

CONCEITOS E MODELOS DE REPRESENTAÇÃO DE PROJETO APLICADOS À RELAÇÃO FUNÇÃO-FORMA

João Carlos Linhares

Universidade do Oeste de Santa Catarina – UNOESC – Centro Tecnológico I, Laboratório de CAD e CAE, Bloco I, Rua José Firmo Bernardi, 1591, Joaçaba, SC, joao.linhares@unoesc.edu.br

Altamir Dias

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – Depto. de Engenharia Mecânica – Bloco A – Centro Tecnológico – Campus Universitário, Trindade, Florianópolis, SC, altamir@emc.ufsc.br

Resumo. *A fase de projeto preliminar de produto é o espaço de projeto das tarefas que têm relação com a definição física das partes do produto. Nela, o(a) projetista trabalha com a especificação de projeto do produto sob a ótica das soluções preliminares a serem posteriormente detalhadas para o processo de manufatura. A definição das formas geométricas sólidas das peças que compõem o produto pode ser feita a partir das respectivas descrições de suas funções. As funções necessárias às peças são descritas em diferentes níveis de abstração, hierarquicamente dispostos, num modelo estático, representado por diagramas de blocos em árvores, desde sua função global às funções mais elementares no nível de detalhe geométrico ou features geométricas sólidas. Esse processo de projeto prevê que a definição de formas geométricas pelo(a) projetista seja guiada pelo conhecimento técnico no domínio de aplicação. Dessa maneira, suas intenções de projeto são traduzidas em formas físicas estimuladas pelas necessidades funcionais de cada peça. Para processar as correlações das descrições das funções das peças e suas correspondentes geometrias sólidas foi necessário organizar uma plataforma composta por conceitos e representações em que as estruturas hierárquicas das descrições funcionais e de regiões físicas são representadas em árvores sob a ótica do paradigma da orientação a objetos. Este artigo contextualiza os conceitos e modelos propostos voltados à representação dos relacionamentos físicos e funcionais, principalmente aqueles aplicados na implementação computacional. O objetivo é organizar a plataforma conceitual para a realização das correlações descritivas e descrever as bases da implementação computacional a partir de um modelo macro, para sua implementação.*

Palavras-chave: *Árvores funcionais; modelos de representação funcional e física.*

1. INTRODUÇÃO

Uma forma de estabelecer a geometria de produto e peças é utilizar uma estrutura de funções que relacione as funcionalidades e espaços que se deseja do mesmo. Essa descrição funcional são feitas usando diferentes níveis de abstração, hierarquicamente dispostos, geralmente em estrutura de grafos. Isso facilita a obtenção e organização das formas e espaços que vão compor o produto, incluindo o estabelecimento de relacionamentos necessários a concretizações das estruturas funcionais. As funções do produto vêm sendo estudadas ao longo dos últimos anos por Pahl & Beitz (1996, 2005), Rodenacker (1984), Ogliari (1999), Tomiyama & Umeda (1993), Takeda (1994), Shimomura (1995), Linhares e Dias (2003), entre outros. Estruturas funcionais podem ser interligadas tanto como árvores

como em modelos de rede. Dependendo da complexidade funcional inerente ao uso do produto, o modelo de representação das funções em rede retrata mais concretamente o comportamento do produto e de suas partes. No modelo de representação em rede as funções também obedecem a uma hierarquia em si, estabelecida pela relação expressa entre as funções do produto. Ela depende muito do modelo de relacionamento definido na rede que estabelece o relacionamento funcional do produto. Por outro lado, a representação da estrutura funcional também pode ser dada na forma de um grafo acíclico direto (de árvore), onde as interligações entre as funções são, agora, estáticas e que a dependência entre elas é hierárquica e direta. Esse tipo de modelagem funcional permite ao projetista a imaginar que uma função global pode ser desdobrada por duas ou mais funções parciais descritas num nível abaixo da função global. E que estas, por sua vez, podem ser realizadas por duas ou mais funções elementares. Estruturas funcionais são resultados do desdobramento de funções globais do produto, ou componente ou de peças em funções parciais, até que as funções elementares sejam achadas, dentro de um determinado nível de abstração física e material incapaz de ser desdobrar funcionalmente a função parcial a ela ligada. Assim, o nível mais abstrato ou básico de uma função elementar é aquele cuja correlação geométrica pode ser atribuída às *features* geométricas de projeto. Entende-se, aqui, que *features* geométricas de projeto são as entidades mais básicas da geometria do ponto de vista funcional, ou seja, uma entidade física que realiza a função mais elementar associada ao comportamento em uso de alguma parte da peça.

Dentro do contexto de processo de projeto, este artigo mostra uma seqüência de conceitos e estruturas de representação de dados na transição projeto conceitual/preliminar para melhor documentar o encorpamento geométrico de peças, componentes e produtos. É contextualizado os modelos propostos e aplicados à implementação computacional que permitirá a realização dos relacionamentos entre as descrições das funções e as descrições de *features* geométricas das estruturas funcionais desdobradas em produto, montagens/submontagens e peças. Da mesma, forma é discutido a necessidade de um trabalho lingüístico que pode ser derivado do conhecimento obtido junto ao projetistas, mas visando uma padronização terminológica a ser usado pelos mesmos durante a geração dos espaços geométricos que compõem o modelo geométrico de peças e produtos. Por isso, a importância de abordar a estrutura frasal da descrição semântica aplicada ao projeto de peças e as descrições terminológicas envolvidas na implementação.

