

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**SISTEMA ORIENTADO POR UM MODELO DE FUNÇÃO  
BASEADO NA ABORDAGEM LINGÜÍSTICA PARA  
FORMALIZAR CONHECIMENTO FUNCIONAL NO  
PROJETO DE PEÇA**

**TESE SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA  
CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**FRANCISCO DAS CHAGAS MENDES DOS SANTOS**

**Florianópolis, 18 de Fevereiro de 2009**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**SISTEMA ORIENTADO POR UM MODELO DE FUNÇÃO BASEADO NA  
ABORDAGEM LINGÜÍSTICA PARA FORMALIZAR CONHECIMENTO  
FUNCIONAL NO PROJETO DE PEÇA**

**FRANCISCO DAS CHAGAS MENDES DOS SANTOS**

**TESE SUBMETIDA A JULGAMENTO PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE**

**DOUTOR EM ENGENHARIA**

**ESPECIALIDADE EM ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE  
CONCENTRAÇÃO PROJETO DE SISTEMAS MECÂNICOS PELO CURSO DE  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA DA UFSC**

---

**Altamir Dias, D. Sc. - orientador**

---

**Fernando Cabral, Dr. Sc.  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Altamir Dias, Dr. Sc.- Presidente**

---

**Prof. Nelson Back, Ph. D.**

---

**Prof. Carlos Cziulik, Ph. D. – Relator**

---

**Prof. Leonardo Nabaes Romano, Dr. Eng.**

---

**Prof. André Ogliari, Dr. Eng.**

### **BIOGRAFIA DO AUTOR**

**Francisco das Chagas Mendes dos Santos, nascido em 1962, é formado em matemática (1984) e engenharia elétrica (1989) cursados na Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Especializou-se no curso de pós-graduação *lato senso* em: (a) metodologia do ensino superior na UFAM (1996) e (b) redes de computadores e telecomunicações pela Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL (1999). É mestre em ciência da computação pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (2002), com enfoque na linha de pesquisa de sistemas de conhecimento aplicado à metodologia de projeto. É professor concursado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnológico do Amazonas – IFAM, antigo Centro Federal de Ensino Tecnológico do Amazonas - CEFETAM.**

**DEDICATÓRIA**

**Aos meus pais,**

**Antônio Bezerra Santos e Rosalina Mendes dos Santos**

*(In memoriam)*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, por sua companhia, proteção e infinito amor e por me proporcionar discernimento, coragem, paciência e espírito empreendedor neste trabalho de pesquisa.

Aos Cursos de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC pela acolhida, infra-estrutura e pela possibilidade do compartilhamento de conhecimentos e experiências fundamentais à minha formação profissional e pessoal.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM pelo apoio indispensável à minha formação profissional, com os Cursos de Pós-Graduação na UFSC.

À CAPES pelo apoio à pesquisa e ao desenvolvimento regional e nacional.

À minha família, como incentivo e memória àqueles que foram sinônimos de coragem, persistência, espírito empreendedor e inovador, esperança, fé inabalável, desbravador e, principalmente, amor. Meus pais Antônio Bezerra, cuja primeira profissão foi seringueiro, e minha mãe Rosalina Amorim pela dedicação exclusiva à nossa educação.

À minha companheira Ana Castro, pelo amor, pela paciência e principalmente por cuidar de toda a infra-estrutura necessária para consecução desse trabalho. Você foi o porto seguro na jornada catarinense em busca do conhecimento. Desculpe-me pelas longas ausências, quando nas madrugadas frias o computador me aguardava.

À minha sogra, Lucy Castro pelo suporte necessário e fundamental nessa jornada científica e pelo fortalecimento da certeza do dever cumprido. Obrigada pelas orações e pelos cuidados especiais que só o amor de mãe dedicam.

Ao Prof. Altamir Dias pelo apoio, orientações, paciência, conselhos, amizade e, principalmente, pelas discussões em nível científico necessárias na estruturação do pensamento conceitual do objeto desta tese.

Aos Professores Back, Ogliari, Marcos Rocha e Jonny Carlos pelas contribuições necessárias aos ajustes do pensamento conceitual do objeto desta tese e que sem elas a tese perderia um pouco do seu brilho.

Ao Marcelo Hovarth pelas lições de programação orientada a objeto e visões paradigmáticas dos padrões de projeto aplicados à linguagem de programação Java e banco de dados orientado a objeto. Sem essas lições seria impossível manter o SISFCO (AL) sob o pensamento conceitual do “(Re)uso efetivo de conhecimento funcional”.

Aos colegas do Laboratório de CAD/CAM Cristiane Tonetto, Mathias, Raimundo Ricardo, Linhares, Roberto Simoni, Andreas, Marcel, Marcelo Gitirana e tantos outros pelo compartilhamento de conhecimentos, de modo direto ou indireto, nessa caminhada científica.

Aos funcionários dos departamentos dos Cursos de Pós-Graduação da UFSC, Goreti, Ana, Verinha e tantos outros, pelo profissionalismo, competência e sensibilidade dedicados a nós alunos Pós-Graduandos.

Ao Professor José Wellington, Maria e Fabrício Ferreira pela valiosa colaboração na revisão ortográfica, pela companhia nessas últimas madrugadas que antecederam a entrega da tese ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e pelo fortalecimento na fé e esperança do dever cumprido.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste curso de doutoramento.

## RESUMO

O modelo clássico de função é descrito textualmente por “um verbo” e “um substantivo” e é baseado exclusivamente na abordagem funcional. Embora existam várias formas de se descrever textualmente uma função em linguagem natural durante a modelagem de cada funcionalidade de produto e peça, a maioria delas não é suportada pelo modelo clássico de função que é tradicionalmente aceito pelas metodologias de projeto. O modelo clássico de função tem protagonizado nesses últimos anos, nas pesquisas relacionadas às metodologias de projeto, uma série de insatisfações como, e.g., a incapacidade de: (i) formalizar conhecimento funcional; (ii) inter-relacionar os vários tipos de conhecimento funcional que é incluído em uma função; (iii) reusar conhecimento funcional. Assim, para superar estas limitações amplamente propagadas na literatura sobre metodologia de projeto, apresenta-se um modelo de função baseado na abordagem lingüística que é uma extensão do modelo de função de Roy e Bharadway (que foi estendido do modelo de função de Pahl e Beitz). A metodologia utilizada nesta pesquisa é empírica e qualitativa. A metodologia é: (i) empírica por causa das pesquisas e implementações de ferramentas computacionais necessárias na coleta de descrições textuais de função em linguagem natural relacionadas a diversos tipos de produto e peça para organizar um *corpus* lingüístico de sentenças funcionais; (ii) qualitativa devido aos processos de análise das funções do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais como, e.g., a: (a) análise e síntese das várias formas de se descrever as funções; (b) análise morfológica (análises sintática, semântica, do discurso e pragmática) das funções necessária na sistematização das características sintáticas, semânticas e estruturas gramaticais delas. O resultado mais significativo desse trabalho de pesquisa foi o desenvolvimento de um modelo de função baseado na abordagem lingüística que consegue integrar três diferentes abordagens: (i) abordagem funcional, para suportar o conceito de decomposição funcional; (ii) abordagem comportamental, para apoiar o conceito de conhecimento comportamental; (iii) abordagem lingüística, para tratar os portadores de conhecimento funcional (constituintes, e.g., verbo, substantivo abstrato/concreto simples/composto, advérbio, adjetivo). A integração das abordagens possibilita a identificação, categorização, definição e inter-relacionamento entre os vários tipos de conhecimento incluído em apenas uma função. O modelo de função foi implementado em um sistema protótipo denominado de SISFCO (AL) – Sistema de suporte à formalização de conhecimento funcional baseado na abordagem lingüística. O SISFCO (AL)

foi testado com engenheiros mecânicos do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica de Santa Catarina, nesse teste preliminar os resultados foram satisfatórios. Todavia, há a necessidade de pesquisas adicionais com o SISFCO (AL) em diferentes domínios de aplicação. O modelo de função proposto vem contribuir com as: (i) áreas de pesquisas relacionadas aos sistemas de conhecimento baseado em linguagem natural aplicados à metodologia de projeto; (ii) pesquisas direcionadas para a integração de conhecimento funcional e informação geométrica. Nessa perspectiva, esta tese pode contribuir para a efetiva integração entre as etapas iniciais (projeto informacional e conceitual) e finais (projeto preliminar e detalhado) das metodologias de projeto de produto. Contudo, ressalta-se que no momento, “este trabalho de pesquisa foi direcionado apenas para a primeira atividade da etapa do projeto conceitual de peça”.

Palavras-chave: Descrição textual de função em linguagem natural, modelo de função baseado na abordagem lingüística, conhecimento funcional.



## ABSTRACT

The classical model of function is textually described by “a verb” and “a noun” and is exclusively based in functional approach. Although there are several ways to describe textually a function in natural language during a modeling of every functionality of product and part, most of them are not supported by classical model of function that is traditionally accepted by the methodology of design. The classical model of function has convinced in recent years, on the researches related to the methodology of design several dissatisfactions like e.g., the inability of: (i) formalize functional knowledge; (ii) inter-relate the various types of functional knowledge that is include in a function; (iii) reuse functional knowledge. This way to overcome the limitations widely propagated in the literature about methodology of design, come forward a model of function based in the linguistic approach that is a extension of the model of function by Roy an Bharadway (that was extended of the model of function by Pahl e Beitz). The methodology of function used in this research is empirical and qualitative. The methodology is: (i) empirical because of researches and implementations of computational tools necessary in the collection of textual description of function in natural language related to several types of product and part to organize a linguistic *corpus* of functional sentences; (ii) qualitative due to process of analysis of the functions of the linguistic *corpus* of functional sentences like e.g., a (a): analysis and synthesis of various forms to describe functions; (b): morphological analysis (syntactic analysis, semantic, of discourse and pragmatic) of functions necessary in the systematization of syntactic characteristic, semantic and grammatical structure of them. The most important result of this research work was the development of a model of function based in the linguistic approach that can add three different approaches: (i) functional approach, to support the concept of functional decomposition; (ii) behavioral approach, to support the concept of behavioral knowledge; (iii) linguistic approach, to treat the individual with functional knowledge (constituents, e.g., verb, noun, abstract, simple concrete, compound, adverb, adjective). The integrations of approaches enables the identification, categorization, definition and inter-relation, between the various types of knowledge included in just one function. The model of function was implemented in a prototype system called SISFCO (AL)- system of support to formalization of functional knowledge based in the linguistic approach. The SISFCO (AL) was tested with students of mechanical engineering graduate of Santa Catarina, in this

preliminary test the results was satisfactory. However it needs further researches with SISFCO (AL) different domains of application. The model of proposed comes to contribute with the: (i): researches areas related to knowledge system based in natural language applied to the methodology of design; (ii) researches directed to integration of functional knowledge and geometric information. Accordingly this thesis could contribute effective integration between the early stages (informational and conceptual design) and final (preliminary and detailed design) of methodology of design of product. However it is in evidence that at the moment “this research work was directed just to the first activity of the stage”.

