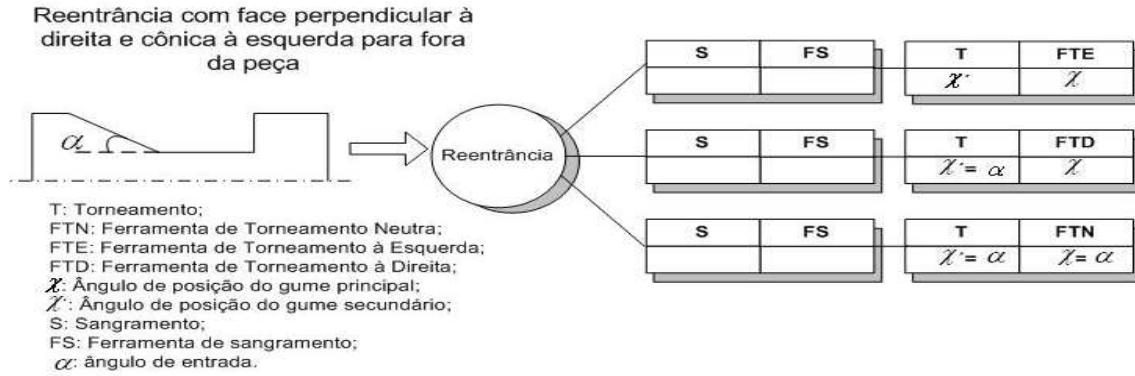


Figura 4: Grafo E/OU apresentando alternativas de usinagem para feature do tipo Canal Largo, Reentrância, com uma face perpendicular à direita e uma superfície cônicamente curvada para fora da peça.

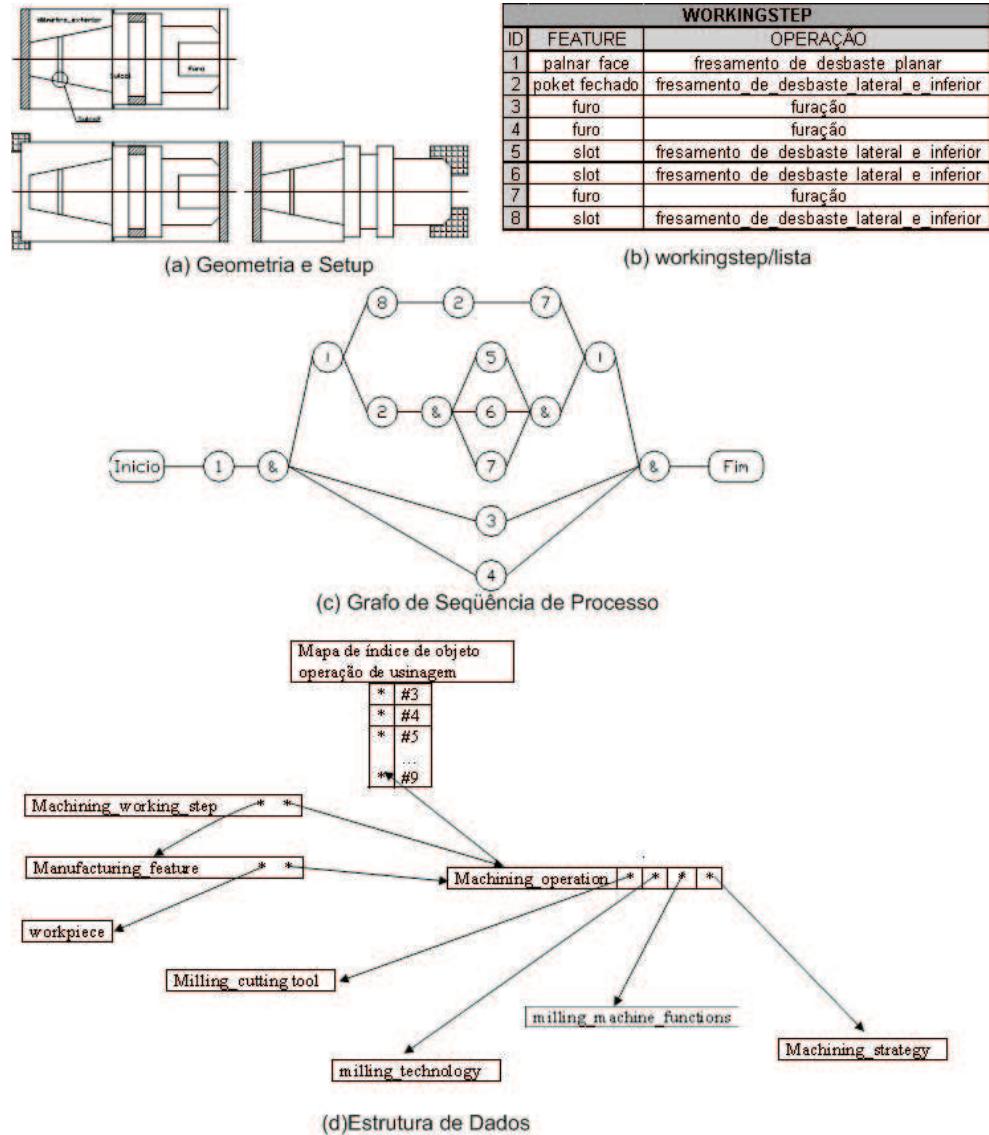
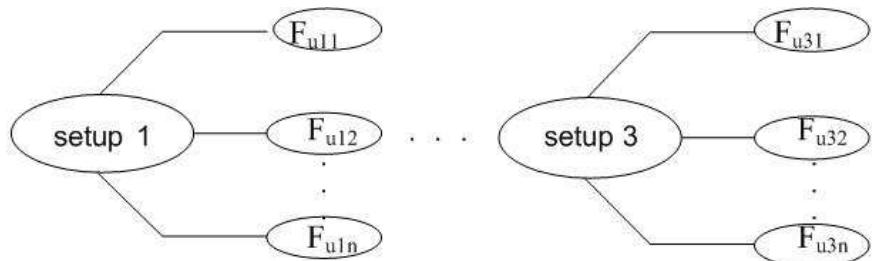