2. MODELOS FUNCIONAIS

Os modelos de representação usados para trabalhar com as estruturas descritivas e correspondentes estruturas físicas no nível de produto, montagens e peças são apresentados a seguir. Eles tratam do relacionamento descritivo entre estruturas funcionais e formas geométricas. Portanto, a relação função-forma, segundo o modelo de transformação entre os dois espaços relacionados, está baseada em duas principais abordagens: uma representação descritiva funcional e uma representação apenas descritiva. São apresentados, inicialmente, os modelos de representação física e, em seguida, o relacionado à representação frasal correspondente.

2.1. Modelo de estruturação funcional dos objetos peça, submontagem/montagem e produto

As Figuras 1(a), 1(b) e 1(c) mostram o modelo de representação das estruturas funcional dos níveis físicos de peça, montagem/submontagem e produto. A descrição funcional deve ser dada em três níveis de funções: função global, que é uma descrição de uma ação global a ser realizada pelo objeto, função parcial, descrição das ações parciais que, em conjunto, realizam a ação global do objeto e, função elementar, que são ações elementares das partes do objeto.

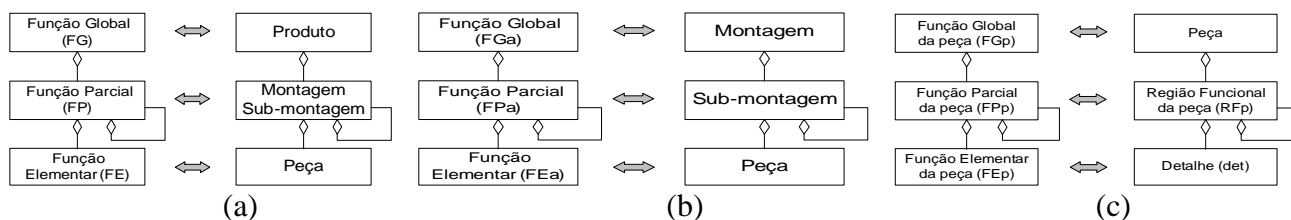


Figura 1. Representação simplificada das estruturas funcional e física de produto.

2.1. Modelo de estruturação funcional dos objetos peça, submontagem/montagem e produto

As Figuras 1(a), 1(b) e 1(c) mostram o modelo de representação das estruturas funcional dos níveis físicos de peça, montagem/submontagem e produto. A descrição funcional deve ser dada em três níveis de funções: função global, que é uma descrição de uma ação global a ser realizada pelo objeto, função parcial, descrição das ações parciais que, em conjunto, realizam a ação global do objeto e, função elementar, que são ações elementares das partes do objeto. Aos três níveis funcionais correspondem três níveis físicos, respectivamente, o nível de produto, que representa o volume de controle do produto, o de montagens/submontagens, que representam os conjuntos e sub-conjuntos, dos quais o produto é composto e o de peças, que representa as células do produto.

2.2. Modelo de descrição frasal de peças

Os modelos abordados anteriormente formam cadeias hierárquicas, tanto do ponto de vista da representação funcional como no da representação física. Essas hierarquias podem ser representadas semanticamente nas descrições feitas pelos projetistas que propagam as heranças dos significados de projeto, segundo suas intenções de projeto. Um exemplo de descrição funcional é mostrado na Figura 2, que representa a estrutura funcional de uma peça denominada “biela” integrante da montagem física do sistema mecânico de um compressor alternativo de refrigeração.

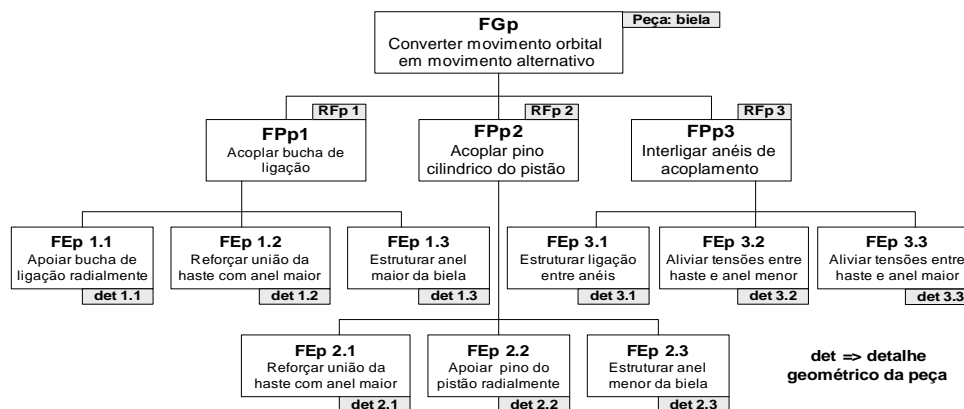


Figura 2. Estrutura funcional da biela do compressor alternativo.

Neste trabalho, os passos do estudo se darão na direção das descrições das peças. São informações alinhadas às intenções de projeto, trabalhadas nas fases de projeto informacional e projeto conceitual do produto segundo o modelo sistemático de Pahl & Beitz (1996). Na Figura 2, observa-se nos blocos que correspondem às descrições desta estrutura funcional, a utilização de verbos, substantivos e complementos gramaticais que dão um sentido e qualificam a intenção passada pelo projetista na definição das funções, por meio de frases. Cada descrição frasal caracteriza significativamente as necessidades funcionais relacionadas às diversas regiões funcionais da peça, identificadas simbolicamente acima de cada bloco no nível de funções parciais. Os nós que representam os dois últimos níveis hierárquicos de descrição funcional na Figura 2 são mostrados como regiões funcionais

(RFp) e correspondentes detalhes (det) nas Figuras 3(a) e 3(b), respectivamente, onde “det” significa o detalhamento geométrico no encorpamento das descrições funcionais.