**Keys-words:** Textual description of function in natural language, model of function based in linguistic approach, functional knowledge.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1:	Representação esquemática das formas clássicas de se descrever textualmente função em linguagem natural nas metodologias de projeto .....	3
Figura 2-1:	Esquema do processo de desenvolvimento de produto com suas principais macrofases (ROMANO, 2003).....	15
Figura 2-2:	Etapas da seqüência do processo de transformação do conhecimento sobre o problema de projeto na etapa do projeto informacional (FONSECA, 2000) .....	18
Figura 2-3:	Matriz de levantamento de requisitos de usuário (FONSECA, 2000).....	19
Figura 2-4:	Matriz de apoio à conversão dos requisitos de usuário em requisitos de projeto (Fonseca, 2000) .....	19
Figura 2-5:	Casa da Qualidade para obtenção das especificações de projeto (FONSECA, 2000) .....	19
Figura 2-6:	Exemplos de uso da linguagem gráfica para as sentenças funcionais: (a) expressar; (b) informar; (c) enclausurar (OGLIARI, 1999) .....	23
Figura 2-7:	Formas clássicas de descrever textualmente função em linguagem natural nas metodologias de projeto .....	24
Figura 2-8:	Exemplo de uma árvore hierárquica de sentenças funcionais utilizando linguagem gráfica (OGLIARI, 1999).....	28
Figura 2-9:	Matriz morfológica para apresentação das concepções alternativas (OGLIARI, 1999).....	28
Figura 2-10:	Etapas do projeto de produto e produção baseados no projeto de componentes em separado (ULLMAN, 1992) .....	33
Figura 2-11:	Conhecimento funcional baseado nas restrições dos quatro elementos básicos: (i) forma geométrica; (ii) material; (iii) fabricação; (iv) montagem (ULLMAN, 1992) .....	34
Figura 2-12:	Abordagem do projeto funcional e conceitual para a etapa do projeto conceitual de produto e peça (ROSA et al. 1995).....	38
Figura 2-13:	Proposta de decomposição funcional da estrutura física da peça “eixo da coroa”, com seus grupos funcionais e detalhes construtivos (ROSA et al. 1995) .....	39
Figura 2-14:	Estruturas das: etapas do projeto conceitual e preliminar de peça (LINHARES, 2000).....	40
Figura 2-15:	Modelo de função baseado no comportamento de peça de Roy e Bharadway (2002) .....	43

Figura 2-16:	O projeto como um processo de mapeamento do espaço de funções para o espaço dos atributos (TAKEDA et al. 1990) .....	45
Figura 2-17:	Esquema de representação do conhecimento funcional no modelo de Freeman e Newell (adaptado de CHAKRABARTI; BLIGH, 2001).....	50
Figura 2-18:	Esquema de representação do conhecimento funcional no modelo de Yoshikawa (adaptado de CHAKRABARTI; BLIGH, 2001) .....	51
Figura 2-19:	Esquema de representação do conhecimento funcional no modelo de Pahl e Beitz (1996) .....	51
Figura 2-20:	Esquema de representação do conhecimento funcional no modelo de Roy e Bharadway (2002) .....	52
Figura 2-21:	Relacionamentos entre função, comportamento e estados (UMEDA et al. 1990; TAKEDA; TOMIYAMA; SHIMOMURA, 1994b).....	55
Figura 2-22:	Diagrama função – comportamento – estrutura (UMEDA et al. 1990).....	60
Figura 3-1:	Arquitetura geral dos sistemas que processam a linguagem natural <sup>1</sup> (adaptado de BARROS; ROBIN, 1996) .....	67
Figura 3-2:	Exemplo de uma árvore com as categorias sintáticas da sentença funcional “Facilitar montagem do anel menor da biela” .....	71
Figura 3-3:	Exemplos de uma rede de transição (adaptado de LUGER, 2004) .....	80
Figura 3-4:	Exemplos de uma rede de transição recursiva derivada da Tabela 3-5 .....	81
Figura 3-5:	Exemplo da especificação de entrada para a geração de saída da sentença “Ela entrega o rascunho ao editor” .....	84
Figura 3-6:	Hierarquia de tipos para classificar palavras substantivas <sup>1</sup> .....	87
Figura 3-7:	Exemplo de uma rede semântica elaborada elaborada a partir do conceito de mancal de Pahl et al. (2005).....	88
Figura 3-8:	Tipos de processamento da linguagem natural aplicado às etapas de projeto de produto e peça em relação ao modelo de consenso do NeDIP/UFSC (OGLIARI, 1999).....	91
Figura 3-9:	Dez formatos padrões básicos de estruturas de dimensões (SUN et al. 1998).....	93
Figura 3-10:	Conjunto de dimensões típicas das <i>features</i> de forma em formato 2D (Prabhu, Biswas e Pande, 2001) .....	94
Figura 3-11:	Exemplos de estruturas geométricas 2D (PRABHU; BISWAS; PANDE, 2001) .....	95
Figura 3-12:	Correlação entre geometrias e <i>feature</i> padrão (PRABHU; BISWAS; PANDE, 2001) .....	95
Figura 3-13:	Gráfico de um autômato finito com os seus estados e transições válidas (PRABHU; BISWAS; PANDE, 2001) .....	96
Figura 3-14:	Exemplo de um processo das etapas de transições do autômato finito de um texto dimensional típico de uma <i>feature</i> padrão de um desenho de uma folha de engenharia (PRABHU; BISWAS; PANDE, 2001) .....	97

Figura 3-15:	Estrutura informacional de um modelo de produto com as principais características sobre o produto, atividade de planejamento de processo e <i>features</i> (PRABHU; BISWAS; PANDE, 2001).....	98
Figura 3-16:	Arquitetura do AUTOFEAT (com cinco módulos) (PRABHU; BISWAS; PANDE, 2001) .....	99
Figura 3-17:	Arquitetura do modelo de SPLN proposto por Santos (2002).....	102
Figura 3-18:	Processamento das sentenças funcionais descritoras da peça “biela tipo 14” (SANTOS, 2002).....	104
Figura 3-19:	Esquema de classificação de <i>features</i> proposto por Mukherjee e Liu (1997) .....	106
Figura 3-20:	Uma abstração da visão mais detalhada da arquitetura do modelo de SPLN proposto por Mukherjee e Liu (1997) .....	108
Figura 4-1:	Interface gráfica do editor de estrutura de funções de peça usada para capturar: (i) árvores de funções de peça; (ii) imagem da peça; (iii) imagem da árvore de <i>features</i> de peça.....	115
Figura 4-2:	Exemplo de uma sentença funcional pode ser realizada por diferentes formas geométricas de DGs, ou <i>features</i> , para se obter diferentes comportamentos de peças .....	133
Figura 4-3:	Exemplo de como diferentes sentenças funcionais podem ser realizadas pela mesma forma geométrica para se obter o mesmo comportamentos de peças.....	135
Figura 5-1:	Proposta da estrutura em camadas metodológicas do projeto de produto, subsistema e peça <sup>1</sup> .....	144
Figura 5-2:	Proposta da estrutura das atividades básicas da etapa do projeto conceitual de produto, subsistema e peça <sup>1</sup> .....	145
Figura 5-3:	Proposta das tarefas para formalização de conhecimento funcional incluído na sentença funcional durante a modelagem funcional de peça <sup>1</sup> .....	147
Figura 5-4:	Proposta da sistematização do conhecimento funcional explícito/implícito na sentença funcional durante a primeira atividade da etapa do projeto conceitual de peça <sup>1</sup> .....	169
Figura 5-5:	Modelo de Função baseada na abordagem lingüística .....	150
Figura 5-6:	Tipos de estruturas gramaticais das sentenças funcionais suportadas pelo modelo de função baseado pela abordagem lingüística <sup>1</sup> .....	151
Figura 5-7:	Estruturação semântica dos substantivos baseada na análise das descruções textuais de função do <i>corpus</i> lingüístico de sentenças funcionais <sup>2</sup> .....	154
Figura 5-8:	Classificação dos tipos de conhecimentos incluídos em uma sentença funcional <sup>1</sup> .....	155
Figura 5-9:	Exemplo de uma mesma sentença funcional com dois distintos pontos de vista funcionais <sup>1</sup> .....	157