Figura 5: Exemplo de peça: (a) Geometria da peça (b) lista de workingstep, (c) grafo E/OU, (d) lista da estrutura de dados para operações de usinagem.



Relação de Features de usinagem por *setup* para operações de desbaste, semi-acabamento e acabamento.

	F_{u11}	F_{u12}	\dots	F_{u1n}
F_{u11}	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
F_{u12}	x		x	x
F_{u13}	x			x
F_{u1n}		x		

Tabela de relacionamentos por *setup*

0	1	1	1
1	0	1	1
1	0	0	1
0	1	0	0

Matriz Adjacente por *Setup*

Figura 6: (a) Relação de features de usinagem (FU) por *setup* para operações de desbaste, semi-acabamento e acabamento (b) Tabela de relacionamentos por *setup* mostrando a precedência de features de usinagem (c) Matriz Adjacente por *setup*.

3.3 Determinação da Seqüência de Operações de Usinagem: *Workplan*

Tendo-se determinado as features de usinagem (FU) associadas as operações de usinagem com alternativas, que representam uma entidade *workingstep* (STEP-NC), parte-se para a terceira atividade de planejamento de processo, que tem como objetivo a determinação da seqüência de operações de usinagem para fabricação da peça, gerando a seqüência na qual as “n” features serão usinadas, ou seja a ordem de execução dos *workingsteps*. Assim definimos o conceito de *workplan* (ISO 14649 - PART 1, 2003) que é uma coleção de *workingsteps* com uma seqüência de execução, ou seja, uma lista ordenada de executáveis, para um determinado *setup*.

Para cada *setup* têm-se os *workingstep*, associando features de usinagem (FU) e operações de usinagem, sendo representados por grafo de FU por *setup* (lista de features), tabela de relacionamento por *setup* e a matriz adjacente por *setup*, conforme apresentado na figura 6. Após a determinação da seqüência na qual as features de usinagem, associadas aos *workingsteps*, serão executados para cada *setup*, gera-se um *workplan* por *setup* da peça. Por exemplo, se o plano de processo tem dois *setups*, serão gerados três *workplans*:

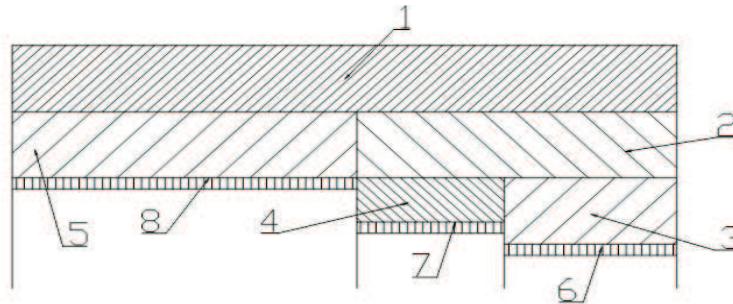
- *Workplan* definindo os dois *setups*: identifica cada *setup* e qual será o primeiro *setup* a ser feito sobre a peça;
- *Workplan* para o primeiro *setup*: identifica a lista ordenada de *workingsteps* que serão executados na peça associados ao primeiro *setup* da peça;
- *Workplan* para o segundo *setup*: identifica a lista ordenada de *workingsteps* que serão executados na peça associados ao segundo *setup* da peça.

A determinação da seqüência de usinagem das features associadas às operações de usinagem, *workplan*, é baseada na análise de restrições que pode ser implementado através de regras de produção (CHANG et al., 1998), (SUNDARAM, 1986) e (ÁLVARES, 2001), sem realizar ainda a otimização/linearização das alternativas de operações, que podem ser utilizadas na remoção da *feature* de usinagem.

Uma otimização eficiente do plano de processo não linear não é possível neste estágio, pois não se tem ainda um plano de processo detalhado com as condições de usinagem, tempos e custos para cada operação. Até o momento pode-se utilizar como critério de otimização o número de *setups*, a continuidade de movimento e a perda de precedência. Entretanto não é possível utilizar critérios econômicos para definir uma função objetivo que otimizasse o plano de processo não linear. Esta análise será feita mais a frente em um procedimento de otimização da seleção das operações alternativas denominado de linearização do plano de processos com alternativas. As restrições que determinarão um gráfico ou tabela de precedência de *features* de usinagem são de quatro tipos (figura 6(b)): restrições de operações (1); restrições geométricas ((2) já analisadas); restrições de ferramentas ((3) já analisadas); restrições de tolerâncias geométricas ((4) já analisadas).