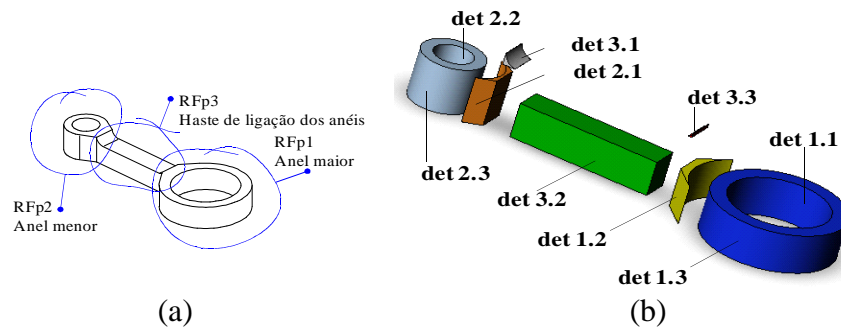


Figura 3 – (a) Visualização das regiões funcionais do modelo geométrico 3D de acordo com a estrutura funcional mostrada na Figura 2; (b) vista explodida dos “detalhes” do modelo geométrico 3D da biela.

A terminologia da descrição funcional deve traduzir o significado de projeto, ou seja, a semântica da expressão frasal que caracteriza a descrição da função. A descrição da estrutura funcional da peça prescreve ações simultâneas a serem realizadas no uso do produto. No nível das funções parciais e das funções elementares da peça, há uma continuidade de ações no corpo da peça. Essas ações, aqui descritas por verbos, implicam a realização das funções das peças no produto. O verbo exprime mais incisivamente a ação desejada pelo projetista. Assim, a ação expressa pelos verbos nas estruturas descritivas de funções de peça, recai sempre sobre um objeto que é um substantivo, concreto ou abstrato. Na qualificação da ação realizada pelo verbo ou do próprio substantivo, outras formas gramaticais podem ser utilizadas. Essa especialização da descrição funcional é necessária, muitas vezes, para que a intenção de projeto seja especificada mais detalhadamente no sentido de exprimir qualidade às idéias e intenções pela frase que corresponde à descrição da função.

Na Figura 2, a função elementar FEp 1.1, “apoiar bucha de ligação radialmente” é uma estrutura frasal composta pelo verbo “apoiar”, pelo substantivo seguido de uma locução adjetiva “bucha de ligação” e pelo advérbio “radialmente”. O advérbio “radialmente” é um advérbio de modo que exprime de que maneira o projetista intenciona apoiar a bucha de ligação na peça com a qual o anel maior da biela deverá compartilhar a função.

Ao enxergar as técnicas de modelagem atualmente utilizadas, foi observado que apesar dos projetistas buscarem formas diferenciadas de modelagem de sólidos as respostas em termos de geometrias são similares. A seqüência de modelagem sólida pode ser descrita em árvores. Apesar dos sistemas de modelagem sólida não hierarquizarem adequadamente a forma de modelar, a descrição da estrutura funcional da peça torna possível re-escrever o modelo geométrico ou a seqüência de aplicação das *features* geométricas sólidas modeladas, por meio de uma árvore. Não pelo fato de que as correlações devam ser sempre *n:n*, mas porque uma definição correta da função segundo intenções de projeto bem especificadas, permite que a criação da geometria sólida seja baseada nos significados da linguagem na qual é descrita e por conta disso leve a uma geometria mais adequada, quando avaliada segundo requisitos de projeto específicos para a peça que estiver sendo modelada. Um operador que mapeie estes dois domínios deverá prever para uma descrição funcional as possíveis geometrias a ela relacionadas tendo um modelo padrão de definição prescrito. Este operador é chamado *zéta* (ζ)

3. ESTRUTURAS DESCRITIVAS PARA PROCESSAMENTO COMPUTACIONAL

A correlação função-forma geométrica, nesta pesquisa, é auxiliada pelo processamento lingüístico das descrições sem o uso de um *parser*, mas baseada numa terminologia técnica moldada aos

propósitos do trabalho. A organização dos dados para compor essa linguagem está pautada, de um lado, na necessidade de organizar as descrições das funções que compõem a árvore funcional da peça, do outro, na necessidade de padrão técnico para projeto mecânico, atualmente inexistente. Para a primeira, adota-se a classificação hierárquica encabeçada pela função global da peça (FGp), pelas funções parciais da peça (FPp) e pelas funções elementares da peça (Fep) e, para a segunda, as descrições dos termos que compõem a árvore de *features* sólidas geradoras das geometrias sólidas.

3.1. Modelo lingüístico ou das descrições

A proposta da organização da estrutura descritiva frasal prevê que uma seqüência lógica de componentes gramaticais, contendo significado de projeto, possa ser descrita sobre um padrão de composição gramatical. O modelo das descrições de funções, de regiões físicas e das seqüências de *features* sólidas geradas, denominado modelo lingüístico, pressupõe que as estruturas descritivas sejam definidas com base em padrões de composição.

A descrição das funções da peça é feita com base nos requisitos de projeto ligados à montagem na qual está associada, à luz das intenções do projetista. Atualmente, um grande número de peças é especificado comercialmente. No entanto, as peças a serem projetadas, e em seguida, manufaturadas continua sendo uma tarefa preocupante para os(as) projetistas mecânicos. Uma forma de organizar essas informações é descrever as estruturas funcionais requeridas às peças tendo como ponto de partida a função global da peça. A Figura 4 mostra a representação do padrão de composição para as descrições das funções.