Figura 5-10:	Inter-relação entre os modelos de função de Ullman (1992) e baseado na abordagem lingüística a partir dos elementos básicos: (i) material; (ii) forma geométrica; (iii) montagem; (iv) manufatura <sup>1</sup> .....	162
Figura 6-1:	Esquema sistemático em UML do fluxo da informação no SISFCO (AL) <sup>2</sup> .....	173
Figura 6-2:	Interface para se descrever a sentença funcional em linguagem natural, mas só depois de se escolher um dos possíveis propósitos funcionais disponibilizados no SISFCO (AL) <sup>1</sup> .....	174
Figura 6-3:	Interface do SISFCO (AL) exemplificando uma estrutura de sentenças funcionais de uma peça cujo ModeloPeça é um pino cilíndrico .....	175
Figura 6-4:	Estrutura geral do SPLN implementado no SISFCO (AL) <sup>3</sup> .....	176
Figura 6-5:	Visão geral do diagrama de pacotes do SISFCO (AL) <sup>1</sup> .....	178
Figura 6-6:	Principal interface do SISFCO (AL) <sup>3</sup> .....	180
Figura 6-7:	Diagrama de seqüência do editor textual de sentenças funcionais de peça do SISFCO (AL) <sup>1</sup> .....	183
Figura 6-8:	Diagrama de seqüência do SPLN, do SISFCO (AL), utilizado na montagem dos <i>Frame</i> das sentenças funcionais descrita textualmente pelos projetistas durante a modelagem funcional de peça <sup>1</sup> .....	185
Figura 6-9:	Exemplos de um <i>Frame</i> <sup>3</sup> , com suas: (i) metas da intenção de projeto; (ii) significações dos constituintes, e estrutura gramatical, da sentença funcional; (iii) efeitos (in)desejados pelos projetistas .....	188
Figura 6-10:	<i>Frame</i> da sentença funcional “Suportar radialmente o pistão” .....	190
Figura 6-11:	<i>Frame</i> da sentença funcional “Comprimir e expandir axialmente gás refrigerante” .....	190
Figura 6-12:	<i>Frame</i> da sentença funcional “Facilitar montagem no pistão” .....	191
Figura 6-13:	<i>Frame</i> da sentença funcional “Transmitir torque do anel maior para o pistão” .....	191
Figura 6-14:	Complexidade da estrutura de dados das árvores de funcionalidades das peças em relação à estrutura de ubIFs necessárias a implementação do SGBD <sup>1</sup> .....	193
Figura 6-15:	Árvore de funções e propósitos funcionais da peça pino cilíndrico <sup>3</sup> .....	194
Figura 6-16:	Árvore de funções, propósitos funcionais e ação verbo sobre a sentença funcional da peça pino cilíndrico <sup>3</sup> .....	194
Figura 6-17:	Árvore de funções, propósitos funcionais, processos causais (baseados em efeito físico, químico ou biológico) e geometrias das sentenças funcionais da peça pino cilíndrico <sup>3</sup> .....	196
Figura 6-18:	Árvore de funções, propósitos funcionais, processos causais (baseados em efeito físico, químico ou biológico) e <i>features</i> das sentenças funcionais da peça pino cilíndrico <sup>3</sup> .....	197
Figura 6-19:	Árvore de Frames da peça pino cilíndrico <sup>3</sup> .....	198

Figura 6-20:	Estruturação do conceito funcional a partir do <i>Frame</i> da sentença funcional “Suportar radialmente anel maior” .....	199
Figura 6-21:	Estruturação do conhecimento teleológico a partir do <i>Frame</i> da sentença funcional “Suportar radialmente anel maior” .....	200
Figura 6-22:	Estruturação do conhecimento comportamental a partir do <i>Frame</i> da sentença funcional “Suportar radialmente anel maior” .....	200
Figura 6-23:	Estruturação do conhecimento funcional a partir do <i>Frame</i> da sentença funcional “Suportar radialmente anel maior” .....	201
Figura A-1:	Exemplo de um autômato finito não determinístico (AFN) .....	238
Figura A-2:	Exemplo do fluxo de uma cadeia de símbolos de um autômato finito não determinístico (AFN).....	239
Figura A-3:	Exemplo de um script (rotina, simulação de um comportamento) de um AFD .....	239
Figura B-1:	Exemplo de um <i>Frame</i> chamado de <sentença funcional> com dois <i>slots</i> <Verbo> e <Substantivo>.....	243
Figura C-1:	Inteface do sistema gerenciador de objetos do DB4objetc <sup>3</sup> .....	247

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 – Categorias das informações na etapa de projeto informacional (FONSECA, 2000) .....	18
Tabela 2-2 – Exemplo de um conjunto de variantes da estrutura de funções elementares de uma função parcial integrada (FIOD NETO, 1993).....	27
Tabela 2-3 – Proposta de sistematização do processo de concepção de produto (OGLIARI, 1999) ....	27
Tabela 3-1 – Elementos mórficos, morfemas: conceitos e exemplos <sup>1</sup> .....	60
Tabela 3-2 – Exemplo de um <i>Frame</i> para organizar as semânticas da sentença funcional “Facilitar montagem do anel menor da biela” .....	72
Tabela 3-3 – Hierarquia de tipos de gramáticas (CHOMSKY, 1956) .....	75
Tabela 3-4 – Exemplo de uma gramática livre de contexto, com suas regras de reescrita <sup>1</sup> .....	77
Tabela 3-5 – Exemplo da análise sintática da sentença funcional “Facilitar montagem do anel menor da biela” <sup>1</sup> .....	78
Tabela 3-6 – Condições e ações associadas a um sintagma nominal .....	82
Tabela 3-7 – Exemplos de relacionamentos entre os papéis temáticos e sintáticos e suas categorias sintática <sup>1</sup> .....	83
Tabela 3-8: Conjunto de dimensões típicas do SPLN de Prabhu, Biswas e Pande (2001).....	94
Tabela 3-9: Alguns valores de estado válidos para o autômato finito (PRABHU; BISWAS; PANDE, 2001) .....	97
Tabela 3-10 – Estrutural do <i>SCC KK-3</i> com o significado dos seus vinte e um códigos (SANTOS, 2002) .....	101
Tabela 3-10 – Condições e ações associadas a um sintagma nominal .....	82
Tabela 4-1 – Verbos funcionais e suas propostas de ubIFs, para a estrutura superficial, de Roth (1982), Koller (1985) e Pahl e Beitz (1996) .....	119
Tabela 4-2 – Sistematização das características sintáticas e semânticas dos constituintes das descrições textuais de função do <i>corpus</i> lingüístico de DTFLN <sup>1</sup> .....	123
Tabela 4-3 – Síntese do conhecimento referenciado implicitamente nas características sintáticas e semânticas dos constituintes de uma sentença funcional pelas unidades básicas de informações funcionais (ubIFs) <sup>1</sup> .....	129
Tabela 4-4 – Grau (I <sub>C</sub> , V <sub>G</sub> , I <sub>Z</sub> ) das estruturas sintáticas das descrições textuais de função do <i>corpus lingüístico</i> de sentenças funcionais em função das unIFs <sup>1</sup> .....	131
Tabela 4-5 – Correlação entre a denominação da peça e a decomposição da sua estrutura gramatical.....	133



Tabela 4-6 – Síntese das estruturas sintáticas e semânticas encontradas no <i>corpus</i> lingüístico de SF <sup>1</sup> .....	136
Tabela 5-1 – Combinações da sintaxe de constituintes encontrados no <i>corpus</i> lingüístico de sentença funcional (Elaborado por Santos e Dias).....	153
Tabela 5-2 – Classificação dos atributos gerais e específicos de produto/peça (FONSECA, 2000) .....	159
Tabela 5-3 – Mapeamento das informações funcionais do conhecimento comportamental <sup>2</sup> .....	160
Tabela 5-4 – Conceito funcional constituído pelo conjunto de valores semânticos de todos os constituintes da sentença funcional “Facilitar montagem do pino cilíndrico no pistão” .....	161
Tabela 5-5 – Inventário das ubIFs implícitas na SF “Facilitar montagem do pino cilíndrico no pistão” .....	161
Tabela 5-6 – Advérbio: correlação entre suas entidades versus conhecimento sobre suas condições operacionais .....	165
Tabela 5-7 – Organização das entidades básicas dos substantivos e seus atributos e valores semânticos <sup>2</sup> .....	166
Tabela 6-1 – Exemplo da variação da quantificação-qualificação dos constituintes relevantes e entidades básicas/adicionadas de alguns tipos de sentenças funcionais <sup>2</sup> .....	189

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Análise comportamental
Adj	Adjetivo
Adv	Advérbio
AFD	Autômato finito determinístico
AFN	Autômato finito não-determinístico
AG	Análise gramatical
Artg	Artigo
AUTOFEAT	Interpretador inteligente de desenhos em <i>CADD</i>
BD	Banco de dados
C	Comportamento
CAD	Projeto auxiliado por computador ( <i>Computer-aided design</i> )
CADD	Esboço e projeto auxiliado por computador ( <i>Computer aided design and drafting</i> )
CAE	Engenharia auxiliada por computador ( <i>Computer-aided engineering</i> )
CAM	Manufatura auxiliada por computador ( <i>Computer-aided manufacturing</i> )
CAPP	Processo de planejamento auxiliado por computador ( <i>Computer-aided process planning</i> )
Cf	Conceito funcional
CF	Conhecimento funcional
CIBIM	Congresso iberoamericano de engenharia mecânica ( <i>Congreso iberoamericano de ingenieria mecánica</i> )
CFRL	Linguagem de representação da funcionalidade causal ( <i>Causal function representation language</i> )
CNC	Controle de comandos numéricos ( <i>Control numeric command</i> )
COBEM	Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica ( <i>International Congress of Mechanical Engineering</i> )
Conc	Concordância
CONEM	Congresso Nacional de Engenharia Mecânica
Det	Artigo ( <i>Determinante</i> )
DF(s)	Descrição(ões) funcional(is)
DG	Detalhe geométrico
DGs	Detalhes geométricos
DTFLN	Descrição textual de função em linguagem natural
DXF	<i>Drawing interchange files</i>

EFC	Elemento funcional comum
EMC	Engenharia mecânica
EPP	Especificações de projeto de produto
ERCF (AL)	Esquema de representação de conhecimento funcional baseado na abordagem Lingüística
Expl	Descrições textuais de função em linguagem natural
F	Função, Descrição Textual de Função em Linguagem Natural ou Sentença funcional
FAIM	Automação flexível e manufatura inteligência ( <i>Flexible automation and intelligent manufacturing</i> )
FBRL	Linguagem de representação de função e comportamento dos componentes ( <i>Function behavior representation language</i> )
FBS	Função, comportamento e estado ( <i>Function, behavior and state</i> )
FE	Função elementar ou Descrição textual de função elementar em linguagem natural
FG	Função global ou Descrição textual de função global em linguagem natural
FP	Função parcial ou Descrição textual de função parcial em linguagem natural
FUG	Gramática de unificação funcional ( <i>Functional unification grammars</i> )
G	Gramática
G(I <sub>c</sub> , V <sub>G</sub> , I <sub>Z</sub> )	Grau de incompletude, vagueza e incerteza
GF	Gramática funcional
GLC(s)	Gramática(s) livre de contexto ( <i>Context – free grammar</i> )
GR	Gramática regular ( <i>Regular grammar</i> )
GSC	Gramática sensível ao contexto ( <i>Context – sensitive grammar</i> )
GUF(s)	Gramática de unificação funcional
IA	Inteligência artificial ( <i>Artificial Intelligence</i> )
IdEAL	Sistema integrado de projeto baseado em modelos abstratos
IGES	Especificação inicial de intercâmbio gráfico ( <i>Initial Graphics Exchange Specification</i> )
ISO	Organização de padrão internacional ( <i>International standard organization</i> )
JDO	Objetos de dados em Java ( <i>Java data objects</i> )
KIEF	Estrutura de engenharia de conhecimento intensivo ( <i>Knowledge intensive engineering framework</i> )
L(G)	Linguagem gerada por uma gramática
LCD	Dados de desenhos legados ( <i>Legacy data</i> )
LN	Linguagem natural
MPP	Metodologia de projeto de produto
NeDIP	Núcleo de desenvolvimento integrado de produtos
NG	Não-geométrico ( <i>Not geometric</i> )

