

# RELACIONAMENTO ENTRE OS DOMÍNIOS DE MODELAMENTO FUNCIONAL E GEOMÉTRICO NO PROJETO PRELIMINAR DE PEÇAS

**João Carlos Linhares**

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC - Deptº. Eng. Mec. - Programa de Pós Graduação em Eng. Mecânica - Bl. A - Sala 13 - Campus Universitário - CEP 88040-900 - Trindade - Caixa Postal 476 - Florianópolis - SC - Brasil - (+55) 48 331.9899 - R. 219 - [linhares@grante.ufsc.br](mailto:linhares@grante.ufsc.br)

**Altamir Dias**

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC - Deptº. Eng. Mec. - Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica - Bl. A - Sala 15 - Campus Universitário - CEP 88040-900 - Trindade - Caixa Postal 476 - Florianópolis - SC - Brasil - (+55) 48 331.9264 - R. 40 - [altamir@emc.ufsc.br](mailto:altamir@emc.ufsc.br)

**Resumo.** *A descrição da sequência lógica das operações na geração de uma peça pode ser feita com base na descrição funcional que a peça deverá realizar no uso do produto. A correlação entre entre domínio funcional de peças e o domínio geométrico é de certa forma um processamento lingüístico das linguagens descritivas envolvidas. Ou seja, as relações funcionais são definidas a partir de contextos semântico da linguagem usada na descrição de cada função. Isso envolve a elaboração do modelo de representação lingüística, a qual implica na definição de dois conjuntos de terminologias: uma primeira, voltada para a descrição das funções e, a segunda, para as definições conceituais e geométricas dos termos de projeto mecânico usada pelo projetista mecânico na busca de soluções geométricas para a realização das funções requeridas. Dessa forma é possível mapear a herança genética da terminologia das descrições funcionais (morfologia, semântica, sintática) e sua correlação com a terminologia técnica de projeto, descritas como semânticas associadas aos operadores geométrico 2D e 3D no Sistema CAD. Este artigo faz uma revisão deste problema e procura descrever a base necessária para o desenvolvimento de um modelo de análise dos dois campos de definição de propriedades de peças no projeto preliminar. Este conhecimento vai ser usado posteriormente no encaminhamento da implementação computacional do modelo proposto, em que uma função descrita pelo projetista, deverá ser analisada gramaticalmente por um Parser trabalhando na estrutura funcional, correlacionando com a linguagem utilizada pelo Sistema CAD na geração de geometria sólida da peça.*

**Palavras-chaves:** Projeto de peças, Descrição de funções de peças, Correlação função-forma,

## 1. INTRODUÇÃO

Produtos são sistemas técnicos compostos por peças, gerenciadas isoladamente no modelamento geométrico. Num passado próximo, o projetista manifestava suas intenções de projeto esboçando suas idéias no papel, delineando um formato geométrico do produto e conseqüentemente de componentes e peças. Atualmente, isso é feito diretamente no ambiente de trabalho do sistema CAD, dada a facilidade de manipulação geométrica permitida pelas operações de adição e remoção de material. A descrição da sequência lógica de operações de geração de um sólido em sistemas CAD pode ser feita com base na descrição adequada das funções que o sólido deverá realizar no uso do produto. Uma peça possui uma estrutura funcional que deve ser explicitada para melhor organização da tarefa de projeto. Peças têm funcionalidades específicas, que são definidas por estruturas funcionais individuais, a partir das quais elegem-se as formas geométricas na fase de projeto preliminar do produto. A definição da forma geométrica adequada à realização de uma função pode ser mais eficaz se for possível o processamento computacional de correlações entre a função desejada e as geometrias sólidas que a podem realizar.

Como na descrição funcional de um produto, a estrutura funcional da peça é desdobrada a partir de sua função global em funções parciais e elementares. Estas funções tem uma correspondente estrutura física/geométrica, caracterizada pelos sólidos criados com as operações geométricas no sistema CAD. Induzindo, assim, que a geração do modelo geométrico poderia se dar baseada no

modelo funcional a partir de identificações automáticas, desde operações básicas 2D às de encapeamento e acabamento do sólido 3D.

A estrutura funcional é uma árvore de descrições semânticas que segue um padrão morfológico gramatical, gerenciado por um *Parser*, cujo padrão de linguagem é pré-definido. Por outro lado, a estrutura geométrica da peça é uma árvore definida por termos técnicos de projeto mecânico, identificados pela descrição baseadas em *features* características do sistema CAD utilizado.

O processamento lingüístico da descrição da função é realizado, inicialmente, pela análise gramatical inserida no *Parser*, seguida de uma análise semântica (significado de projeto). Essa análise habilitará ou não a descrição da função à correlação com os operadores geométricos. Será habilitada se houver correspondência morfológica e semântica com o padrão da matriz gramatical e, não será habilitada, caso a descrição não corresponda à essa matriz. Posteriormente, é necessário fazer uma correlação entre o significado dos termos da descrição da função com as descrições dos termos técnicos que identificam as *features* sólidas. Caso haja correspondência, seus operadores de geometria podem, então, ser ativados e gerar o correspondente modelo sólido da peça.