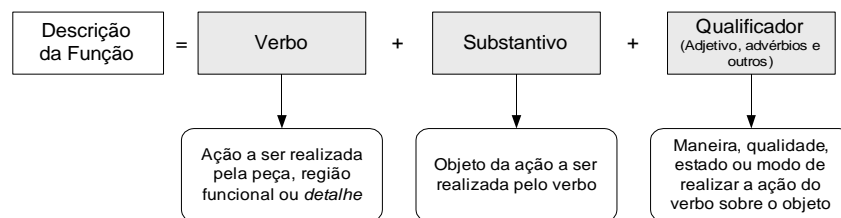


Figura 4. Representação da estrutura básica para composição da descrição de uma função de peça.

A descrição da região física é simplificada em relação à sua descrição funcional. Ela precisa somente de uma descrição através de substantivos e qualificadores. O modelo de regiões físicas subdivide a peça em três níveis: o nível de “peça”, propriamente dito, o nível (ou níveis) de “região funcional” da peça e o nível de “detalhe” da peça, que compõem a região funcional. A árvore de regiões físicas apresenta as descrições adotadas para os componentes geométricos sólidos a serem modelados posteriormente no sistema CAD em 3D por *features* geométricas sólidas. Aqui, a ênfase está no objeto sobre o qual a ação deve ser realizada. Na Figura 2, a função elementar “apoiar pino do pistão radialmente” é realizada pelo detalhe **det 2.2**, cuja descrição é “furo passante cilíndrico” e, cujo significado de projeto no estudo de caso está relacionado com o apoio necessário ao pino que faz a interligação entre a biela e o pistão alternativo do sistema mecânico do compressor. A frase “furo passante cilíndrico”, é construída segundo o padrão de composição dada por um substantivo e um qualificador, representado na Figura 5.

O modelo lingüístico ou de descrições é complementado pela descrição das operações de criação de geometria 3D no sistema CAD, aqui denominadas *features* geométricas sólidas. As *features* geométricas sólidas utilizadas na criação das geometrias de cada peça são descritas com base nos termos técnicos propostos na definição-padrão de geometrias sólidas. A descrição das seqüências de operadores de modelagem sólida pode ser feita com base no mesmo padrão de composição usado para a descrição de regiões físicas. Para fazer essa descrição, é necessário o uso de uma terminologia consistente para relacionar o campo das *features* geométricas sólidas.

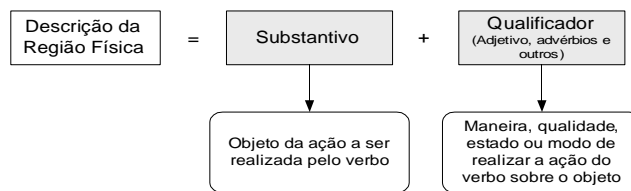


Figura 5. Representação da estrutura para composição da descrição de uma região física de peça.

A Figura 6 mostra a representação desse padrão de composição descritiva. A *feature* geométrica sólida é caracterizada por operadores de modelagem sólida definidos posteriormente e propostos como solução terminológica para esses elementos. Neste caso, as descrições são feitas com base na pesquisa sobre terminologia técnica para projeto mecânico publicada por Linhares e Dias (2003).

Os verbos de projeto, utilizados nas descrições funcionais de detalhes da peça, de regiões físicas ou pela peça globalmente, são definidos no dicionário de verbos. A Tabela 1 mostra alguns exemplos de verbos de projeto utilizados nas descrições das ações necessárias à realização de funções.

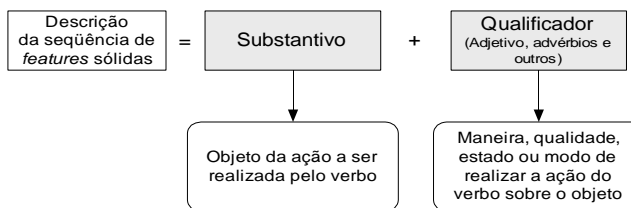


Figura 6. Representação da estrutura para composição da descrição de uma região física de peça.

Tabela 1. Lista de verbos de projeto.

absorver	acelerar	acionar	acoplar	aderir	adicionar
admitir	ajustar	alimentar	alinhar	alojar	amortecer
ampliar	balancear	bombear	captar	carregar	centrar
cisalhar	classificar	comprimir	conduzir	conectar	controlar
remover	resfriar	retardar	reter	retificar	retirar

Os substantivos de projeto que compõem a matriz de descrição funcional são definidos, também, no âmbito do projeto de sistemas mecânicos. É sempre importante identificar um conjunto de substantivos para o estudo das descrições que possa representar, ao menos preliminarmente, os valores deste componente semântico capazes de serem combinados com os verbos apresentados anteriormente.

A Tabela 2 mostra alguns exemplos de substantivos de projeto, utilizados nas descrições das regiões físicas e *features* sólidas necessárias à realização de funções. Os qualificadores podem ser formados por um ou mais adjetivos, por advérbios e por outras classes de palavras da gramática, dando sentido à qualificação ou especialização do conjunto verbo + substantivo, para o caso de uma descrição funcional, ou do substantivo apenas, para o caso das outras descrições.

Tabela 2. Lista de substantivos de projeto.

abraçadeira	acabamento	acoplamento	afastamento	agitação	alicerce
alimentação	alívio	alojamento	amortecimento	anel	anteparo
bomba	borda	braço	bucha	caixa	caixola
cantoneira	capacidade	categoria	caule	cavidade	centro
chanfro	chaveta	cilindrico	cilindro	circular	círculo
direcionador	disco	dispositivo	distância	distribuição	divisão

Eles podem ainda ser definidos no âmbito do domínio do projeto de sistemas mecânicos. Alguns dos valores de qualificação que vêm sendo utilizados na pesquisa são listados na Tabela 3.