NIST	Instituto nacional de padrões e tecnologias ( <i>National institute of standards</i> )
NQ	Consultas nativas ( <i>Native query</i> )
O	Espaço do objeto
OB	Gerenciador de objetos ( <i>Objects manager</i> )
OCR	Reconhecimento de caractere óptico ( <i>Optical character recognition</i> )
PC	Projeto conceitual
PD	Projeto detalhado
PE	Portador de efeito
PF	Propósito funcional
PI	Projeto informacional
PLN	Processamento da linguagem natural ( <i>NLP – Natural language processing</i> )
POO	Programação orientada a objeto
PP	Projeto preliminar
Prep	Preposição
PRODEF	Programa de auxílio à definição das funções do produto
Prolog	Programação em lógica ( <i>Programming logic</i> )
PS	Princípio de solução
PSL	Linguagem de especificação de produto ( <i>Product specification language</i> )
QBE	Consultas Baseadas em exemplos ( <i>Query by example</i> )
QFD	Desdobramento da função qualidade ( <i>Quality function deployment - QFD</i> )
RFCE	Relação entre função, comportamento e estrutura
RP	Raciocínio funcional
RSP	Representação semântica profunda
RSS	Representação semântica superficial
RT	Redes transição
RTA	Redes de transição aumentada
RTR(s)	Redes de transição recursiva
RTS	Redes de transição simples
SACPRO	Sistema de apoio à concepção de produtos
SADPRO	Sistema auxiliado por computador para o desenvolvimento de produtos industriais
SAdv	Sintagma adverbial
SBF	Estrutura, comportamento e função ( <i>Structure, behavior and function</i> )
SCC KK-3	Sistema de classificação e codificação de peças KK-3
SEPEX	Semana de ensino, pesquisa e extensão da UFSC
SF(s)	Sentença(s) funcional(is)
SGBD	Sistema de gerenciamento de banco de dados
SGBDOO	Sistema de gerenciamento de banco de dados orientado a objetos
SGBDOOs	Sistemas de gerenciamento de bancos de dados orientados a objetos

SGBDR	Sistema de gerenciamento de banco de dados relacional
SGBDRO	Sistema de gerenciamento de banco de dados relacional - orientado a objeto
SISFCO (AL)	Sistema de suporte a formalização de conhecimento funcional baseado na Abordagem Lingüística
SN	Sintagma nominal
SODA	Consultas dinâmicas baseadas em nodos ( <i>Simple object database access</i> )
SP	Sintagma preposicional
SPLN(s)	Sistema(s) de processamento de linguagem natural
Sub(s)	Substantivo(s)
SV	Sintagma verbal
SYSFUND	Ferramenta de sistematização de conhecimento funcional para projeto ( <i>Systematization tool of functional knowledge for design</i> )
TG	Tecnologia de grupo
TGP	Teoria de projeto geral
TRIZ	Teoria de solução de problemas inventivos ( <i>Teória Rechénia Izobretátelskih Zadátchi</i> )
U	Domínio de projeto
ubIF	Unidade básica de informação funcional
ubIFs	Unidades básicas de informações funcionais
UCB	Unidade de conhecimento básica
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UML	Linguagem de modelagem unificada ( <i>Unified modeling language</i> )
VDI	União de engenheiros alemães ( <i>Verein deutscher ingenieure</i> )
WWW ou web	Rede de alcance mundial (Word wide web)

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xiv
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	xvi

### CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do problema de pesquisa.....	1
1.2 Papel do conhecimento funcional em uma descrição textual de função em linguagem natural.....	2
1.3 Necessidade de um modelo de função baseado na abordagem lingüística.....	4
1.4 Questão de pesquisa ... ..	5
1.5 Objetivos da Tese.....	6
1.5.1 Objetivo Geral... ..	6
1.5.2 Objetivos específicos.....	6
1.6 Justificativa... ..	7
1.6.1 Dimensão das metodologias de projeto... ..	7
1.6.2 Dimensão da lingüística aplicada... ..	8
1.6.3 Dimensão da informática.....	8
1.5 Metodologia... ..	8
1.7 Estrutura da tese... ..	10

### CAPÍTULO 2 CONHECIMENTO FUNCIONAL NAS METODOLOGIS DE PROJETO

2.1 Introdução .....	12
2.2 Metodologias de projeto de produto.....	14
2.2.1 Classificação das metodologias de projeto de produto.....	15
2.2.2 Conhecimento funcional nas metodologia de projeto de produto .....	17
2.2.3 Conhecimento funcional nas metodologia de projeto de peça .....	32
2.2.3.1 Metodologia de projeto de componente de Ullman (1992).....	32
2.2.3.2 Abordagem do projeto funcional e conceitual para a etapa do projeto conceitual de peça de Rosa et al. (1995) .....	37
2.2.3.3 Metodologia de projeto de peça de Roy e Bharadway (2002) .....	41
2.3 Tipos de conhecimento na etapa do projeto de conceitual: visão geral .....	45
2.3.1 Proposta de representação de conhecimento funcional de Takeda et al. (1990).....	45

2.3.2 Modelos de descrição textual de função em linguagem natural no projeto conceitual .....	47
2.3.3 Modelos de representação de conhecimento funcional aplicados ao projeto conceitual .....	49
2.3.4 Relação entre Função, Comportamento e Estrutura (RFCE) .....	53
2.3.4.1 Visão da RFCE de Chandrasekaran e colaboradores .....	53
2.3.4.2 Visão da RFCE de Umeda e Colaboradores.....	54
2.3.4.3 RFCE: necessidade de propósitos funcionais gerais por Keuneke.....	57
2.3.4.4 Visão da RFCE de Iwasaki e Colaboradores.....	59
2.3.4.5 RFCE: visão de Kitamura e Colaboradores.....	60
2.4 Considerações finais .....	63

### **CAPÍTULO 3 PROCESSAMENTO DA LINGUAGEM NATURAL NAS METODOLOGIA DE PROJETO**

3.1 Introdução .....	65
3.2 Processamento da Linguagem Natural: análise e extração de ubIF .....	66
3.3 PLN .....	67
3.3.1 Processamento morfológico .....	68
3.3.2 Processamento sintático .....	69
3.3.2.1 Definição de <i>parser</i> .....	73
3.3.2.2 Gramáticas formais.....	73
3.3.2.3 Formalismos gramaticais.....	79
3.3.3 Processamento semântico .....	85
3.3.4 Processamento do discurso .....	89
3.3.5 Processamento pragmático.....	90
3.4 PLN aplicado no projeto de produto e peça .....	90
3.4.1 <i>SPLN</i> baseado na abordagem da interpretação sintática .....	92
3.4.2 <i>SPLN</i> para analisar padrão de folha de engenharia .....	94
3.4.3 <i>SPLN</i> para processar características funcionais de sentenças funcionais.....	100
3.4.4 Um <i>SPLN</i> para integrar representações funcionais e geométrias.....	105
3.5 Considerações finais.....	110

### **CAPÍTULO 4 SISTEMATIZAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS SINTÁTICAS, SEMÂNTICAS E ESTRUTURAS GRAMATICAIIS DAS DTFLENS**

4.1 Introdução .....	112
4.2 <i>Corpus</i> lingüístico .....	113
4.2.1 Definição de <i>corpus</i> lingüístico em lingüística computacional.....	113
4.2.2 Conceito de <i>corpus</i> lingüístico sentenças funcionais.....	113
4.2.3 Critérios para estruturação de um <i>corpus</i> lingüístico sentenças funcionais.....	113
4.2.4 Estruturação do <i>corpus</i> lingüístico sentenças funcionais.....	114

4.3 Sistematização das características sintáticas, semânticas e estruturação das descrições textuais de função do <i>corpus</i> lingüístico sentenças funcionais .....	116
4.3.1 Análise gramatical.....	116
4.3.1.1 Conhecimento funcional referenciado explicitamente .....	117
4.3.1.2 Conhecimento funcional referenciado implicitamente.....	123
4.3.2 Análise comportamental.....	130
4.4 Considerações finais.....	137

## **CAPÍTULO 5 MODELO DE FUNÇÃO BASEADA NA ABORDAGEM LINGÜÍSTICA PARA O PROJETO CONCEITUAL DE PEÇA**

5.1 Introdução .....	140
5.2 Hipóteses .....	141
5.3 Proposta das camadas metodológicas do projeto de produto, subsistema e peça.....	143
5.4 Proposta da estruturação das atividades básicas da etapa de projeto conceitual de produto, subsistema e peça .....	144
5.5 Modelo de função baseada na abordagem lingüística .....	149
5.5.1 Na abordagem funcional .....	150
5.5.2 Na abordagem comportamental .....	152
5.6 Formalização de conhecimento funcional com o modelo de função baseado na abordagem lingüística incluído na sentença funcional.....	156
5.7 Síntese da formalização de conhecimento funcional incluído numa sentença funcional.....	163
5.8 Contribuições da tese .....	167
5.9 Considerações finais sobre o modelo de função baseado na abordagem lingüística.....	169

## **CAPÍTULO 6 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA ORIENTADO POR UM MODELO DE FUNÇÃO BASEADO NA ABORDAGEM LINGÜÍSTICA**