## 2. ESTADO DA ARTE DA PESQUISA

Esta pesquisa está baseada numa ampla revisão de trabalhos científicos relevantes que fornecem estudos básicos sobre metodologia, organização de dados e aplicativos desenvolvidos para o projeto de peças. As terminologias referentes aos passos de projetos, usada nesta pesquisa, segue a metodologia de projeto baseada na concepção de Pahl-Beitz (1980).

Alguns pesquisadores mostram detalhes específicos sobre o desenvolvimento do projeto de peças. Alguns destes discutem sobre onde o projeto de peças deve ser executado: enquanto uns entendem que sua definição deve ser na fase de projeto preliminar, outros, como Mortensen (1999), consideram que as peças devem ser totalmente definidas na fase de projeto detalhado. Eles consideram que além de funções, outras características são igualmente necessárias para a peça como forma, dimensões, acabamento superficial e material, para que a especificação funcional possa ser completamente definida.

Uma das primeiras tentativas para organizar estruturas de dados de peças foi apresentada por Johnson (1961), que considera o que o projeto de peças deve levar em conta três principais grupos de parâmetros: (1) *os requisitos funcionais*; (2) *os efeitos indesejáveis*; (3) *a geometria e o material*. A peça satisfaz seus requisitos funcionais se, na montagem da qual faz parte sua estrutura, trabalha adequadamente. Ainda, os atributos da peça, incluem o material e a sua geometria. Algumas geometrias podem ser descritas matematicamente, mas certas definições, como por exemplo o material da peça, é muito difícil de ser formulada por equações matemáticas. Nesse caso, o projetista deverá utilizar de sua experiência prática para definir a descrição do material eficientemente. Por outro lado, alguns tipos de geometria podem ser definidas parametricamente, outras, necessitam de mais informações do que um simples conjunto de parâmetros. A principal abordagem de Johnson (1961) está no controle dos efeitos indesejáveis a partir das necessidades funcionais da peça e, dessa forma, apontar aqueles fatores que são essencialmente dependentes dos requisitos funcionais, da especificação do material para a peça e dos parâmetros geométricos associados. Isso pode ser transformado nas especificações de projeto da peça.

Ullman (1992) desenvolveu um procedimento aplicável à abordagem de engenharia concorrente ou simultânea, usando quatro elementos básicos para definir uma peça. Os elementos básicos definidos por Ullman são a função, a geometria, o material e as técnicas e procedimentos usados no processo de produção, ou na manufatura da peça.

A abordagem do projeto concorrente de Ullmann aponta para o desenvolvimento de um sistema computacional integrado para a definição da peça, levando em conta todas as atividades industriais utilizadas na realização do produto. Qualquer concepção isolada de uma peça precisa ser integrada à definição e refinamento de suas funções e respectivas interfaces no desenvolvimento do projeto do produto. Os relacionamentos dos elementos da abordagem de Ullmann são mostrados na Figura 1.

Ainda, o domínio do projeto mecânico de peças com base no modelamento funcional tem sido perseguido por vários pesquisadores. Feng et al (1996), Lossack et al (1998), Ranta et al (1996), Takeda et al (1996), Shimomura et al (1998), Tomiyama e Umeda (1993), Umeda et al (1996) e

Yoshioka et al (1996) compartilham a idéia de que os sistemas CAD podem ser inteligentes ao ponto de poder considerar modelamento funcional e, suportar os relacionamentos “função-forma” no projeto de produto. Linhares e Dias (2001, 2002, 2003) têm apresentado uma abordagem para definir uma estrutura computacional para modelamento funcional de peças, bem como, têm pesquisado um modelo de organização entre os domínios funcional e geométrico na fase de projeto preliminar.

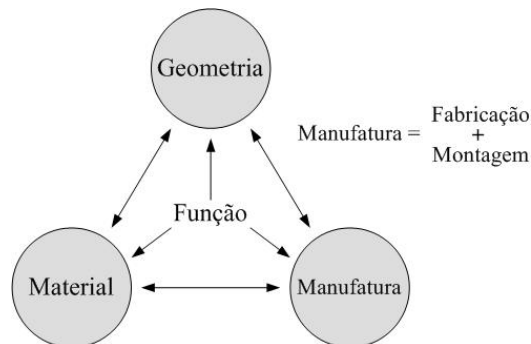


Figura 1. Abordagem do projeto concorrente de Ullman: quatro elementos básicos do projeto concorrente, mais o processo produtivo de manufatura, Ullman (1992).

Kirschman e Fadel (1996) estudaram a classificação das funções para projeto mecânico que incluem tanto funções baseadas em análise da taxonomia das peças como as funções baseadas em formas geométricas. A taxonomia foi classificada como contendo quatro grupos de funções básicas: movimento, controle, transmissão/sustentação e fixação. Uma forma genérica é associada à descrição do componente ou montagem para caracterizar as entradas e saídas de uma forma, mas não é considerado como a entrada é convertida na saída. Uma ferramenta computacional foi desenvolvida, e fornece aos projetistas, opções de descrições nas formas geométricas correspondentes às funções no nível de de montagem, mas não de peças, separadamente.