Tabela 3. Lista de qualificadores de projeto.

acima	adequada
axialmente	bastante
de fixação da tampa plástica	de fixação da válvula de exaustão
de montagem posterior	de óleo
de óleo lubrificante	de óleo lubrificante da ranhura inferior

3.2. Modelo de processamento das correlações

Estando as descrições das estruturas de funções, regiões físicas e das seqüências de *features* sólidas devidamente compostas, é necessário correlacioná-las posteriormente nos três níveis para buscar os padrões de repetição. Os métodos classificados a seguir podem ser utilizados na análise da correlação função-forma, pois implicam correspondências do domínio funcional ao domínio de geometrias.

A classificação segundo a taxonomia usada em processos de fabricação, por exemplo, é um deles, onde a terminologia utilizada e reconhecida na manufatura pode ser relacionada aos diferentes tipos de peças existentes, na busca de padrões descritivos. Dessa forma a correlação função-forma estaria baseada no processo de obtenção da mesma, ou seja, se a peça é sinterizada, injetada, usinada, estampada, trefilada, etc. Um outro método é o de regiões funcionais e correspondentes terminologias utilizadas na sua identificação. Nesse caso, o projetista busca a solução para uma necessidade funcional baseado na terminologia utilizada na identificação de regiões funcionais e não nas *features* sólidas que as compõem. Por último, o método de análise aplicado a esta pesquisa, “funções elementares da peça versus *features* sólidas”, que correlaciona às entidades envolvidas no seu nível mais baixo de abstração. No domínio das descrições funcionais trata as funções elementares da peça, e, no domínio de geometrias, trata as *features* sólidas utilizadas na correspondente modelagem geométrica.

Tendo por base as descrições neste domínio, o modelo computacional implementado na pesquisa foi desenvolvido com vistas a dois tipos principais de correlações: os relacionamentos conceituais (RC), feitos sem a preocupação da correlação com as intenções de projeto e os relacionamentos topológicos (RT), cuja visão é a correlação no nível de detalhes geométricos.

A Figura 5 mostra a representação gráfica do modelo computacional a partir da qual são compilados os resultados. Pode-se observar que o quadro superior à esquerda representa os elementos que compõem a linguagem natural (LN), o quadro superior à direita, representa a linguagem técnica (LT) e, por último, o quadro inferior ao centro, representa a linguagem simbólica, de acordo com o modelo de análise e implementação proposto. Na implementação dos relacionamentos conceituais (RC), o objetivo é capturar os padrões de repetição entre quaisquer descrições, em qualquer nível hierárquico, de duas ou mais peças. Já, a implementação dos relacionamentos topológicos (RT), visa capturar os padrões de repetição que ocorrem na estrutura descritiva da peça. Isso permite verificar o comportamento dos significados das estruturas descritivas funcionais, físicas e de *features* sólidas.

As descrições de regiões físicas servem como um nível intermediário, associadas de maneira mais global às descrições funcionais e cujas partes de composição física são as *features* sólidas. Para permitir a análise de dados na busca de resultados sobre as correlações entre as descrições propostas, o modelo computacional processará três principais tipos de informações, listadas a seguir:

- (1) as informações contendo os valores das formas gramaticais de complementação significativa, pré-estabelecidas pela gramática da Língua Portuguesa, representado na Figura 6(a);
- (2) as informações contendo valores das formas gramaticais que compõem o linguajar associado ao domínio de projeto de sistemas mecânicos, representado na Figura 6(b); e
- (3) as informações contendo as descrições das funções e regiões físicas da peça e das seqüências de *features* sólidas 3D que geram às regiões físicas da peça no sistema CAD, representado na Figura 6(c).

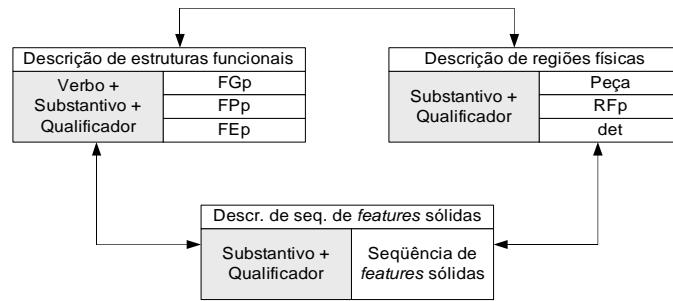


Figura 5. Representação gráfica do modelo de descrições para a implementação computacional.

Com a utilização desses três tipos de informações, é possível obter descritivamente, diferentes tipos de relacionamentos entre os verbos, substantivos e qualificadores. Por exemplo, pode ser verificada a existência de propagações de significados entre esses componentes. A propagação desses mecanismos é de interesse primordial para a definição de procedimentos computacionais e algoritmos de busca, para que possa gerar geometrias sólidas a partir de comandos descritivos. As informações de entrada do processamento computacional são as descrições pré-elaboradas das estruturas funcionais, das regiões funcionais e das *features* geométricas sólidas. As evidências estatísticas provenientes desses relacionamentos são formatadas em tabelas de onde o número de ocorrências das relações entre verbos, substantivos e qualificadores, é tirado. O levantamento estatístico das ocorrências especifica qual a probabilidade de que uma dada seqüência de termos realiza uma função. O processamento pode ser usado ainda na análise das descrições para a definição de listas de termos que, estatisticamente, ocorrem sempre que uma dada função é descrita pelo projetista.