Do ponto de vista de fabricação, boas práticas, existem quatro regras que devem ser seguidas quando se vai determinar o seqüenciamento das operações (ÁLVARES, 2001): operações de desbaste devem ser executadas em primeiro lugar; uma feature primária deve ser executada antes que uma feature secundária associada à primária. Por exemplo, um chanfro deve ser usinado antes que uma rosca (secundária) em uma feature OD ou ID (primária); determinar os elementos de localização, isto é, referências de apóio e fabricação. Por exemplo, as duas faces externas e furos de centro devem ser usinados em primeiro lugar; identificar as features de forma que tem requisitos de tolerâncias de posicionamento, por exemplo concentricidade, e tolerâncias de rugosidade.

A tabela de relacionamento de precedência apresenta o relacionamento de precedência de operações associadas as features de usinagem (FU) determinadas anteriormente (*workingstep*) levando em consideração as quatro restrições apresentadas (figura 6(b)). As restrições entre features são determinadas e este relacionamento de precedência é representado por um Grafo Direcionado, representando-o através de uma estrutura de dados por meio de uma matriz adjacente X.



Detalhes de operação	Operação	TP	Prioridade	Relacionamento
Detalhes de operações estão listadas no texto				
	010	000	0	
	020	010	0	
	030	020	0	
	040	030	0	
	050	020	0	
	060	030	0	
	070	040	0	
	080	050	0	

ID Workingstep	FU	Operação	Precedência	Tempo/Custo	Relação	Sequência Final
1	1	1	0		0	1 (início)
2	1	2	0		0	2
3	2	3	1		0	4
4	3	4	2		0	3
:	:	:	:		0	:
n	m	n			0	k (final)

Figura 7: Opções de *workingsteps*: features de usinagem, operações de usinagem representados no formato de Matriz Operações Teóricas: operação, tempo e custo teórico da operação (TP), precedência (prioridade), relacionamento entre features e seqüência final de execução de *workingstep*.

A matrix adjacente, $X = [x_{ij}]$ de um dado Grafo Direcionado G é uma matriz “n” por “n” com elementos³ (0,1) desta matriz:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se existe um arco direcionado do } i\text{-th vértice ao } j\text{-th vértice; ou se não existe um arco direcionado} \\ 0 & \text{do } i\text{-th vértice ao } j\text{-th vértice.} \end{cases}$$

O algoritmo para determinação da matriz de acessibilidade R é apresentado abaixo, sendo desenvolvido DEO (1974) e aplicado pela primeira vez por SUNDARAM (1986) em problemas de sequenciamento de operações de usinagem:

- Passo1: Sejam $x_{1i}, x_{1j}, \dots, x_{1m}$ elementos não zero da primeira linha. Adicione as $i_{th}, j_{th}, \dots, m_{th}$ linhas para a primeira linha. Troque os elementos não zero por 1 (soma booleana).
- Passo2: Suponha que existam k elementos adicionais não zero p, q, ..., r gerados na primeira linha como resultado do passo 1. Adicione as linhas $p_{th}, q_{th}, \dots, r_{th}$ para a primeira linha e troque cada elemento não zero por 1.
- Passo3: Repita o passo 2 até que nenhum elemento adicional 1 possa ser adicionado para primeira linha pelo procedimento.
- Passo4: Repita o processo para cada linha de X.
- Passo5: Finalmente faça a soma algébrica de cada linha da matriz R. A seqüência ótima de precedência de features de usinagem é determinada pela ordem decrescente da soma obtida.

Pode-se representar o resultado desta atividade através de uma matriz de “n” *workingsteps*, relacionando “m” features de usinagens e opções de operações (“n” operações) de usinagem para fabricar a feature (planos alternativos) através de uma matriz, sendo “n” \geq “m”.

Tem-se como resultado final a representação de todas as alternativas de operações para cada feature de usinagem (figura 7), tendo uma relação de precedência de *workingsteps* na forma de um grafo de precedências de features linearizado, que pode ser mapeado em um grafo E/OU de *workingsteps*, indicando as alternativas de operações para geração de cada feature de usinagem, a ser representado por um *workplan* com alternativas.

3.4 Estratégias para Geração de Trajetórias de Ferramentas

A determinação da estratégia usada para geração de movimentação de ferramentas (percursos de ferramentas) para cada operação é baseada no método de raciocínio geométrico (SHAH e MANTYLA, 1995) sobre o perfil bidimensional da peça a ser usinada, e nas estratégias especificadas na ISO 14649 - Part 12 (2003).

³Os elementos, nesta visão da matriz adjacente, são as features de usinagem, ou seja, um volume de material a ser removido por um determinado processo/operação/ferramenta/setup. Os elementos podem ser representados, também, pelas operações de usinagem escolhidas para remoção dos volumes de material associados às features de usinagem. Assim features de usinagem e operações de usinagem são visões complementares do mesmo problema.

Para o detalhamento de uma operação de usinagem é necessário a especificação da ferramenta e uma estratégia usada para criação da trajetória da ferramenta de usinagem, sendo esta entidade definida como estratégia de usinagem (*Machining_strategy*), segundo STEP-NC Parts 10 e 12. Uma estratégia de movimentação de ferramenta está associada basicamente à definição de quatro trajetórias da ferramenta:

- trajetória de aproximação/abordagem: trajetória desenvolvida pela ferramenta a partir do ponto de aproximação (plano de aproximação), para abordagem da peça a fim de iniciar o corte;
- trajetória de usinagem: trajetória desenvolvida pela ferramenta para usinagem da peça, após a execução da trajetória de aproximação para início de usinagem, onde há remoção de material;
- trajetória de afastamento/retração: trajetória desenvolvida pela ferramenta ao final de um passe de usinagem, para se afastar da peça posicionando-se no ponto de retração (plano de retração), que poderá ser o mesmo que o plano de aproximação;
- trajetória de transição da ferramenta: qualquer trajetória desenvolvida pela ferramenta para se posicionar no ponto de aproximação.