Existem várias pesquisas envolvendo o contexto do processamento lingüístico aplicado ao projeto de produtos industriais. Prabhu et al (2001), tem usado técnicas de processamento de linguagem natural (*PLN*) no processamento de chamadas textuais e na interpretação de informações relacionadas a funções de peças e *features*. O reconhecimento da informação é representado por meio do paradigma da orientação a objetos (*OO*). Isso torna possível a ligação das atividades pertencentes ao processamento *CAD/CAM* (*Computer-Aided Design - ou projeto auxiliado por computador e Computer-Aided Manufacturing - manufatura auxiliada por computador*) no ciclo de vida do produto.

O processamento lingüístico de informações de peças induz a necessidade de um estudo de processamento da linguagem natural. Fernández & Serrano's (2000) reforçam que qualquer sistema de entendimento de linguagem natural tem como objetivo genérico traduzir a fonte de representação numa representação final que será integrada a outros sistemas com funcionalidades especiais. O desenvolvimento desses sistemas deve considerar aspectos como: Que características o sistema deve organizar? Que tipos de textos ou sentenças o sistema processará? Quais as funcionalidades requeridas? Que sistema de conhecimento executará suas funcionalidades? Todas estas questões devem ser respondidas ao longo do ciclo de vida de um sistema *PLN* (análise, projeto e implementação) e seu estudo.

Carballo & Strzalkowski (2000) apresentam detalhamentos de um sistema de recuperação de informações que consiste de um módulo de *PLN* avançado e de um núcleo estatístico puro. Enquanto muitos problemas permanecem sendo resolvidos, incluindo a questão da representação baseada em termos de documentos escritos, eles tentam demonstrar que sua arquitetura é, apesar de tudo, viável. Em particular, eles têm demonstrado que atualmente, o processamento de linguagem natural pode ser feito corretamente em grande escala e que sua velocidade e robustez tem melhorado, enquanto for aplicado na resolução de problemas de recuperação de informações reais.

Sistemas que incluem tecnologia *PLN* têm conhecimento complexo, interdisciplinar e heterogêneo, com vários níveis de descrições lingüísticas e não-lingüísticas. Além disso a incerteza e a variabilidade do conhecimento deve ser manipulada. Tais características requerem uma conceitualização disponível capaz de interagir com ambos, especialistas em lingüística, em computação e em projeto de sistemas mecânicos.

### 3. ESTRUTURA FUNCIONAL E FÍSICA DA PEÇA

A existência física de uma peça é justificada pelas funções que ela deve realizar no uso do produto. As funções de um componente físico estão interrelacionadas formando uma árvore de funções. A estrutura funcional da peça pode ser relacionada à correspondente estrutura física em termos de representação gráfica e modelamento geométrico. Logicamente, a complexidade funcional está relacionada à complexidade física da peça em si.

Uma estrutura funcional da peça descrita em termos de uma hierarquia de funções é representada por sua função global (FGp), desdobrando-a em funções parciais (FPp) e, finalmente, cada uma função parcial em funções elementares (FEp). As funções elementares formam as folhas da árvore hierárquica. O nível de funções parciais é recursivo, ou seja, pode ser repetido quantas vezes for necessário, antes de agregar o nível de funções elementares da peça.

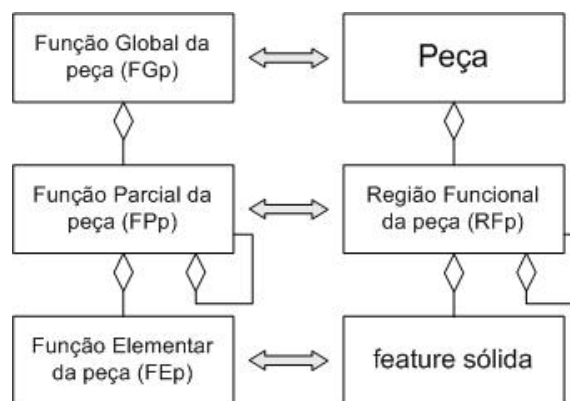


Figura 2. Correlação entre a estrutura funcional e física da peça

A Figura 2 mostra a correlação entre a estrutura funcional e física de uma peça. Os relacionamentos hierárquicos são descritos usando uma notação UML, para descrevê-la. Na Figura 2 mostra-se que as funções parciais da peça (FPp) são realizadas pelas regiões funcionais da peça (RFp), ou seja, as funções parciais de peças estão para as regiões funcionais, ao nível de projeto de peças, da mesma forma que as as funções parciais do produto (FP) na estrutura funcional do produto estão para suas respectivas montagens e submontagens.

A Figura 3 é a representação da descrição da geométrica de uma biela. Sua árvore funcional é descrita na Figura 4. Nela, é apresentada a estrutura de funções definidas literalmente na descrição da biela, em termos das funções parciais e elementares. Na mesma árvore, aponta-se os elementos geométricos, codificados em termos de “*features*” usadas para construí-la num sistema CAD.