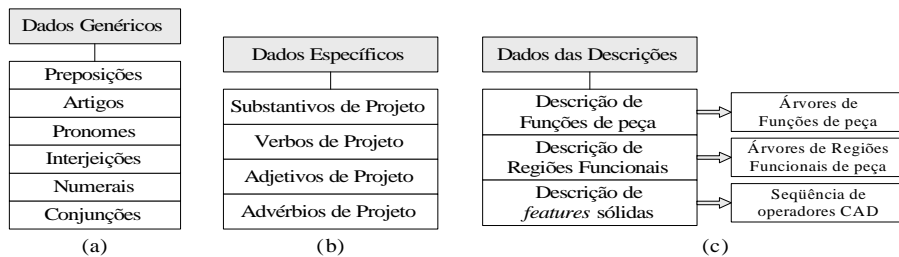


Figura 6. Estrutura de dados das descrições da peça.

3.3. Modelo geométrico de *features* geométricas sólidas

O terceiro modelo é desenvolvido para relacionar computacionalmente as descrições pré-estabelecidas no modelo de processamento com a geometria da peça, elaborada no sistema *CAD*. Shah & Mäntylä (1995), defendem que a construção de uma peça sólida é composta geometricamente por uma seqüência de *features* geométricas sólidas criadas no sistema *CAD*. A criação de geometria sólida em sistemas *CAD* é, normalmente, registrada numa interface auxiliar ao projetista que indica a seqüência da modelagem sólida realizada por ele(a). Isso dá origem a uma seqüência de descrições que identificam as *features* geométricas sólidas usadas na criação do modelo sólido da peça. O *kernel* do sistema *CAD* executa as operações de modelagem com base nos comandos inseridos pelo projetista via *mouse* ou comandos de linha. Essas operações podem ser pré-estabelecidas pelas correlações entre a descrição da função e as correspondentes geometrias sólidas associadas, nesse caso, às *features* geométricas sólidas. O sistema *CAD* registra os nomes das geometrias e os nomes dos comandos do projetista (usualmente no Inglês), à medida que o modelo é criado.

A geometria 3D mostrada na Figura 7, representa a peça “garfo do guidão” de um tipo de bicicleta criada no modelador sólido *Solid Edge V15*. Uma seqüência de *features* geométricas sólidas que encorpam a peça é usualmente disponibilizada ao projetista no sistema *CAD*. Na forma como é

mostrada para visualização ao projetista, essa seqüência de *features* geométricas sólidas é composta por operações de remoção e adição de “material” além de operações de espelhamento e cópias de *features* geométricas sólidas. O modelo 3D da Figura 7 mostra três regiões funcionais, “conector esquerdo do guidão”, “conector direito do guidão” e “haste de conexão dianteira”, representadas pelas siglas RFp 22.1, RFp 22.2 e RFp 22.3, das respectivas descrições.

Os operadores de modelagem sólida recebem nomes diversos, dependendo do sistema *CAD* utilizado. A Tabela 4 mostra uma comparação dos nomes no Inglês de operadores de modelagem usados em diversos sistemas *CAD* e o seu respectivo significado em Português.

A tradução dos termos técnicos do Inglês, correspondentes às *features* 2D ou 3D para o Português usando linguagem de projeto, deve transmitir os significados de projeto no domínio de aplicação. Por conta disso, o processamento das linguagens envolvidas requer que as *features* geométricas, principalmente as sólidas e seus respectivos operadores de modelagem geométrica no sistema *CAD* sejam mais adequadamente identificados.

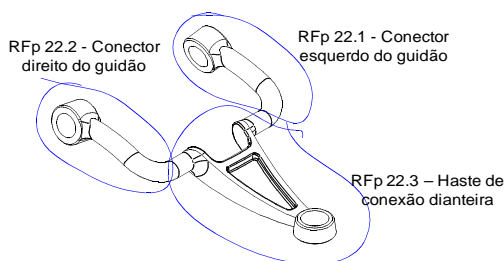


Figura 7. Modelo sólido da peça exemplo (modelada em Solid Edge V15).

Tabela 4. Exemplos da terminologia usada para operadores de modelagem em sistemas *CAD*.

Operador de	Sistema <i>CAD</i>			
	Solid Edge V15	Pro-Engineer	Unigraphics	Catia
Adição	Protusion	Extruded Tool	Extruded Body	Pad
Retirada	Cutout	Shell Tool	Pocket	Pocket
Arredondamento	Round	Round Tool	Edge Blend	Edge Fillet
Chanfro	Chamfer	Chamfer Tool	Chamfer	Chamfer

Assim, a terminologia original gerada pelo sistema *CAD* no Inglês deve ser adequadamente traduzida para seu significado no Português, no caso, do Brasil. Consequentemente, há a necessidade da criação de padrão terminológico capaz de agregar significados de projetos mais adequados. Isso ajudará o mapeamento função-forma porque as geometrias definidas com base em significados de projetos resolvem melhor a relação das funções das quais decorrem e ainda são buscadas por meio de um exercício que incorpora intenções mais adequadamente.

Para uma correlação direta ou automática, pressupõe-se ser necessário capturar a seqüência de operações necessárias ao sistema *CAD* na criação da geometria que melhor corresponda à função descrita pelo projetista, a partir dos comandos internos do sistema *CAD*, pelas correlações entre as árvores hierárquicas funcionais e a seqüência de *features* geométricas sólidas. Dessa forma, fica clara a importância que as árvores ou seqüência de *features* geométricas sólidas definidas pelo projetista no sistema convencional de modelagem geométrica têm no processamento das correlações computacionais a partir da descrição da função decorrente da análise da intenção do projetista.