Um detalhamento das estratégias previstas para cada tipo de operação considerada para remoção das features de usinagem, incluindo as estratégias definidas na ISO 14649 - PART 12 (2003), são descritas em ÁLVARES (2003).

3.5 Determinação das Ferramentas de Corte: Pastilhas e Suportes

A seleção das ferramentas (insertos e suportes) é baseada em dois critérios básicos (KAYACAN et al., 1996): no material a ser usinado, podendo-se selecionar ferramentas da classe ISO P, M ou K; no tipo de operação de usinagem associada as features de usinagem, incluindo a estratégia de movimentação da ferramenta considerada.

A partir das features de usinagem são determinadas todas as pastilhas e suportes que poderão ser utilizadas em função: da operação (torneamento interno e externo, perfilamento/cópia, faceamento, recartilhamento, rosqueamento, sangramento, furação e alargamento); do tipo de operação de desbaste e/ou acabamento; estratégia de movimentação da ferramenta considerada; do tipo de ferramenta (lado esquerdo, lado direito ou neutra); do ângulo de abordagem da ferramenta (ângulos de posição efetivo do gume principal e do gume secundário) associado à geometria do suporte.

Os dados associados às ferramentas de corte (pastilhas e suportes) são armazenados em uma base de dados relacional. A seleção inicia-se com a determinação dos suportes que são compatíveis com a operação considerada. O sistema de fixação da pastilha é então selecionado, levando em conta a movimentação da ferramenta a fim de evitar qualquer colisão com a peça, analisando o ângulo de entrada (abordagem) do suporte. Um suporte com maior ângulo de entrada é preferível, caso não se tenha um suporte com ângulo de entrada adequado à feature de usinagem. A seguir, as dimensões do suporte são determinados (comprimento, largura e altura). Se existirem vários candidatos escolhe-se o suporte mais largo e com menor comprimento, melhorando assim a rigidez da ferramenta.

Monta-se uma tabela relacionando as features de usinagem às alternativas de ferramentas a serem utilizadas em cada operação. Dá-se preferência para aquelas ferramentas que já estejam montadas na torre porta-ferramentas da máquina, minimizando o tempo de setup de ferramenta, através de um fator de penalidade para as demais ferramentas. Procura-se especificar sempre que possível ferramenta com movimento da direita para esquerda (ponto de vista do operador da máquina, supondo torre na frente da máquina), levando em conta a necessidade de *setups* da peça, a fim de se evitar a utilização de ferramenta da esquerda para direita. Novamente usa-se o critério da penalidade, agora para ferramentas do lado esquerdo. Pode-se gerar uma superfície intermediária em um primeiro *setup*, e no segundo *setup* usina-se a superfície intermediária com a mesma ferramenta do primeiro *setup* (ferramenta lado direito), sem necessidade do uso de uma ferramenta lado esquerdo. Leva-se também em consideração o custo unitário da ferramenta, a disponibilidade da ferramenta no almoxarifado e a qualidade desejada para a peça.

Após a seleção prévia das ferramentas (suportes e insertos) utiliza-se vários critérios para a seleção final das insertos de ferramenta e do suporte ferramenta, descritos em MESQUITA et al. (2002) e ÁLVARES (2003), relacionados a sua geometria, que serão utilizados nas várias operações de usinagem com alternativas associadas às features de usinagem.

3.6 Modelo de Tempos Para Determinação das Condições de Corte Otimizadas

O método proposto para as atividades de determinação do modelo de tempos e cálculo dos tempos padrão e custo padrão para cada *workinstep* e para a determinação das condições de usinagem otimizadas utilizando algoritmos genéticos é apresentado em ÁLVARES e FERREIRA (2004) e ÁLVARES (2003), sendo baseado nos seguintes aspectos:

- formulação do problema a ser otimizado: As trajetórias da(s) ferramenta(s) consistem em múltiplos passes de usinagem e um passe de acabamento, onde os passes de desbaste (multi-passe) é utilizado para deixar um sobrematerial para a operação de acabamento (passe simples), que é executada ao longo do perfil da peça. São otimizadas as condições de corte para operações de torneamento interno e externo longitudinal linear, longitudinal cônicoo e longitudinal circular, faceamento, corte, sangramento, furação, rosqueamento e recartilhamento; englobando todas as features de projeto descritas na taxonomia de features (CAM-I, 1986).
- modelo matemático relativo ao tempo de corte para as operações de usinagem consideradas (abordagem multi-passe): Modelo matemático de tempos para operações multi-passes com diferentes profundidades

<i>workingsteps</i>	1	2	3	4	n	
<i>workplan</i> não linear	1	3	6		5	7
2		2	3	4		5
3	10	20	30			10
4		13	12	16	18	
j	10	5	10			3

Figura 8: *Workplans* alternativos e *workingsteps* associados, onde os valores das células estão associados ao custo ou tempo relativo à operação de usinagem.

de corte para torneamento interno e externo longitudinal linear, longitudinal cônico e longitudinal circular, faceamento, perfilamento, corte, sangramento, furação e recartilhamento. O modelo multi-passe leva em consideração as operações de desbaste e acabamento simultaneamente, sendo o sobrematerial de acabamento uma restrição para o desbaste, e a profundidade de corte de desbaste é igual a profundidade de corte total menos a profundidade de corte de acabamento. Cada feature de usinagem poderá ter vários modelos matemáticos em função das alternativas disponíveis no grafo e/ou das features de usinagem considerada (*workingstep* do *workplan*), sendo que as operações de acabamento e desbaste poderão ser executadas com ferramentas diferentes.