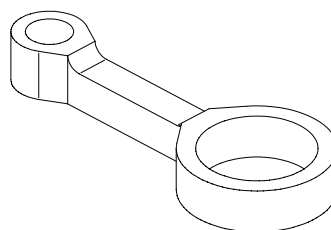


Figura 3. Descrição geométrica de uma biela (gentilmente cedida pela EMBRACO – Empresa Brasileira de Compressores)

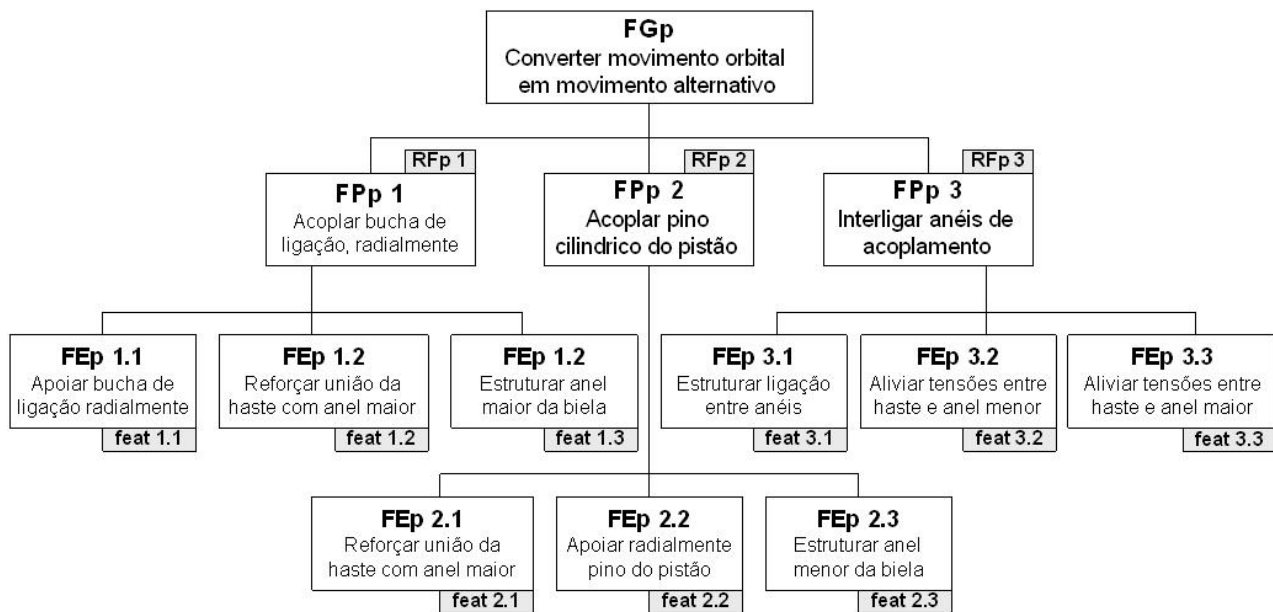


Figura 4 . Estrutura funcional da biela de um compressor alternativo.

Observe a representação hierárquica da estrutura funcional da peça em que alguns verbos, substantivos e adjetivos aparecem nas descrições das funções nos blocos que integram a árvore funcional. A terminologia para descrição funcional baseia-se no significado de projeto ou semântica da função no projeto. A descrição de uma função é uma ação que deverá ser realizada em qualquer nível físico da hierarquia funcional do sistema, entre dois elementos físicos que apresentem continuidade ou contato físico na realização da função.

A ação do verbo no projeto recai sempre sobre um objeto físico, que é um substantivo. Além disso, outras formas gramaticais podem compor a descrição da função, cabendo aqui uma análise mais específica do domínio. A proposta dessa organização é a de se ter uma forma básica dada pela sequência lógica verbo + substantivo + adjetivo. Portanto, o *corpus* lingüístico, ou seja, os termos utilizados para compor a linguagem a ser analisada gramaticalmente, no caso desta pesquisa, é composto pelos verbos, substantivos e adjetivos que caracterizam a semântica funcional e pelos termos técnicos resultantes da pesquisa em campo, em áreas de projeto de empresas do ramo metal-mecânico.

Já os elementos geométricos sólidos de biela, aqui denominados *features* sólidas, possuem alguns atributos, por exemplo, o nome que as identifica no sistema CAD, usualmente denominados de Termos Técnicos de Projeto Mecânico. Cada *feature* sólida possui três definições: a conceitual, a geométrica e a de nomenclatura. Existem várias formas de descrever uma biela através de *features*, uma delas é mostrado na Figura 5.