6.1 Introdução .....	171
6.2 Sistema para suportar a formalização de conhecimento funcional baseado na abordagem lingüística – SISFCO (AL) .....	172
6.3 Arquitetura do SISFCO (AL).....	178
6.3.1 Editor textual de funções de peça do SISFCO (AL) .....	182
6.3.2 SPLN de sentenças funcionais de peça do SISFCO (AL).....	184
6.3.3 Classes de Frames para formalizar conhecimento funcional do SISFCO (AL).....	189
6.3.4 SGBDOO do SISFCO (AL).....	192
6.4 Relatórios possíveis de serem gerados com o SISFCO (AL).....	193
6.5 Tipos de conhecimento implícitos em uma sentença funcional .....	199
6.6 Considerações finais.....	203



**CAPÍTULO 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

7.1 Introdução .....	204
7.2 Conclusões .....	206
7.3 Direcionamentos para trabalhos futuros.....	208
7.3.1 Necessidade de pesquisas com o modelo de função baseado na abordagem lingüística .....	208
7.3.2 Necessidade de um etiquetador funcional baseado em <i>corpus</i> lingüístico de contexto industrial .....	209
7.3.3 Necessidades de um corretor ortográfico para o editor textual de sentença funcional <i>do</i> SISFCO (AL) .....	209
7.3.4 Necessidade da implementação do processo de preenchimento autormático de <i>Frame</i> no SISFCO (AL) .....	209
7.3.5 Necessidades da implementação do processo de racioncínio funcional no SISFCO (AL)....	210
7.3.6 Evolução do SISFCO (AL) para as camadas metodológicas de subsistemas (submontagens) e produto .....	210
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>211</b>
<b>GLOSSÁRIO DOS CONCEITOS UTILIZADOS E/OU PRODUZIDOS NA TESE.....</b>	<b>119</b>
<b>APÊNDICE A – AUTÔMATO DE ESTADO FINITO .....</b>	<b>227</b>
<b>APÊNDICE B – <i>FRAME</i> .....</b>	<b>231</b>
<b>APÊNDICE C – SGBDOO <i>DB4OBJECT</i> .....</b>	<b>235</b>
<b>APÊNDICE D – PUBLICAÇÕES DECORRENTES DO TRABALHO DE PESQUISA.....</b>	<b>239</b>

## **CAPÍTULO 2 - CONHECIMENTO FUNCIONAL NAS METODOLOGIAS DE PROJETO**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

As metodologias de projeto estabelecem uma forma de organizar um conjunto de procedimentos e recursos na resolução de determinados tipos de problemas de projeto. A condução passo a passo do processo de projeto e a maneira como o conjunto disponível de recursos do projeto é utilizada é o que possibilita a manutenção e a resolução dos problemas de projeto. Para Roozenburg e Eekels (1995), essa forma de conduzir o processo de projeto pode ser entendida como um processo mental orientado pela: (i) análise do problema de projeto; (ii) maneira como os objetivos são definidos e ajustados; (iii) propostas de solução que são desenvolvidas; (iv) forma como cada solução é mensurada qualitativamente. Segundo Back (1983), a metodologia de projeto é percebida como “*uma atividade orientada para o atendimento das necessidades humanas, principalmente aquelas que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos de nossa cultura*”.

Para Hubka e Eder (1988), a necessidade da racionalização, ou sistematização, do processo de projeto por meio das metodologias de projeto é para cumprir a tríade da maximização da qualidade, otimização dos custos e minimização do tempo de produção. O cumprimento dessa tríade envolve a:

(a) Pesquisa, avaliação e manutenção das informações sobre as tomadas de decisões realizadas das (entre as) soluções candidatas nos seus vários níveis de abstração;

(b) Organização do conhecimento relacionado aos objetos de projeto, princípios disponíveis de operação, inter-relacionamento com outras disciplinas e compreensão das causas das falhas ocorridas;

(c) Armazenamento para reuso de conhecimento, informações ou dados em algum meio como, por exemplo, arquivo de texto, tabelas ou banco de dados;

(d) Avaliação da solução proposta, do produto projetado, antes de produzi-lo, de forma que as possíveis faltas possam ser evitadas;

(e) Realização de auditorias do trabalho dos projetistas para validar os modelos, verificar os dados (entradas e saídas) e conferir o processo de desenvolvimento e informações produzidas – com respeito a todas as propriedades e especificações aceitas pelo projeto.

Contudo, as metodologias de projeto não provêm uma solução direta para o problema

de projeto, pois não há como substituir os projetistas de talento e nem fornecer um conjunto de instruções capaz de produzir um projeto brilhante. Por isso, os problemas de projeto têm demandado por ferramentas de suporte que possibilite o armazenamento, recuperação e alteração, para reuso, de informações funcionais incluídas nas descrições textuais de função em linguagem natural<sup>1</sup>. Tais ferramentas de suporte são necessárias para a organização e gerenciamento dos conhecimentos produzidos pelas indústrias, afinal esse é um patrimônio intangível e, muitas vezes, o mais valioso em produção.

O desenvolvimento de ferramentas de suporte para organizar e gerenciar o conhecimento funcional gerado na solução de problemas de projeto com o uso de metodologias de projeto de produto e peça requer o entendimento do processo de transformação e evolução do fluxo das informações funcionais e do próprio conceito de função.

Neste Capítulo, estudam-se os processos de transformação e evolução do fluxo das informações funcionais nas principais metodologias de projeto de produto e peça. Em particular, esta tese centra-se nas propostas dos processos de transformação e evolução das informações funcionais nas primeiras etapas das metodologias de projeto de produto. Desta forma, analisam-se os trabalhos de pesquisa, derivados da proposta metodológica de Pahl e Beitz (1988, 1996), que são representativos dos processos de transformação/evolução do conhecimento funcional como, e.g.: (i) Fiod Neto (1993), que propôs uma maneira de organizar as informações funcionais em estruturas de funções, mas a partir do suporte de um dicionário de verbos funcionais; (ii) Ogliari (1999), que propôs métodos computacionais dedicados para integrar as informações funcionais das especificações de projeto à modelagem funcional de componentes injetados; (iii) Fonseca (2000), que propôs a sistematização das informações funcionais na etapa do projeto informacional de produto. Também, analisam-se os métodos e tecnologias utilizadas para capturar as informações funcionais essenciais do: (i) problema de projeto; (ii) conhecimento funcional de propriedade dos projetistas.

Nas metodologias de projeto de peça, deste capítulo, analisam-se as tendências das etapas do projeto de peça, em relação ao uso das *abordagens funcional e/ou comportamental*, de: (i) Ullman (1992), que propôs nove etapas para o projeto de componente; (ii) Rosa et al. (1995), e Linhares (2000), que utilizaram os conceitos de multimodelagem, projeto funcional e conceitual para a etapa de projeto conceitual de peça objetivando capturar as informações funcionais; (iii) Roy e Bharadway (2002), que utilizaram o conceito de comportamento para

---

<sup>1</sup> Os termos ‘descrições textuais de função em linguagem natural’, ‘sentença funcional’, ‘funcionalidade’ e ‘função’, nesta tese, são considerados termos sinônimos. O termo ‘descrição textual de função em linguagem natural’ é utilizado quando se deseja enfatizar o uso da *escrita em linguagem natural*.

tratar as especificações de projeto de produto na etapa do projeto preliminar de peça.

Também, neste capítulo, analisam-se as definições de função derivadas dos principais modelos de representação de conhecimento funcional aplicados ao projeto conceitual de produto e peça. Esta análise tem como meta compreender como a definição de função, nos principais modelos de representação de conhecimento, organiza os vários tipos de informações funcionais. O objetivo deste capítulo é organizar um conjunto de conhecimento relacionado à etapa do projeto conceitual de produto e peça que possibilite a compreensão das inter-relações entre os: (i) esquemas clássicos de representação de conhecimento funcional; (ii) várias formas de se descrever textualmente função em linguagem natural; (iii) diferentes conceitos de comportamento; (iv) estruturas.

O conjunto de conhecimento relacionado à sentença funcional, comportamento e estrutura é organizado a partir dos trabalhos dos principais pesquisadores na área de inteligência artificial como, e.g., Chandrasekaran, Goel e Iwasaki (1993), Umeda et al. (1990), Takeda, Tomiyama e Shimomura (1994b), Kitamura, Ikeda e Mizoguchi (1996, 1997), Kitamura et al. (1998), Chandrasekaran e Josephson (2000) e Kitamura e Mizoguchi (1998, 1999, 2003).

Nesta tese, entende-se que o conceito de propósito funcional de Keuneke (1991) é de extrema importância para a compreensão e formalização da definição de intenção de projeto. Nesse sentido, a definição de propósito funcional é chave na definição e formalização de conhecimento funcional, bem como a inter-relação entre conhecimento funcional, comportamento, função e estrutura.

## **2.2 METODOLOGIAS DE PROJETO DE PRODUTO**

O processo de desenvolvimento de produto é dividido em três grandes fases: (i) macrofase de planejamento do produto; (ii) macrofase de projeção do produto; (iii) macrofase de implementação do produto (cf. Figura 2-1). Na Figura 2-1, a macrofase de planejamento inclui atividades de elaboração de um plano do projeto necessário à execução e controle do processo de projeto de produto. O processo de execução de um projeto exige a coordenação de todos os profissionais envolvidos no processo de projeto de produto e de outros recursos para levar a cabo o plano do projeto do produto. No processo de controle, realiza-se o acompanhamento do processo de execução, segundo as metas traçadas durante o planejamento do projeto. Esse processo de controle permite o monitoramento do andamento de cada etapa do planejamento do projeto.