- função objetivo: Cada modelo de tempo associado a uma determinada operação de usinagem tem uma função objetivo. Assim têm-se várias funções objetivo para cada alternativa de usinagem considerada, associada a cada uma das features de usinagem da peça (*workingstep*). Para cada operação de usinagem tratada defini-se duas funções objetivo para otimização, sendo uma baseada em menor custo de produção e a segunda baseada na maior taxa de produção, definindo assim o intervalo de máxima eficiência.
- método de resolução do problema de otimização, com resolução do problema de forma conjunta para as operações de desbaste e de acabamento, baseado em algoritmos genéticos, integrado a um sistema CAPP, usando o conceito de planos não lineares (operações alternativas).

3.7 Linearização do Plano de Processos com Alternativas

Até este momento tem-se especificado uma lista de features de usinagem a serem trabalhadas, sendo associado para cada feature de usinagem alternativas de operações de corte, definindo os *workingsteps*. Para cada alternativa de operação é associado um modelo de tempo e custo e uma estratégia de movimentação de ferramenta, sendo realizado a seguir a otimização das condições de usinagem baseado em um modelo multi-passe e a utilização de algoritmos genéticos. A figura 7 sintetiza a representação dos *workingsteps* com alternativas de operações, conforme descrito anteriormente, incluindo os dados relativos de cálculo de tempos e custos para cada operação de usinagem. Com estes dados disponíveis é possível linearizar o plano de processos (*workplan* não linear) utilizando uma função objetivo baseada em mínimo custo ou mínimo tempo de usinagem.

A formulação do problema matemático associado a otimização é: “Dada uma lista de operações associadas às features de usinagem (*workingsteps* de usinagem) a serem executadas, e uma lista de recursos disponíveis apresentando alternativas de operações com diferentes ferramentas, estratégias de usinagem e *setup* (*workplan*, *program_structure* e *workingsteps*), segundo um esquema de representação de dados STEP-NC, para uma dada máquina-ferramenta; uma decisão é requerida para definir qual operação, dentre as alternativas (*workingsteps*) disponíveis, deve-se especificar para cada *setup*, qual a seqüência de usinagem e quais as condições de corte que deverão ser empregadas, ou seja, como linearizar o *workplan* com alternativas”.

A figura 8 apresenta os possíveis “j” *workplans* por *setup* e o “n” *workingsteps* associados representados em uma matriz *workplan* x *workingstep*, devendo ser analisado em conjunto com o grafo de seqüência de *workingstep*, grafo E/OU. Cada célula da matriz contém um valor de tempo ou custo mínimo, já linearizados, associado à operação de usinagem sobre uma feature. O custo/tempo do *setup* do conjunto máquina-peça-ferramenta é calculado em paralelo como a soma dos custos/tempos relativos ao: *setup* da máquina; *setup* da ferramenta; troca de ferramenta entre usinagens de features sucessivas, adjacentes (troca de ferramenta na torre); *setup* da peça entre usinagens de features sucessivas, adjacentes (por exemplo, inversão da peça na placa, permitindo usinagem do lado esquerdo e depois do lado direito).

Para otimização do plano de processo não linear, utiliza-se um critério de otimização baseada na minimização do custo de produção ou do tempo de usinagem global através da abordagem de algoritmos genético, levando em conta a minimização do *setup*.

Para avaliação do impacto do *setup* sobre as alternativas de operações para um determinado *workplan*, monta-se uma matriz relacionando um *workingstep* (“i”) com o *workingstep* posterior (“i+1”), indicando na célula o tempo ou o custo de alteração de *setup* da operação atual sobre a feature, para a próxima operação na feature seguinte, de acordo com o grafo E/OU, ou seja verifica-se se existe uma relação de precedência que permita a transição de *setups* entre os dois *workingsteps*. Caso não seja permitido a alteração de *setup* de *workingstep* para outro a célula é preenchida com “na”, estabelecendo-se as regras de precedências entre *workingsteps*. A figura 9 (a-d) estes conceitos associados a uma peça exemplo (ROCHA et al., 1999) são apresentados para seis features de usinagem (figura 9(a)). Cada feature de usinagem tem duas operações alternativas (figura 9(b)). Um grafo de precedência é apresentado em (figura 9(c)) e a matriz custo de *setup* é apresentado em (figura 9(d)).