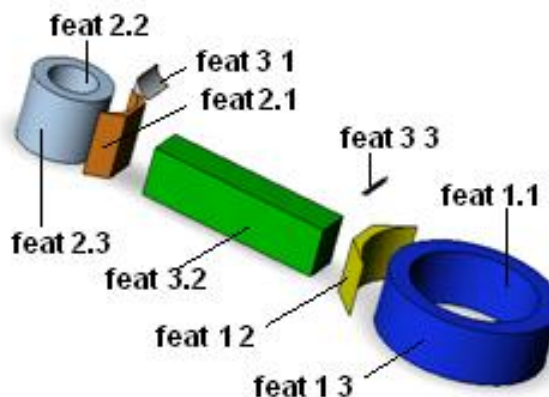


Figura 5. Vista explodida das *features* geométricas sólidas do modelo geométrico 3D da biela.

Os atributos geométricos das peças e suas regiões funcionais têm um conjunto viável de terminologias para descrever as *features* sólidas usadas no sistema CAD. Assim, a transição da definição funcional para o encorpamento geométrico é um processo que requer o mapeamento entre as descrições funcionais e suas correspondentes geometrias. A questão é: qual o conjunto de definições da terminologia básica é capaz de suportar o mapeamento funcional (semântica, sintaxe e morfologia) para o contexto de aplicações do projeto mecânico? E ainda: como se poderia associar a tal conjunto de terminologia funcional às *features* sólidas para a identificação das regiões funcionais que descrevem a peça?

#### 4. TERMINOLOGIAS PARA O PROCESSAMENTO COMPUTACIONAL

A completa organização das informações funcionais e geométricas e sua nomenclatura compatível no domínio de projeto mecânico pode ajudar a responder às questões colocadas anteriormente. Para isso será preciso buscar tais termos e/ou estruturas de nomes associadas a todas as funções do produto, incluindo montagens, submontagens, peças, regiões funcionais e *features* sólidas que podem realizar tal mapeamento. A identificação dos termos e da terminologia inclui a definição de cada entidade geométrica e de suas respectivas características ou atributos.

##### 4.1. Terminologia da Descrição Funcional

O processamento computacional da descrição da função no projeto mecânico deve passar por uma análise de significado técnico com base num padrão lingüístico na qual uma linguagem é construída. Os padrões ou regras gramaticais previamente estabelecidos são declarados num sistema de análise gramatical. A lingüística computacional adota o nome de *Parser* aos analisadores gramaticais. Eles comparam uma descrição dada aos padrões da linguagem e apresentam a correspondente saída dentro dos padrões da linguagem a eles “ensinada”. A gramática do *Parser* é um conjunto de regras estabelecidas pelos requisitos de significado da linguagem.

A correlação função-forma pelo processamento lingüístico com base em Terminologia Técnica implica na organização das linguagens utilizadas nos dois domínios estudados. De um lado, há necessidade de organizar as descrições das funções que compõem a árvore funcional da peça, segundo a classificação: função global da peça (FGp), função parcial da peça (FPp) e função elementar da peça (FEp). Do outro, organizar as descrições dos termos que compõem a árvore de *features* que geram a geometria sólida.

Uma implementação para achar a correlação função-forma pode ser feita em qualquer linguagem computacional que suporte o trabalho de *tokenização*, que é a separação dos termos da descrição da função. Os componentes morfológicos da função são separados em *tokens* e guardados num arquivo vetorizado que alinha a seqüência de todas as descrições, já *tokenizadas*. Esse arquivo é recebido pelas classes “construtoras” do *Parser* (Metsker, 2001), que interagem com as classes que “montam” o resultado esperado, através de classes *Assemblers* e *Assemblies*, respectivamente. A saída produzida pelo *Parser*, é a descrição dada pelo projetista, desta feita, na forma de uma matriz morfológica da descrição da funcional da peça, onde a árvore de funções global (FGp), parcial (FPp) ou elementar (FEp), é caracterizada por verbos, substantivos e adjetivos que descreverão a árvore funcional da peça.

Com isso é possível observar os mecanismos de propagação da herança entre os componentes morfológicos principais da descrição das funções nas árvores que representam as estruturas funcionais das peças. Dos componentes morfológicos, verbos, substantivos e adjetivos, utilizados no âmbito das áreas de projeto mecânico, foram selecionados 185 verbos, 55 substantivos e 35 adjetivos. Essa morfologia é identificada e processada no *Parser* sendo a base das correlações na composição da função resultante.

A mesma metodologia pode ser agora aplicada a árvore descritora da peça em termos das entidades e operadores geométricos baseadas em *features*. Aqui, é necessário fazer uma correlação entre as correspondentes árvores de *features* sólidas e os termos técnicos de projeto mecânico, como mostra a Tabela 1.

## 4.2. Terminologia Técnica de Projeto Mecânico

A terminologia técnica de projeto mecânico foi criada com base na pesquisa de campo realizada em pequenas e médias empresas do ramo metal-mecânico, na região do meio-oeste catarinense. Inicialmente, foram identificados 758 termos com diferentes significados técnicos. Numa análise mais detalhada foi verificado que diferentes descrições apresentavam significados de projeto similares, o que reduziu bastante o leque de termos técnicos. Assim, após uma análise estatística foram selecionados 28 termos técnicos que identificarão, posteriormente, as *features* sólidas no sistema CAD, podendo da origem a qualquer modelo geométrico, com exceção dos modelos geométricos gerados a partir de superfícies (*Bezier*, *B-splines*, etc.).