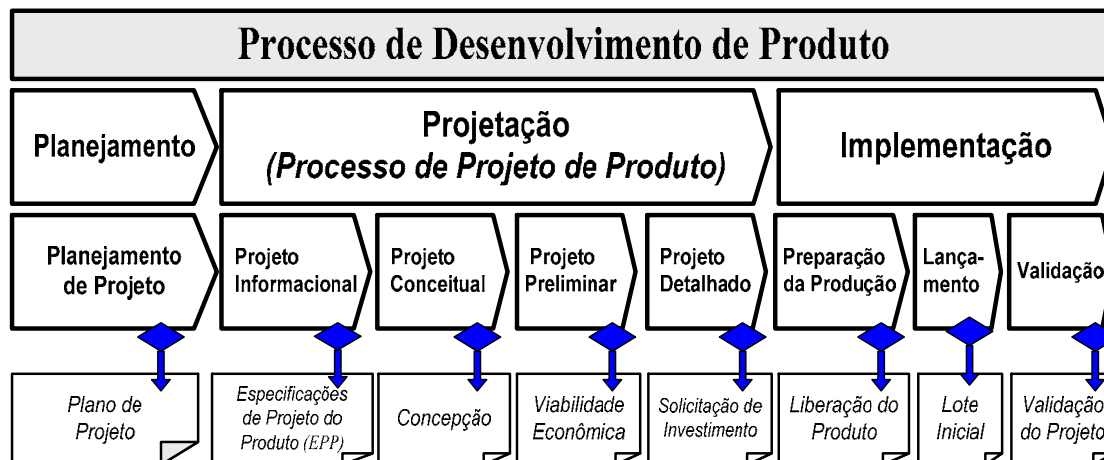


Figura 2-1: Esquema do processo de desenvolvimento de produto com as suas principais macrofases (ROMANO, 2003)

A macrofase de implementação trata do planejamento do processo de projeto do produto. A documentação detalhada do produto e processo de manufatura deve ser realizada por meio de providências concretas, ou seja, pela preparação da produção com a liberação do produto, lançamento do novo produto no mercado a partir do lote inicial e validação do projeto (ROMANO, 2003).

Em relação as três macrofases do processo de desenvolvimento de produto, este trabalho de pesquisa centra-se na macrofase de projetação, ou processo de projeto de produto. Nessa macrofase, apesar de haver várias propostas de metodologia de projeto de produto (e.g., as propostas de BACK, 1983; PAHL; BEITZ, 1988, 1996; HUBKA; EDER, 1988; ULLMAN, 1992), *as propostas são bastante similares (...), por apresentarem elementos similares. Ocorrendo diferenças, normalmente, na terminologia empregada pelos seus autores e no detalhamento dos processos de projeto* (OGLIARI, 1999). Por esse motivo, nesta tese, a macrofase de projetação orienta-se pelo modelo de consenso proposto por Back e Ogliari (2000), com suas quatro etapas: (i) projeto informacional; (ii) projeto conceitual; (iii) projeto preliminar; (iv) projeto detalhado (cf. Figura 2-1).

### 2.2.1 Classificação das metodologias de projeto de produto

De acordo com Yoshikawa (1989 apud OGLIARI, 1999), as metodologias de projeto podem ser classificadas em várias escolas, tais como: (i) semântica; (ii) sintática; (iii) historicista; (iv) psicológica; (v) filosófica; (vi) prescritiva; (vi) descritiva; (vii) computacional. *As escolas semântica e sintática são complementares; a primeira lida com*

*os objetos de projeto, enquanto a segunda com o processo de projeto. As escolas historicista e psicológica são originadas de críticas às metodologias de projeto. Na escola historicista, as habilidades de projeto devem ser desenvolvidas a partir da história de casos em projeto ou de sua prática, enquanto as escolas psicológica e filosófica reportam-se à psicologia da criatividade na engenharia e aos estudos do processo de pensamento humano no projeto, respectivamente (OGLIARI, 1999).*

Destacam-se, destas escolas, as metodologias prescritiva, descritiva e computacional. A metodologia prescritiva é caracterizada pelo conhecimento sobre as atividades técnicas do processo de projeto e das suas questões operacionais, isto é, elas se orientam pelo fluxo da atividade de projeto. Por causa do foco no comportamento seqüencial das atividades procedurais, essa metodologia é denominada de normativa, ou também chamada de modelo de fases (ROOZENBURG; EEKELS, 1995). Alguns exemplos de metodologias de projeto inseridos nesta categoria e catalogados por Ogliari (1999) são os trabalhos de Asimow, Pahl e Beitz, Hubka, French, Pugh, dentre outros. Além das normas alemãs como a VDI 2221 e inglesas, BS 7000.

A metodologia descritiva é caracterizada pelo *conhecimento tácito* (ver Glossário) dos projetistas sobre os objetos de projeto ou processo de projeto, do sistema real (HUBKA; EDER, 1996), i.é, são baseadas em modelos empíricos do mundo real do domínio de projeto. Por causa do foco empírico há a necessidade da presença dos objetos reais, e da descrição real, e não por suposição, da seqüência das atividades experimentadas durante o processo de projeto pelos projetistas. O principal objetivo dessa metodologia é detectar e modelar os possíveis padrões de comportamentos dos objetos de projeto empregados durante o seqüencialmente das atividades do processo de projeto de produto e peça.

As metodologias computacionais utilizam procedimentos através de alguma linguagem de programação e modelo de representação. Por exemplo, desenvolvem-se modelos que possibilitam aos computadores realizarem determinadas tarefas de projeto. Nesse sentido, o modelo de representação dos procedimentos de tarefa do projeto precisa necessariamente de uma estrutura para descrever as características e os inter-relacionamentos dos objetos ligados à atividade de projeto, bem como de metodologias de aquisição de conhecimento, informação ou dados relacionados aquelas características e inter-relacionamentos. Exemplos do uso das metodologias computacionais nas:

(a) Etapas do projeto informacional e conceitual das metodologias de projeto de produto são os sistemas de informação (LIMA, 2002) e os sistema baseados em conhecimento (BHATTA; GOEL, 1992; CHAKRABARTI, 2002; SANTOS, 2002);

(b) Etapas do projeto preliminar e detalhado das metodologias de projeto de produto são os sistemas CAD, sistemas baseados em gramática de formas (*shape grammars*) (FINGER; DIXON, 1989) e sistemas baseados em dicionários de *features* (MUKHERJEE; LIU, 1997; PRABHU; BISWAS; PANDE, 2001).

### 2.2.2 Conhecimento funcional nas metodologias de projeto de produto

Nesta dimensão das metodologias de projeto de produto, esta tese situa-se na metodologia descritiva, pois há a necessidade da compreender como o *conhecimento funcional idiossincrático* (ver Glossário) dos projetistas e o conhecimento sobre o problema de projeto são transformados e inter-relacionados, principalmente, nas primeiras etapas das metodologias de projeto de produto.

O enfoque nas primeiras etapas das metodologias de projeto deve-se a observação enfatiza por Ullman et al. (1990), de que os sistemas CAD concentram-se muito mais em suportar o desenho (“**D**” – *DRAFTING*) em si, do que apoiar as necessidades de projeto (“**D**” – *DESIGN*). A observação de Ullman et al. (1990) sugere uma dicotomia nas metodologias de projeto de produto: (i) etapas iniciais voltadas para o tratamento do conhecimento funcional, das informações funcionais ou informações não-geométricas; (ii) etapas finais voltadas para questões das informações não-funcionais ou informações geométricas, dos esboços e desenhos finais do produto.

#### 1ª Etapa: Projeto Informacional

A etapa do projeto informacional começa depois que o plano de projeto for expedido com as informações referentes à ordem de projeto, tais como: objetivos; metas; restrições; desejos explícitos e descrição do problema de projeto. Tal conhecimento, que é genérico e qualitativo, é constituído pelo conjunto de informações sobre o: (i) produto no mercado; (ii) necessidades dos clientes ou organizações relacionadas direta ou indiretamente com o projeto ou produto em questão.

Uma proposta de sistematização do conhecimento sobre o problema de projeto, seguindo as diretrizes da metodologia de projeto de Pahl e Beitz (1988, 1996) para esta etapa, foi desenvolvida e denominada por Fonseca (2000) de projeto informacional. Para Pahl e Beitz, uma questão chave nesta primeira etapa é que a lista de requisitos funcionais, as especificações de projeto do produto, deve ser técnica e economicamente atingível.

A meta do processo de sistematização proposto por Fonseca (2000) é possibilitar a

transformação/evolução do conhecimento sobre o problema de projeto a partir das seguintes categorias de informações: (i) necessidades dos consumidores; (ii) requisitos dos usuários; (iii) requisitos de projeto; (iv) especificações de projeto de produto, (EPP) – como ilustrado na Figura 2-2.



Figura 2-2: Etapas da seqüência do processo de transformação do conhecimento sobre o problema de projeto na etapa do projeto informacional (FONSECA, 2000)

Na Figura 2-2, tem-se uma ilustração do processo de transformação do conhecimento sobre o problema de projeto que consiste em um desdobramento das: (i) necessidades dos consumidores na entrada em requisitos de usuário, assim, os requisitos de usuário são uma tradução da *linguagem natural* das necessidades dos consumidores em *linguagem de projeto*; (ii) requisitos de usuário em requisitos de projeto, assim, os requisitos de projeto são uma tradução da *linguagem de projeto* em *linguagem técnica*; (iii) requisitos de projeto em especificações de projeto, assim, as especificações de projeto seriam uma especialização, ou refinamento, da linguagem técnica. Na Tabela 2-1 ilustram-se as quatro categorias de informações relevantes na fase de projeto informacional.

Tabela 2-1 – Categorias das informações na etapa de projeto informacional (FONSECA, 2000)

<b>Categoria de informação</b>	<b>Significado</b>
Necessidades dos consumidores	Declarações textuais obtidas diretamente dos consumidores
Requisitos de usuário	Necessidades transformadas em linguagem de projeto
Requisitos de projeto	Requisitos mensuráveis e aceitos para o projeto
Especificações de projeto	Características de projeto e/ou do produto

Na Tabela 2-1, a determinação de cada uma das quatro categorias depende do conhecimento funcional idiossincrático dos projetistas e de como eles inter-relacionam este conhecimento com as informações sobre as necessidades dos consumidores. Por exemplo, na matriz de levantamento das necessidades os projetistas precisam correlacionar as informações das necessidades dos consumidores com a relação *ciclo de vida do produto* (e.g., uso, montagem, transporte, função) e *atributos básicos do produto* (e.g., funcionamento, segurança, confiabilidade, modularidade) – como mostrado na Figura 2-3.