4. PADRÃO TERMINOLÓGICO DAS DESCRIÇÕES

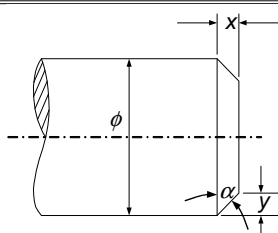
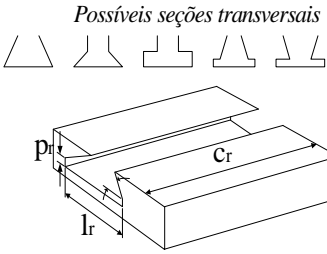
Os modelos geométricos das peças de um sistema mecânico, para satisfazer as necessidades de mapeamento função-forma, deveriam ser descritos com base num padrão terminológico. Para definir

um padrão terminológico foi necessário realizar uma pesquisa para conhecer o padrão de descrição dos operadores que os projetistas usam na maneira de projetar no sistema CAD. Para isso, foi preciso definir “termo técnico” com base nas definições conceitual, geométrica e de nomenclatura.

A **definição conceitual** deve responder à pergunta: Qual o significado de projeto da *feature* geométricas sólida? Essa definição prevê o significado e a semântica do termo técnico que a caracteriza. Aqui, semântica é definida como o estudo do sentido das palavras de uma Língua. Nela, 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. Assim, a definição conceitual do termo sobre o aspecto de engenharia, com ênfase no projeto mecânico é mantida. As palavras chave aqui são: “semântica de projeto” e “significado de projeto”.

A **definição geométrica** deve responder à pergunta: que parâmetros de geometria são necessários para caracterizar completamente o termo técnico? A geometria correspondente ao termo técnico deve ser parametrizável, apresentando variáveis dependentes e independentes. Aqui, são considerados os atributos de forma, como tipo de dimensão preferencial, tipo de seção transversal ou perfis de adição e remoção de material que a peça ou *features* geométricas sólidas têm.

Tabela 5. Definições conceituais, geométricas e de nomenclatura. (LINHARES & DIAS, 2003)

Nº	Termo Técnico	Definição Conceitual	Definição Geométrica	Definição de Nomenclatura
05	chanfro externo	superfície cônica externa gerada sobre uma aresta circular a partir de uma primitiva reta.	 <p>Parâmetros: x = largura do chanfro y = altura do chanfro α_r = ângulo de inclinação do chanfro, medido em relação ao eixo de simetria da peça; ϕ = diâmetro do corpo cilíndrico.</p>	Inglês: <i>chamfer</i> Espanhol: <i>chanflán</i> Francês: <i>chanfrein</i> Italiano: <i>smusso</i>
20	ranhura prismática	retirada retilínea e vazada de material numa superfície plana a partir de um perfil aberto de seção transversal qualquer, segundo um eixo de referência da peça	 <p>Parâmetros: p_r = profundidade da ranhura; l_r = largura da ranhura; c_r = comprimento da ranhura; seção transversal = diversas.</p>	Inglês: <i>prismatic groove</i> Espanhol: <i>surco prismático</i> Francês: <i>gravure prismatique</i> Italiano: <i>scanalatura prismatica</i>

Por último, a **definição de nomenclatura** atribui ao termo técnico o seu respectivo significado de projeto numa língua de interesse. Esta definição tem a intenção de estabelecer no âmbito dos significados técnicos de projeto de outras Línguas, os termos técnicos que melhor identificam o termo, quando traduzido para o Português (Brasil). Nesta definição, as palavras-chave são os respectivos significados de projeto do termo no Inglês, Espanhol, Alemão e outras Línguas”. Foram escolhidos dois exemplos característicos colhidos do estudo de caso. A Tabela 5 mostra esses exemplos de termos técnicos com suas respectivas definições. Os exemplos escolhidos são os correspondentes aos códigos 05 e 20, “chanfro rotacionado externo” e “ranhura prismática”, respectivamente. Alguns termos foram tirados da pesquisa sobre *features* descrita por Shah & Mäntylä (1995).

Assim, para achar significados da modelagem de *features*, foi feito um ensaio com a peça “eixo excêntrico” do compressor alternativo usado em aparelhos de refrigeração. A Figura 8 mostra a peça modelada e a sua correspondente árvore de descrição onde a árvore de *features* agora é mostrada usando a terminologia proposta com base na pesquisa de campo realizada. A grade de operadores é mostrada parcialmente, as *features* geométricas sólidas são identificadas pelos respectivos termos técnicos propostos. A *feature* geométrica sólida de sigla **feat 21.15**, por exemplo, é identificada pelo termo técnico “ranhura helicoidal”, como destacado em vermelho na figura e evidenciada na cor azul no quadro que mostra a seqüência de *features* correspondente à modelagem sólida da peça.

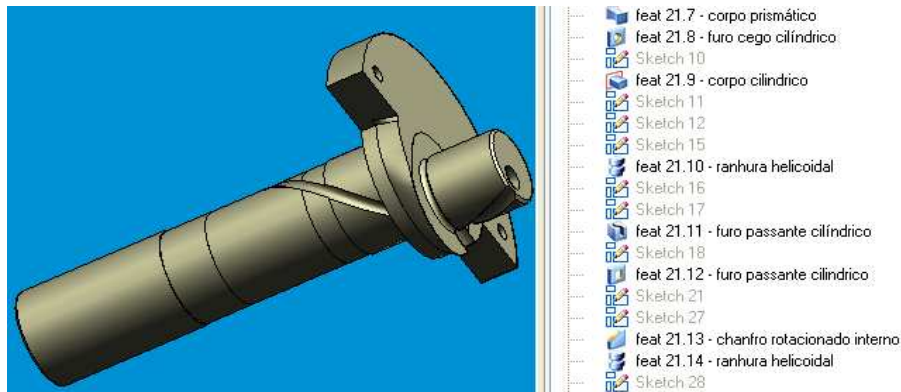


Figura 8. Representação da seqüência de *features* sólidas do modelo sólido da peça eixo excêntrico.