Tabela 1. Termos técnicos para projeto mecânico em sistemas CAD

Nº	Termos Técnicos	perfil	Nº	Termos Técnicos	perfil
01	furo passante cilíndrico		15	rebaixo cônico	
02	furo cego cilíndrico		16	ressalto rotacional radial	X
03	furo não cilíndrico	X	17	ressalto rotacional axial	X
04	chanfro rotacional interno		18	ressalto prismático	X
05	chanfro rotacional externo		19	ressalto cônico	
06	chanfro prismático interno		20	ranhura prismática	X
07	chanfro prismático externo		21	ranhura helicoidal	X
08	arredondamento rotacional interno		22	rasgo prismático	X
09	arredondamento rotacional externo		23	rasgo helicoidal	X
10	arredondamento prismático interno		24	corpo cilíndrico	
11	arredondamento prismático externo		25	corpo prismático	
12	rebaixo rotacional radial	X	26	corpo cônico	
13	rebaixo rotacional axial	X	27	rosca	X
14	rebaixo prismático	X	28	dente	X

Na Tabela 1, a coluna intitulada “perfil” indica os termos técnicos, cujas às *features* sólidas necessitam de uma geometria básica 2D (perfil ou *sketch*) para gerar a forma geométrica da peça. O perfil pode assumir diferentes formas, abertas ou fechadas. O que amplia a possibilidade de criação de diferentes formas de seções transversais, antes da aplicação do operador final na geração da *feature* sólida.

## 4.3. Definições dos Termos Técnicos

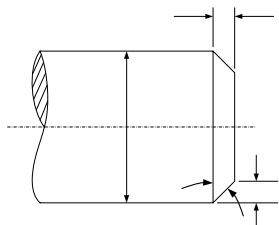
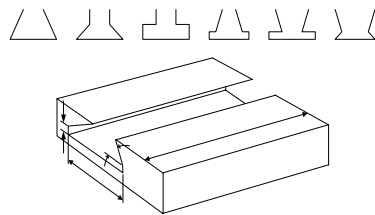
As definições para cada termo técnico podem ser classificadas em três tipos: conceitual, geométrica e de nomenclatura. A definição conceitual serve para responder a pergunta: qual o significado de projeto da *feature* sólida? Essa definição caracteriza o significado, a semântica e a sinonímia do termo técnico. Uma outra questão posta é sobre que parâmetros de geometria são necessários para caracterizar o termo técnico? A geometria correspondente ao termo técnico precisa ser parametrizada, apresentando variáveis dependentes e independentes, de forma ter um controle completo do modelo geométrico. Por último, a definição de nomenclatura atribui ao termo técnico, o respectivo significado de projeto na Língua de interesse, em que o projeto está sendo concebido ou usado. Resumindo, as características inerentes a cada definição são:

- (a) Definição Conceitual: semântica (ou significado), sinonímia;
- (b) Definição Geométrica: parâmetros associados, representação gráfica, variáveis de projeto, etc;
- (c) Definição de Nomenclatura: significado de projeto em Inglês, Espanhol, Alemão, etc.

Na definição conceitual, procura-se uma descrição neutra que possa estabelecer uma identificação livre de contexto no domínio da engenharia mecânica. No entanto, a semântica ou significado de projeto do termo, aliado aos sinônimos coloquiais, poderão ser entendidos pelo mesmo conceito. De qualquer forma, é mantida a definição conceitual do termo sobre o aspecto de engenharia com ênfase no projeto mecânico.

Já a definição geométrica busca identificar ao máximo qual deve ser a parametrização da geometria que caracteriza o termo técnico. Como mostrado na Tabela 1 muitos dos termos técnicos tem definições geométricas que não permitem a completa parametrização do sólido, em função da diversidade das geometrias auxiliares para a geração do detalhe da peça. Finalmente, a definição de nomenclatura serve para estabelecer o âmbito dos significados técnicos de projeto em outras Línguas e, nesse caso, selecionar os termos técnicos que melhor identificam a terminologia a ser usada, quando traduzido para o Português (Brasil). A Tabela 2 mostra dois exemplos de termos técnicos com suas respectivas definições. Os exemplos escolhidos são os de números 05 e 20 da Tabela 1, chanfro rotacional externo e ranhura prismática, respectivamente.

Tabela 2. Exemplos de definições conceituais, geométricas e de nomenclatura.