Atributos básicos do produto						
Ciclo de Vida	Funcionamento	Ergonomia	Estética	Econômico	Normalização	Modular
Produção		Ter fácil soldagem				
Montagem		Ter facilitada a montagem				
Transporte				Ter facilidade de transporte		
Armazenagem				Ter facilidade de armazenagem		
Função	Ter porta-material; Ter mesa c/ porta-material		Ter cor agradável	Ter estrutura leve		Estrutura modular e resistente
Uso	Ter mesa mais larga; Ter mesa inclinada; Ter encosto maior	Ter ergonômica, Não seja dura, Não ter ressalto				
Mantenção				Ter facilidade de manutenção	Ter uniões normalizadas	

Ser pintada sem desperdício

Ter mínimo tempo de produção

Ter custo mínimo de produção

Figura 2-3: Matriz de levantamento de requisitos de usuário (FONSECA, 2000)

A matriz das necessidades, mostrada na Figura 2-3, é constituída por: (i) linhas que representam as fases do ciclo de vida do produto; (ii) colunas que representam os atributos básicos do produto (FONSECA, 2000). Os requisitos de usuário são obtidos a partir do estabelecimento das necessidades de projeto dadas pela intersecção entre as etapas do ciclo de vida do produto *versus* os atributos básicos do produto.

Para converter os requisitos de usuário em requisitos de projeto utiliza-se a matriz de apoio à conversão de requisitos de usuário em requisitos de projeto, mostrada na Figura 2-4.

Atributos específicos do produto											
Requisitos de usuário	Geométricos	Material	Cor	Peso ou massa	Forças	Cinemática	Energia	Fluxo	Sinais	Estabilidade	Qualidade
Ter fácil soldagem	Reduzir juntas complexas										
Ser pintada sem desperdícios	Usar peças similares										
Ter mino tempo de produção	Elementos normalizados										
Ter mínimo custo de produção	Mínimo de peças										
Ter facilitada a montagem	Reduzir juntas complexas										
Ter facilitado o transporte	Formas encaixáveis										
Ter facilitada a armazenagem	Formas empilháveis										
Ter porta-material na cadeira e na mesa	Usar a estrutura para o porta-material										
Ter cor agradável		Madeira e tubo de aço	Evitar cores vivas								
Ter estrutura leve	Estrutura modular simples										
Ter estrutura modular e resistente	Decidir secções dos tubos										
Ter mesa e encosto maiores	Incrementar as áreas de mesa e encosto										

Figura 2-4: Matriz de apoio à conversão dos requisitos de usuário em requisitos de projeto (FONSECA, 2000)

A matriz de apoio à obtenção dos requisitos de projeto, mostrada na Figura 2-4, é constituída por: (i) linhas que representam os requisitos de usuários (gerados na matriz de apoio ao levantamento das necessidades da cadeira escolar); (ii) colunas que representam os atributos específicos do produto (FONSECA, 2000). Os requisitos de projeto mensuráveis que satisfazem os requisitos de usuário são obtidos a partir das tomadas de decisões dos projetistas derivadas da intersecção entre os requisitos de usuário *versus* os atributos específicos do produto.

A determinação das especificações de projeto, pelo uso da “casa da qualidade”, é decorrente da avaliação e hierarquização dos requisitos de projeto, mas a partir das relações entre as duas categorias de requisitos obtidas anteriormente: (i) requisitos de projeto; (ii) requisitos de usuário – como ilustrado na Figura 2-5. Deve-se lembrar, que a Casa da Qualidade (CHENG et al.1995; OHFUJI; ONO; AKAO, 1997) só auxilia os projetistas na conversão da informação qualitativa em quantitativa, mas sem estabelecer metas numéricas.

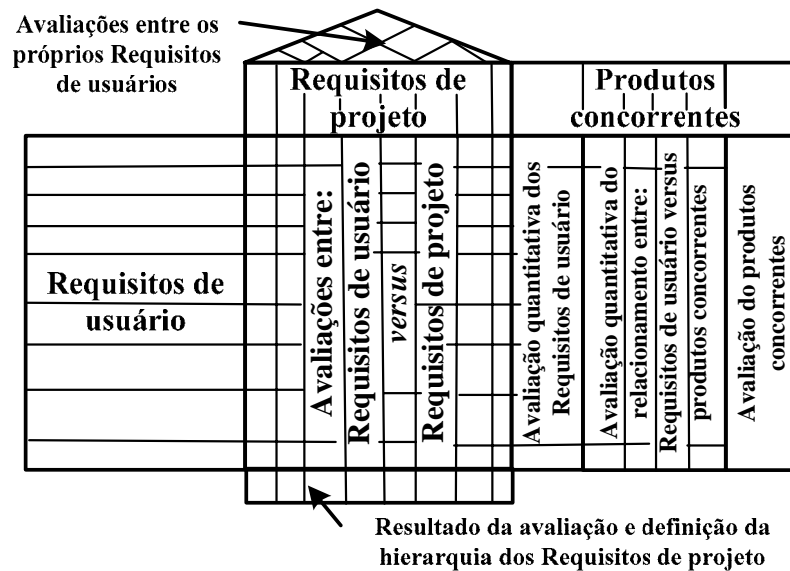


Figura 2-5: Casa da qualidade para obtenção das especificações de projeto (FONSECA, 2000)

Em síntese, Fonseca (2000) recomenda o preenchimento dos campos da casa da qualidade da seguinte maneira. Preencher as: (i) linhas dos requisitos de usuário segundo a classificação da sua fase no ciclo de vida do produto; (ii) coluna da avaliação quantitativa de cada requisito de usuário segundo sua importância, e.g., numa escala de 0 a 100; (iii) as colunas dos requisitos de projeto obtidos com a matriz de apoio à obtenção dos requisitos de projeto, citada anteriormente; (iv) colunas dos produtos concorrentes; (v) campos do telhado

da casa da qualidade com as avaliações obtidas com os próprios requisitos de projeto. Segundo Fonseca, essas avaliações podem ser do tipo: (a) “quando se incrementa um deles o outro também se incrementa”; (b) “quando se incrementa um deles o outro diminui”; (c) utilizar escala de relacionamento associada a um peso de forte relacionamento a ser situado no ponto de intersecção entre os requisitos na matriz principal; (d) análogo, porém, com um peso de relacionamento fraco. Nesse sentido, *um relacionamento forte corresponde uma avaliação máxima, recomendando-se somente para aqueles relacionamentos que não deixem nenhuma dúvida de sua relação causal ou de seu evidente relacionamento forte ou fraco* (FONSECA, 2000). A matriz principal é resultante das avaliações entre os requisitos de usuário *versus* requisitos de projeto, e.g., numa escala quantitativa de 0, 1, 3 e 5.

Nas colunas das avaliações dos produtos concorrentes é denominado de matriz secundária da casa da qualidade. Fonseca sugere *um algoritmo que incorpore o critério da avaliação dos concorrentes na hierarquização dos requisitos de projeto, possibilitando obter, assim, duas hierarquizações adicionais*. O resultado das avaliações do algoritmo sugerido por Fonseca (2000) denomina-se a coluna da avaliação dos produtos concorrentes. As avaliações dos produtos concorrentes, nos sistemas computacionais que simulam a casa da qualidade, geralmente, são mostradas na forma de grafos.

*Finalmente, as especificações de projeto são resultantes do preenchimento das avaliações e definições das hierarquias dos requisitos de projeto, sempre baseadas nas avaliações da matriz principal (com ou sem as avaliações do teto da casa da qualidade e, com ou sem as avaliações contidas na matriz secundária)* (FONSECA, 2000). Para Fonseca, as especificações de projeto devem conter, em cada especificação, os alvos a serem atingidos (dimensionais), de maneira que se constituam no guia de trabalho para as outras etapas subsequentes; devem conter, adicionalmente, os objetivos e as restrições, se estas existirem.

## **2ª Etapa: Projeto conceitual**

Para Pahl e Beitz (1988, 1996), a definição do problema de projeto do produto (os alvos a serem atingidos) deve ser baseada no processo de abstração, i.é, ignorar o que é particular ou casual e enfatizar o que é geral e essencial. Para os autores, os alvos a serem atingidos precisam estar em um plano neutro. Essa neutralidade é para evitar a influência da fixação de conceitos específicos, preconceituosos, convencionais ou simplistas. Por isso, os autores salientam que é necessário ignorar o que é particular ou incidental e enfatizar o que é geral e essencial. Em seguida, a etapa do projeto conceitual passa a ser um *processo de análise e*

*síntese* para atender as especificações de projeto de produto (lista de requisitos) e as funcionalidades que o produto deve ter.

Em relação à atividade de análise, Hall (1968 apud NORBERT; ROOZENBURG, 2001) diverge das correntes que acreditam na associação dessa primeira atividade da etapa do projeto conceitual com a própria análise do problema de projeto. Ele condiciona a etapa de análise, do projeto conceitual, à dedução do conjunto de decisões alternativas e ações. As deduções, e.g., podem relacionar a qualidade, mercado, confiança, custo, eficiência, qualidade de vida. Porém, segundo Norbert e Roozenburg (2001), ainda hoje a etapa de análise, da etapa do projeto conceitual, é pensada como a: (i) análise do problema de projeto em si; (ii) análise relacionada à dedução das decisões alternativas encontrada e ações direcionadas às metas das especificações de projeto.

Segundo os autores, *não surpreendentemente, na literatura de metodologia de projeto, o termo síntese é também usado no sentido literal de reunir por agrupamento, combinando ou montando as partes em um “novo todo”*. Ainda, para os autores, a etapa de síntese, da fase do projeto conceitual, *refere-se aos modos particulares e métodos específicos para gerar esquemas, princípios de soluções, conceitos e leiautes, i.e., combinando ou montando as representações funcionais e físicas de partes e componentes disponíveis ou concebíveis*.

Na literatura sobre metodologia de projeto, há um consenso de que na etapa do projeto conceitual existem três atividades básicas:

- (1) Atividade de análise, responsável pela elaboração da estrutura de funções: estabelecer estrutura funcional com a função total e subfunções;
- (2) Atividade de síntese, responsável pela combinação de princípios de solução: pesquisar por princípios de solução para realizar as subfunções e combinar princípios de soluções para realizar a função total;
- (3) Atividade de avaliação, responsável pela seleção das combinações de princípios de solução mais adequadas, onde as variantes de concepções sejam consolidadas e avaliadas sob critérios técnicos e econômicos.