5. CONCLUSÕES

Neste artigo foram abordados os modelos lingüísticos e representação física usados na criação das estruturas descritivas de funções, regiões físicas e de *features* geométricas sólidas utilizadas no projeto de peças, no contexto do projeto de produto. A proposta de como descrever as funções da peça no projeto de produto, é feita. A idéia é estabelecer um padrão para geração de geometria sólida a partir da descrição da estrutura funcional da peça e assim, conseguir uma correlação computacional com a organização das definições geométricas capazes de realizar a função desejada. Tentou-se definir elementos básicos para o desenvolvimento de uma estrutura de dados sobre a qual uma necessidade funcional possa ser adequadamente descrita e, em seguida, poder materializar sua solução num sistema de modelagem geométrica 3D. As descrições frasais que caracterizam as funções, regiões físicas e *features* geométricas sólidas são abordadas sistematicamente no sentido de se organizar a plataforma para a implementação computacional. Ainda, é comentado o esboço do modelo computacional para a busca dos padrões de repetição entre as descrições correlacionadas e o padrão terminológico sugerido.

6. REFERÊNCIAS

- LINHARES, J. C.; DIAS, A. Part Design: Functional and geometric Modeling Domain Relationship, Proceedings of FAIM'03- Flexible Automation & Intelligent Manufacturing - FAIM'2003, p. 519-529, Tampa, Flórida, 2003;
- LINHARES, J. C.; DIAS, A., Mechanical Design: Relationship between Funcional semantic and geometric domain modeling for parts. 17 th International Congress of Mechanical Engineering, Celso Pupo Pesce, v. 1, p. 260-resum, São Paulo, 2003;
- OGLIARI, A. **Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetados**. 1999. 250 f.. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- PAHL, Gerhard.; BEITZ, Wolfgang. **Engineering Design – A systematic approach**. 2. ed. New York. Springer Verlag, 1996. 470 p.

PAHL, Gerhard.; BEITZ, Wolfgang. **Projeto na Engenharia – Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 6. ed. São Paulo. Edgard Blücher, 2005. 411 p.

RODENACKER, Wolf. *Methodisches Konstruieren*. 2. ed. New York. Spring Verlag Berlin, 1984.

SHAH, J. J. & MÄNTYLÄ, M., *Parametric and Feature-Based CAD/CAM - Concepts, Techniques, Applications*, Wiley Interscience, New York, 1995;

SHIMOMURA, Y. et al. Representation of design object based on the functional evolution process model. In: *Proceedings of Design Theory and Methodology - DTM'95*, ASME, 1995.

TAKEDA, et al. *Function modeling: Confluence of process modeling and object modeling*, Nara Institute of Science and Technology. Takayama, Ikoma, Japan, 1994.

TOMIYAMA, T.; UMEDA, Y. *A CAD for Functional Design*. In: *CIRP*, Vol. 42, pp. 143-14, 1993.

CONCEPTS AND MODELS TO DESIGN REPRESENTATION APPLIED TO FUNCTION-FORM RELATIONSHIP

João Carlos Linhares

Universidade do Oeste de Santa Catarina – UNOESC – Centro Tecnológico I, Laboratório de CAD e CAE, Bloco I, Rua José Firmo Bernardi, 1591, Joaçaba, SC, joao.linhares@unoesc.edu.br

Altamir Dias

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – Depto. de Engenharia Mecânica – Bloco A – Centro Tecnológico – Campus Universitário, Trindade, Florianópolis, SC, altamir@emc.ufsc.br

Abstract. This article presents an approach to model functional information used in the physical and functional data relationships description in the transition between conceptual and preliminary design. The main objective is to present how this data can be organized in descriptive manner and its different correlations between data representation. Also, the computational implementation an initial data model of preliminary design phase is made. The preliminary phase of product design is the time where task of project of have an intensive relation with the physical definition of the parts that compose the product. In this time the designer concentrate effort to work with the design specification aiming to find a set of preliminary geometric solutions, mainly thinking, how the geometry can be realized by the manufacturing processes. During earlier phases, many design intentions are described and used in order to get a conceptual design of components and parts of the product. Such physical definition may be better draw through a set functions associated with the initial morphological solutions on the conceptual design. Those solutions and definition has to be encapsulated to the parts embodiment through set of features that will define their shape/geometry. Like product's functional description, parts may have its functional description by using different levels of abstraction, and hierarchically organized, as a direct acyclic graph, since its global function until the most elementary function. This way to organize information in the design process foresees how the designer chooses geometric details and shapes to a part as well as guides him/her to use appropriately technical knowledge in the application domain. Also, it may be a way to store and register design knowledge to be used in future design activities. To process the correlations among parts functional descriptions and its corresponding geometric shapes it is necessary to divide the problem in a set of conceptual fields and representations. So, such it expand a part description. The set of part design information can be detach in three hierarchical structure: a functional descriptions, a physical regions representation and a feature tree. The geometric relationship and part shape, represent by last one can use information organized by CAD/CAM system. All three graphs are represented in trees under the paradigm of the orientation objects.

Key-words: *Functional trees, physical and functional representation models, functional design.*