Nº	Termo Técnico	Definição Conceitual	Definição Geométrica	Definição de Nomenclatura
05	chanfro rotacional externo	remoção de material em uma aresta curva fechada, segundo um ângulo $\alpha$ e dois afastamentos $x$ e $y$ tomados num plano 2D.		<i>extern rotational chamfer</i>
20	ranhura prismática	remoção vazada de material numa superfície plana externa ou interna à peça, segundo um perfil aberto simétrico ou assimétrico		<i>prismatic groove</i>

## 5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

No sistema CAD, cada detalhe geométrico numa peça, produzido por meio de uma *feature* ou um *sketch*, tem pelo menos um termo técnico padrão que o identifica. Um *sketch* ou perfil tem igualmente um único termo que o identifica entre outros, durante o modelamento geométrico da peça. Com essa visão, é possível também identificar um conjunto de terminologias com sua respectiva linguagem característica no processo de projeto de peça, dentro de um domínio de aplicação do sistema CAD. Por exemplo, grande parte das ferramentas usadas pelos projetistas no sistema CAD quando da adição ou remoção de “material” são identificadas por detalhes geométricos denominados de ranhura, cavidade, furo, chanfro, arredondamento, etc. Estes termos são identificados pelos projetistas com uma sintaxe característica e seu respectivo significado.

Assim sendo, pode-se dizer que uma peça poderia ser descrita geometricamente, baseada na identificação do significado da terminologia usada em cada detalhe, *sketch*, *feature* ou funcionalmente, baseada no significado da região funcional que tal detalhe geométrico representa. Assim, a descrição de uma peça envolve algumas correlações entre funções e suas geometrias, cuja essência pode ser semanticamente estudada. Identificar uma terminologia é procurar por parâmetros geométricos e semânticos importantes de cada elementos da peça (detalhes, *sketches*, *features*, regiões funcionais). Isso pode ser feito pela busca de compatibilidades geométricas geralmente usadas pelos projetistas mecânicos. É necessário selecionar aquelas geometrias e termos que na prática são realmente as funções intencionadas pelos projetistas quando ele/ela se guia pela representação hierárquica da estrutura funcional da peça.

Dessa forma, a pesquisa sobre terminologia técnica de projeto mecânico inclui a classificação de um conjunto de termos mais utilizados para gerar entidades geométricas. No sistema CAD significa identificar os operadores usados para descrever peças e regiões funcionais no domínio de aplicação. Pode-se neste caso, organizar estas informações através de tabelas relacionais em bancos de dados



correlacionando as estruturas funcionais e geométricas. A correlação destas informações exige um processamento entre o nível semântico das descrições da função e o nível geométrico do sistema CAD.

A partir daqui, o desenvolvimento de um processador para o gerenciamento do fluxo de informações entre a interface de entrada do usuário (projetista) e o *kernel* do sistema CAD, é necessário. Isso tem sido pensado ser feito por um sistema especialista (SE) ou outro sistema de inteligência artificial disponível durante o desenvolvimento da proposta, mas ainda não implementado até a concepção deste artigo.

Atualmente, sistemas CAD comerciais têm sua concepção de definição de detalhamento de peças baseada somente em *features* no ambiente de projeto e de modelamento geométrico. Não se leva em conta informações de uma análise funcional que tenha sido feita durante a concepção de uma peça/produto. Ou seja, muito do processo de modelamento de regiões funcionais de peças:

- (1) Depende essencialmente da experiência de desenhista;
- (2) Não incorpora o processo de representação de conhecimento;
- (3) Não apresenta mecanismos para usar certos tipos de conhecimento;
- (4) Sua indexação, atualização e extensão são mais difíceis;
- (5) Não apresenta um mecanismo para interpretar seus resultados.

Obviamente, a correlação entre função e forma geométrica (*features* sólidas, regiões funcionais e peça) não é unívoca. Ao contrário, é óbvio e, extremamente interessante que seja uma correlação de *m:n*, dada a grande diversidade de formas geométricas capazes de realizar uma dada função e de funções que podem ser realizadas por uma forma geométrica específica. O que busca-se aqui, é estabelecer um paradigma fundamentado na hipótese de que há uma herança genética vertical nas descrições funcionais e geométricas que se propaga horizontalmente nas correlações *m:n* entre esses dois domínios.

Esta pesquisa é baseada no estudo de caso do sistema mecânico que integra o compressor EGS80HLP de fabricação da Empresa Brasileira de Compressores – EMBRACO, que gentilmente cedeu as unidades para estudo em laboratório. A descrição das estruturas funcionais das peças que compõem o sistema mecânico central do compressor foi feita com base na linguagem natural de projeto e analisada por especialistas da área de projeto de sistemas mecânicos.