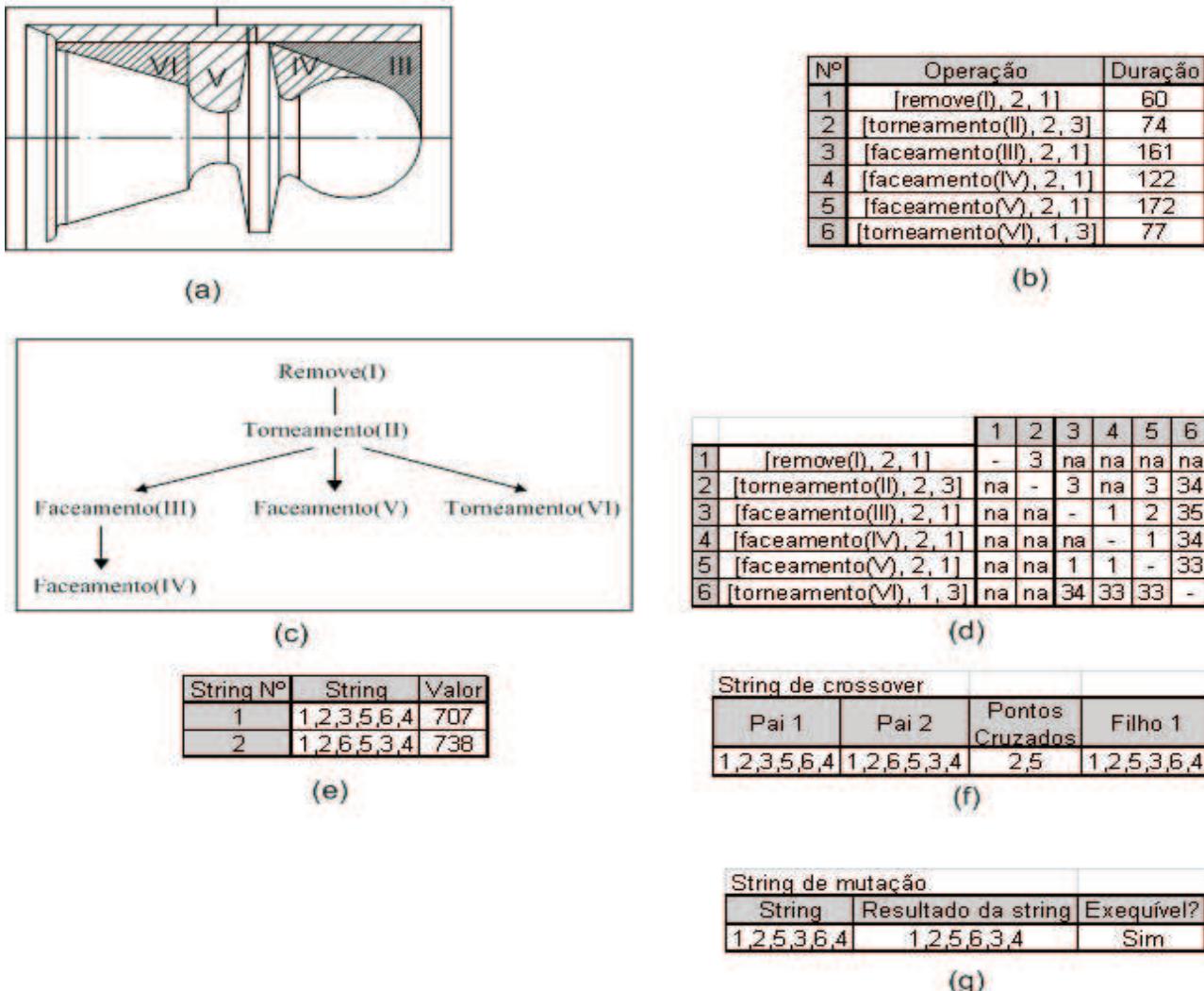


Figura 9: Exemplo: (a) peça (b) features de usinagem e operações (c) grafo de precedência de *workingsteps* (d) matriz de *setup* de *workingstep* (e) strings (g) operador de reprodução (f) operador de mutação.

A seguir define-se uma função objetivo baseada em custos ou tempos, que será utilizada no procedimento de linearização do plano de processos com alternativas para o domínio de peças rotacionais, utilizando a abordagem de algoritmos genéticos. As funções objetivos calculadas para cada *workplan* (*CustoWorkplan* (CW) e *TempoWorkplan* (TW)), associado a um *setup* da peça, são:

$$CW = \sum_{i=1}^n (CustoWorkingstep_i) + \sum_{i=1}^{n-1} (CustoSetup_{i \rightarrow i+1} * \Omega(Workingstep_i, Workingstep_{i+1})) \quad (1)$$

$$TW = \sum_{i=1}^n (TempoWorkingstep_i) + \sum_{i=1}^{n-1} (TempoSetup_{i \rightarrow i+1} * \Omega(Workingstep_i, Workingstep_{i+1})) \quad (2)$$

sendo $CustoSetup_{i \rightarrow i+1}$ ou $TempoSetup_{i \rightarrow i+1}$ o custo ou tempo de *setup* para trocar do $Workingstep_i$ para o $Workingstep_{i+1}$ (3) e n o número de *workingstep* do *workplan*:

$$\Omega(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \neq y \\ 0, & \text{se } x = y \end{cases} \quad (3)$$

Utiliza-se um algoritmo genético para o procedimento de otimização (ALVARES, 2003). A representação dos cromossomos é feita através de *strings* (A figura 9 (e-g)). O número de posições em cada *string* é igual ao número de *workingsteps* do *workplan* analisado. Cada posição contém uma referência à operação associada a uma feature de usinagem (*workingstep*). Cada cromossomo, uma *string*, é representado por uma coleção de n elementos (genes) correspondendo a n *workingsteps*.

Faz-se a geração da população inicial de forma randômica, obedecendo a relação de precedência entre os *workingsteps*, sendo as strings constituídas de seqüências válidas, sem violação da precedência pré-estabelecida. São utilizados os workplans já definidos anteriormente. Desde que todas as alternativas de operações são consideradas (ferramentas, *setup* peça, estratégias de movimentação de ferramenta, entre outros) todo o espaço de solução é analisado, permitindo a determinação do ótimo global.

3.8 Geração do Program NC (ISO 6983)

O programa NC é gerado diretamente para o conjunto máquina-ferramenta/CNC segundo o padrão ISO 6983 (ISO 274 D), podendo-se utilizar de algumas funções especiais da máquina CNC, os chamados ciclos fixos, que executam uma determinada operação de usinagem utilizando uma estratégia de movimentação de ferramenta

padronizada pelo fabricante do CNC. A máquina-ferramenta é selecionada no início da modelagem da peça pelo usuário. Tem-se vários módulos de macros, em função dos conjuntos de máquinas-ferramenta/CNCs disponíveis na base de dados de máquinas, que poderá ser utilizado para a geração do programa NC.

Outra alternativa seria gerar o programa NC em STEP-NC para ser utilizado em uma máquina-ferramenta com controlador aderente à STEP-NC. Atualmente tem-se três tipos previstos de controladores aderentes à STEP-NC (SUH et al., 2003). Por não se dispor atualmente de controladores comerciais STEP-NC e pelo escopo do trabalho não ser o STEP-NC, o programa NC será gerado apenas no padrão ISO 6983, códigos G e M.

A abordagem para geração do programa de usinagem é baseado em macros/templates (ÁLVARES, 2003) que padronizam determinada operação de usinagem, descrevendo a definição da movimentação de ferramentas e condições de usinagem através de um trecho de programa parametrizado. Para efeito de otimização destas macros, pode-se utilizar ciclos fixos nas macros, como por exemplo o ciclo G70 (Ciclo de acabamento) após utilização dos ciclos de desbaste G71, G72 e G73 para o centro de torneamento Galaxy 15M com CNC Fanuc 18i-Ta.

3.9 Geração da Documentação Final do Plano de Processo Linearizado

O plano de processo linearizado é apresentado no formato de uma planilha eletrônica (tabela) para efeito de documentação, indicando todas as informações referentes ao planejamento do processo linearizado e disponibilizado através de uma base de dados relacional, que são: dados administrativos (projetista, nome da peça, descrição, tamanho do lote e data); especificação da máquina CNC; *setups* da peça; nome operações elementares de usinagem; número da operação; ferramentas de corte e porta-ferramenta; condições tecnológicas de usinagem (ap, f e Vc); estimativa de tempo por operação (tempo padrão); estimativa de tempo para fabricação da peça; custo estimado por peça; URL referente ao arquivo do programa NC.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado uma nova abordagem de CAPP para peças rotacionais baseado em mapeamento de features, sendo constituída por dez atividades. A partir da implementação em um protótipo da metodologia de integração CAD/CAPP/CAM proposta, para geração do plano de processos não lineares, baseada na estrutura de dados STEP-NC, ter-se-á também uma ferramenta de programação NC orientado ao chão-de-fábrica, gerando o programa NC, baseado na ISO 6983, para determinada máquina-ferramenta.

Assim, este arcabouço conceitual para integração CAD/CAPP/CAM poderá ser utilizado de forma *off-line* (externa ao CNC) ou incorporado ao próprio CNC aberto da máquina-ferramenta, sendo portanto aderente a proposta STEP-NC.

Atualmente o sistema está em fase de implementação computacional pelo Graco (Grupo de Automação e Controle da UnB) e pelo Grucon/Grima (Grupo de Integração da Manufatura do Grucon da UFSC), baseado em arquitetura *open source* (software livre), onde está sendo concluída a implementação computacional do sistema de modelagem de peças rotacionais denominado WebCADbyFeatures, bem como, do sistema de teleoperação (WebDNC) do centro de torneamento Galaxy 15M (<http://video.graco.unb.br>). O sistema WebCAPP já está em fase de implementação computacional. Devido a sua complexidade irá consumir mais tempo de desenvolvimento, quando comparado aos outros dois módulos do sistema (CAD e CAM). Toda a implementação computacional e a integração dos diversos componentes do sistema deverá estar concluída em setembro de 2005. Maiores informações sobre o projeto WebMachining podem ser encontradas na URL <http://WebMachining.AlvaresTech.com>.