## 7. REFERÊNCIAS

- Carballo, J. P.-. and Strzalkowski, T., 2000, “Natural language information retrieval: progress report, Information Processing and Management”, Vol. 36, pp. 155-178.
- Feng, C.-X., Huang, C.-C., Kusiak, A. and Li, P.-G., 1996, “Representation of functions and features in detail design”, Computer-Aided Design, Vol. 28, N. 12, pp. 961-971.
- Fernández, P. M. and Serrano, A. M. G.-., 2000, “The role of knowledge-based technology in language applications development”, Expert Systems with Applications, Vol. 19, pp. 31-44.
- Johnson, R. C., 1961, “Optimum Design of Mechanical Elements”, Cap. 7, John Wiley & Sons, Inc. Introduction to Optimum Design for Mechanical Elements.
- Kirschman, C.F., Fadel, G.M. and Jara-Almonte, C.C., 1996, “Classifying functions for mechanical design”, Proceedings of the 1996 ASME Design Engineering Technical Conference and Computers in Engineering Conference, August 18-22, Irvine, California, USA.
- Linhares, J.C. and Dias, A., 2002, “A linguistic approach using natural language processing for mechanical part design” Proceedings of the Flexible Automation & Intelligent Manufacturing – FAIM’02, Dresden, German.
- Linhares, J.C. and Dias, A., 2003, “Part Design: Functional and Geometric Modeling Domain Relationship”, Proceedings of the Flexible Automation & Intelligent Manufacturing – FAIM’03, Tampa, Florida, USA, pp. 519-529.
- Lossack, R.-S., Yoshioka, M., Umeda, Y. and Tomiyama, T., 1998, “Requirement, Function and Physical Principle Modeling as the Basis for a Model of Synthesis”, Computer-Aided Conceptual Design, Proceedings of the 1998 Lancaster International Workshop on Engineering Design, Lancaster University, Lancaster, UK, pp. 165-179.

- Metsker, S.J., 2001, "Building Parser With Java", Addison Wesley, New York.
- Mortensen, N.H., 1999, "Function Concepts for Machine Parts – Contribution a Part Design Theory", Annals of the ICED, Vol 2, pp. 841-846.
- Pahl, G. and Beitz, W., 1988, "Engineering Design – A systematic approach", Springer-Verlag, New York.
- Prabhu, B. S, Biswas, S. and Pande, S. S., 2001, "Intelligent system for extraction of product data from CADD models", Computers in Industry, Vol. 44, pp. 79-95.
- Ranta, M., Mäntylä, M., Umeda, Y. and Tomiyama, T., 1996, "Integration of Functional and Feature-Based Product Modelling - The IMS/GNOSIS Experience", Computer-Aided Design, Vol. 28, No. 5, pp. 371-381.
- Shimomura, Y., Yoshioka, M., Takeda, H., Umeda, Y. and Tomiyama, T., 1998, – "Representation of Design Object Based on the Functional Evolution Process Model", Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design, Vol. 120, No. 2, pp. 221-229.
- Tomiyama, T. and Umeda, Y., 1993, "A CAD for functional design", In Annals of the International CIRP Design Seminar'93, pp. 143-146.
- Ullman, D. G., 1992, "The Mechanical Design Process", McGraw-Hill, Inc., New York.
- Umeda, Y., Ishii, M., Yoshioka, M., Shimomura, Y. and Tomiyama, T., 1996, "Supporting Conceptual Design based on the Function-Behavior-State Modeler", Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, Vol. 10, No. 4, pp. 275-288.
- Yoshioka, M., Oosaki M. and Tomiyama, T., 1996, "An Application of Quality Function Deployment to Functional Modeling in a Knowledge Intensive Design Environment", Knowledge Intensive CAD, Vol. 1, Chapman & Hall, London, pp. 300-314.

## RELATIONSHIP BETWEEN FUNCTIONAL AND GEOMETRIC MODELING DOMAIN ON PRELIMINARY PART DESIGN

**João Carlos Linhares**

Federal University of Santa Catarina (UFSC) - Mechanical Engineering Dept., Lab. of CAD/CAM and Mechanical Systems Design - Building A, 1o Floor, Room 13 - Technological Center (CTC)  
CP: 476 - ZIP: 88040-900 - Trindade - Florianópolis - SC - Brazil - E-mail: [linhares@grante.ufsc.br](mailto:linhares@grante.ufsc.br)

**Altamir Dias**

Federal University of Santa Catarina (UFSC) - Mechanical Engineering Dept., Lab. of CAD/CAM and Mechanical Systems Design - Building A, 1o Floor, Room 15 - Technological Center (CTC)  
CP: 476 - ZIP: 88040-900 - Trindade - Florianópolis - SC - Brazil - E-mail: [altamir@emc.ufsc.br](mailto:altamir@emc.ufsc.br)

**Abstract.** *The operations logical sequence description in the solid model generation can be made with base in the functions description that a part should accomplish in a product. Also, a correlation between these two domains can be made by linguistic processing of the involved descriptive languages where the functional relationships can be defined from language semantic contexts used in the each function description and the elaboration of the linguistic representation, it implicates in two terminologies definition: a first one, gone back to functions description, and, second, gone back to mechanical project terms conceptual and geometric definitions used by the mechanical designer in geometric solutions searching for the requested functions accomplishment. Thus, it is possible to map the functional descriptions terminology genetic inheritance (morphology, semantics, syntactic) and its correlation with the design technical terminology described as semantics associated to the 2D and 3D geometric operators in the CAD system. This paper describes the knowledge base development to subsequent direction of the proposal model computational implementation where the function described by designer is parsing by Parser that recognizes the functions language enabling it to the correlation with the language used by the CAD system in the solid geometry creation.*

**Keywords.** *Part design, Part function description, Function-form correlations.*