5. REFERÊNCIAS

- Álvares, A. J, Uma Metodologia para Integração CAD/CAPP/CAM Voltada para Manufatura Remota de Peças Rotacionais Simétricas Baseada na Internet, Exame de Qualificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, 2003, http://WebMachining.AlvaresTech.com/qualificacao_terceira_versao.pdf
- Álvares, A. J, Ferreira, J. C. E., Otimização das Condições de Usinagem para Operações em Tornos NC Utilizando Algoritmos Genéticos, III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 10 a 13 de Agosto de 2004, Belém-PA, 2004,
- Álvares, A. J, Monografia da Disciplina de Estudo Dirigido: Métodos para o Projeto, Planejamento do Processo e Fabricação de Peças Assistidos por Computador, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, 2001, <http://WebMachining.AlvaresTech.com/capp>.
- CAM-I, Deere & Company, Part Features for Process Planning, Moline Illinois, CAM-I, 1986.
- Chang, T.C., Wysk R.A. e Wang, H.P., 1998, "Computer Aided Manufacturing", Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering, W.J. Fabrycky e J.H. Mize (eds.), 2nd Edition, 1998.
- Chep, A., Tricarico, L. Bourdet, P., Galantucci, L., Design of Object-oriented database for the definition of Machining Operation Sequences of 3D Workpieces, Computers In. Engng, Vol. 34, No. 2, 257-279, 1998.
- Deo, N., Graph Theory with Applications to Engineering and Computer Science, Prentice-Hall, Inc., 1974.
- Desai, V. S. e Pande, S. S., 1991, "GFM - an interactive feature modeller for CAPP of rotational components", Computer Aided Engineering Journal, October 1991, pp. 217-220.
- Erickson, R. E., 1988, "The state of the art in computer aided process planning", CAM-I report.

- ISO 6983-1, Numerical control of machines program format and definition address words. Part 1. Data Format for positioning, line and contouring control system, First edition, 1982.
- ISO 14649 Data model for Computerized Numerical Controlers - Part 1: Overview and fundamental principles, Final Draft International Standard, 2003.
- ISO 14649 Data model for Computerized Numerical Controlers - Part 10: General process data, Final Draft International Standard, 2003.
- ISO 14649 Data model for Computerized Numerical Controlers - Part 12: Proces Data for Turning, Draft International Standard, V09 April 2003.
- Kayacan, M. C., Filiz, I. H., Sönmez, A. I., Baykasoglu, A. e Dereli, T., 1996, OPPS-ROT: An optimised process planning system for rotacional parts, Computers in Industry, 32, 181-195.
- Kruth, J. P. e Detand, J., 1992, "A CAPP System for Nonlinear Process Plans", Anais CIRP Vol. 41/1/1992, pp. 489-492.
- Mesquita, N. G. M., Andrade, S. M. V., Oliveira, J. A. C., Carvalho, H. M. B., Banco de Dados de Ferramentas de Corte Para um Sistema CAD/CAPP/CAM, Revista Máquinas e Metais, Ano XXXIX, N. 442, Nov., 2002, 128 - 139.
- Rico, C. S., Mateos, S., Cuesta, E., Duarte, A., 1997, "An Automatic CAPP System for Rotational Parts", 0-7803-4192-9/97, IEEE, 1997.
- Rocha, J., Ramos, C., Vale, Z., Process Planning using a genetic algorithm approach, Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning, Porto, Portugal, July 1999.
- Shah, J. J., Mäntylä, M., Parametric and Feature-Based CAD/CAM: Concepts, Techniques, and Applications, John Wiley & Sons Inc, New York, 1995.
- Shunmugam, M. S., Mahesh, P. e Reddy, S. V. B., 2002, "A method of preliminary planning for rotational components with C-axis features using genetic algorithm", Computers in Industry, 1605, pp. 1-19.
- Shyu, V. P.J.M., Chen, Y. W. e Wang, K.K., 1987, "A Mini CIM System for Turning", Anais CIRP, Vol. 35, pp. 277-280.
- Suh, S.H., Lee, B. E., Chung, D.H., Cheon, S.U., Architecture and implementation of a shop-floor programming system for STEP-compliant CNC, Computer-Aided Design, 35, pp. 1069-1083, 2003.
- Sundaram, R. M., 1986, "Process Planning and Machining Sequence", Computers & Industrial Engineering, Vol. 11, 1986, 27-31.
- Tönshoff, H.K., Aurich, J.C., Baum, Th. Configurable Feature-Based CAD/CAPP System. Proceedings of the IFIP International Conference on Feature Modeling and Recognition in Advanced CAD/CAM Systems. Valenciennes, France, p.757-769, 1994.
- Xu, X.W., He, Q., Striving for a total integration of CAD, CAPP, CAM and CNC, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Article in Press, accepted 7 August 2003.

A NEW APPROACH OF CAPP FOR CYLINDRICAL PARTS BASED ON MAPPING OF FEATURES

Alberto José Álvares

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica, Graco - Grupo de Automação e Controle, 70.910-300, Brasília, email: alvares@AlvaresTech.com

João Carlos Espíndola Ferreira

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Grupo de Integração da Manufatura - Grima, 88040-900, Florianópolis, SC, email: jcf@grucon.ufsc.br

Abstract. This work presents a new proposal for planning of process of cylindrical parts based in the approach of CAPP (Computer Aided Process Planning) Generative. The methodology is conceived starting from the modeling paradigm based on the synthesis of design features, in order to allow the integration of the design activities (CAD), process planning (CAPP) and manufacturing (CAM). The procedure begins with the modeling of a part by features in a context of remote manufacturing using the Web as the communication means, in a client-server model computacional. The client is connected to the Neutral Features Modeller through the Web and he begins instancing a new part to be modelled starting with a database, using the library of standardized features made available by the system. After concluding and validating the model, the created part is stored and made available for the methodology CAPP to generate the process plan with alternatives for the parts and the NC program for the plan linearized. The system of CAPP denominated by WebCAPP is constituted by ten activities (<http://WebMachining.AlvaresTech.com>).

Keywords. CAPP, Features, STEP NC, Turning, Web.