A atividade de análise, da etapa do projeto conceitual, inicia-se com a necessidade de se definir a função total ou global do produto. De acordo com Ullman (1992), uma função pode ser descrita em:

**Linguagem semântica**, pelo uso da representação textual (e.g., descrição textual de função em linguagem natural) (grifo nosso) ou verbal do objeto de projeto, e.g., a palavra “parafuso” ou a sentença funcional “Transmitir força do eixo excêntrico para a bucha de ligação”. Para Ullman, o nível da linguagem semântica vai do abstrato para o concreto. No

nível abstrato, a linguagem semântica é mais qualitativa, enquanto no nível concreto ela é referenciada por valores de parâmetros específicos ou componentes;

**Linguagem gráfica**, pelo uso de elementos geométricos para descrever ou representar o objeto de projeto. Inclui todas as formas de desenho em duas ou três dimensões, tais como esboço, vistas ortogonais, em perspectiva. Exemplos de sentenças funcionais escritas em linguagem gráfica são as de Ogliari (1999) ilustradas pelos ícones de projeto na Figura 2-6.

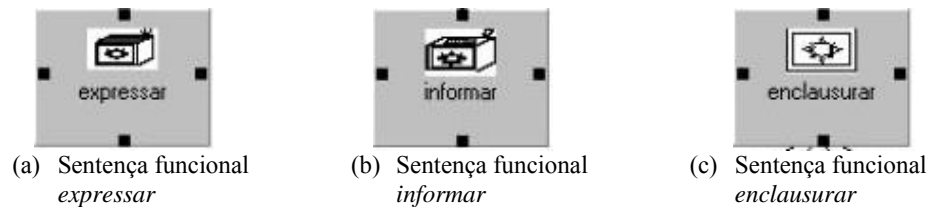


Figura 2-6: Exemplos de uso da linguagem gráfica para as sentenças funcionais: (a) expressar; (b) informar; (c) enclausurar (OGLIARI, 1999)

Para Ogliari (1999), uma função, mesmo escrita em linguagem gráfica, precisa ter a seguinte estrutura:

- Nome:** Corresponde ao verbo que representa a função;
- Símbolo:** Corresponde ao símbolo da função;
- Grandeza de entrada:** Corresponde às grandezas de entrada da função (podem ser múltiplas grandezas de entrada);
- Grandeza de saída:** Corresponde às grandezas de saída da função (podem ser múltiplas grandezas de saída);
- Ícone associados:** Corresponde às parcelas de conhecimento (eventos, procedimentos, fatos, regras, entre outros) associadas a cada função;
- Elementos associados:** Corresponde ao substantivo da função;
- Classes de elementos associados:** Identificador para categorizar a função na matriz morfológica;
- Origem:** Corresponde à natureza da função (derivada, associada, etc);
- Descrição:** Corresponde a uma síntese descritiva sobre a função.

Segundo Ogliari (1999), um ícone de projeto é *uma parcela de conhecimento sobre elementos de dado domínio de aplicação, tais como objetos, processos, agentes, fenômenos, entre outros, na forma de episódio, procedimentos, regras, entre outros tipos de conhecimento, que auxiliam no reconhecimento das relações entre necessidades dos clientes e requisitos de projeto, com as funções do produto.*

**Linguagem analítica**, pelo uso de equações ou fórmulas para representar o objeto de

projeto. Inclui, e.g., as equações de resistência ou performance de partes do produto, equações diferenciais que regem certos comportamentos do produto, matriz de rigidez, dentre outras. Exemplos de sentenças funcionais descritas textualmente pela linguagem analítica são: (a) lei da alavanca, “ $F_a \cdot x = F_b \cdot y$ ”, onde “ $F_a$  e  $F_b$ ” são as forças aplicadas em ambas as extremidades da alavanca e “ $x$  e  $y$ ” são as distâncias das aplicações das forças, respectivamente; (b) lei do atrito de Coulomb, “ $F_R = \mu \cdot F_N$ ”, onde “ $F_R$  e  $F_N$ ” são, respectivamente, as forças: (i) resultante; (ii) normal e “ $\mu$ ” é o coeficiente de atrito.

No processo de análise das especificações de projeto do produto, Pahl e Beitz (1988, 1996), *uma função deve ser definida a partir de relações de entrada/saída entre as grandezas de energia, material e sinal (informação) com o propósito de realizar uma determinada tarefa* – como demonstrado na Figura 2-7. Reitera-se que, nesta tese, os termos “descrição textual de função em linguagem natural”, “função” e “sentença funcional” são termos sinônimos. Ressalta-se, ainda, que quando se utiliza o termo *descrição textual de função em linguagem natural* é para enfatizar a necessidade de um novo olhar sobre essa forma de representação semântica de uma funcionalidade.

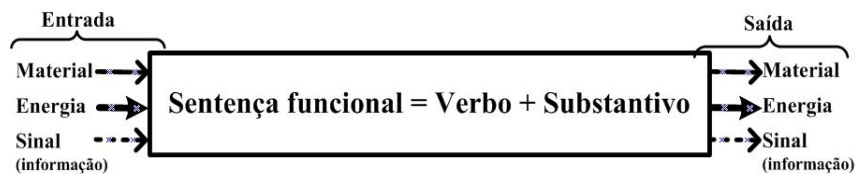


Figura 2-7: Forma clássica de descrever textualmente função em linguagem natural nas metodologias de projeto

Na definição de função de Pahl e Beitz, como mostrado na Figura 2-7, as grandezas de energia, material e sinal (informação) estão embutidas na descrição textual de função em linguagem natural dada por um verbo e substantivo, mas de modo qualitativo. Assim, quando se utiliza a definição de função dos autores, parece obvio que o verbo e substantivo são suficientes para comunicar o processo de transformação do comportamento do fenômeno, ou objeto de projeto, em tela. Porém, essa definição de função não explica como ocorreu a “transformação do comportamento” do fenômeno, ou do objeto de projeto, em questão. Uma consequência dessa forma de representar função é sua dependência de conhecimento funcional (ver Glossário) adicional e exterior (à própria descrição textual de função em linguagem natural dada pelo verbo e substantivo) para explicar a “transformação do comportamento” do fenômeno, ou objeto de projeto, ocorrida quando se utiliza determinado verbo e substantivo.

Algumas dificuldades na atividade de análise funcional com a definição de sentença funcional de Pahl e Beitz (1988, 1996) são mencionadas por: (i) Forcellini (2003) que ratificou a dependência de *conhecimento funcional tácito ou idiossincrático* (ver Glossário) adicional de projetista experiente para explicar a transformação do comportamento dos objetos de projeto; (ii) Chittaro et al. (1993) que perceberam a incapacidade do suporte à formalização do conhecimento funcional incluído em uma descrição textual de função em linguagem natural; (iii) Chakrabarti e Bligh (2001) que verificaram a incapacidade do auxílio ao conhecimento teleológico (ver Glossário) que é incluído na descrição textual de função em linguagem natural e que ficou conhecido na literatura sobre metodologia de projeto como intenção de projeto (*Design intention*); (iv) Chakrabarti e Bligh (2001) que observaram a falta de reuso de informação funcional que é incluída na descrição textual de função em linguagem natural apesar de Pahl e Beitz (1988, 1996) fornecerem várias orientações de uso da definição de sentença funcional. Por exemplo, Pahl e Beitz fornecem um esquema de: (a) representação de conhecimento funcional baseado no uso de verbos e substantivos; (b) classificação de verbo baseado na função de uso geral (a partir da relação verbo/características da relação entrada/saída): converter/tipo de conversão; alterar/magnitude; interligar/quantidade; conduzir/local; armazenar/tempo de armazenamento.

A segunda atividade, da etapa do projeto conceitual, não se realiza sem a primeira, i.é, a atividade de síntese envolve o processo de análise e síntese funcional para o desenvolvimento da estrutura de funções do produto. Pahl e Beitz (1993 apud FORCELLINI, 2003), propuseram um *método da função síntese*, composto de cinco procedimentos, para a determinação da estrutura de sentenças funcionais de um produto, assim, resumidos:

**Procedimento 1:** Formular a função global do produto a partir das especificações de projeto;

**Procedimento 2:** Estabelecer uma estrutura ou um fluxo de funções do problema ou processo.

Na determinação da árvore de funções do produto, as funções complexas devem ser decompostas sucessivamente em funções mais simples. De acordo com Pahl e Beitz (1996), uma função complexa é uma “*falta de transparência relativa da relação dos fluxos da conversão entre entrada/saída*”.

Nesta etapa do projeto conceitual do produto, pode-se citar algumas importantes contribuições de pesquisas desenvolvidas no Curso de Pós-Graduação de Engenharia

Mecânica da UFSC à metodologia de projeto de produto:

(1) Proposta da síntese de funções alternativas viáveis de Fiod Neto (1993). Fiod Neto propôs um Sistema Auxiliado por Computador para o Desenvolvimento de Produtos Indústrias (denominado de SADEPRO) como suporte à obtenção de concepções de solução de projeto de produto.

Para Fiod Neto (1993), depois de se abstrair a função global do produto das especificações de projeto, deve-se determinar a estrutura de funções de produto a partir da organização das *funções parciais integradas* através do suporte de um *dicionário de verbos técnicos* – baseados nos duzentos e vinte verbos técnicos de Roth (1982). No SADEPRO, inicialmente, as funções elementares já tem soluções pensadas e as funções parciais integradas já tem associadas um conjunto de funções elementares alternativas, com seus, respectivos, princípio de solução.

Fiod Neto (1993) utiliza o método da matriz morfológica (ver Glossário) para realizar a síntese da função parcial. Assim, com a matriz morfológica os princípios de soluções encontrados para as funções elementares de cada função parcial integrada são selecionados e agrupados em módulos realizáveis (i.é, em módulos exeqüíveis). Assim, seleciona-se para cada função elementar um único efeito, portador de efeito e princípio de solução para realizar a função parcial enfocada. A validação da seleção das funções elementares que realizam a função parcial integrada depende da: (i) verificação da *análise de compatibilidade* entre as soluções funcionais concebidas (o conjunto de funções elementares); (ii) se as soluções funcionais escolhidas estão de acordo com a lista de requisitos (especificações de projeto).

O procedimento descrito é recorrente para qualquer outra função parcial integrada estabelecida para a árvore de funcionalidades do produto em questão. Ao final cada solução conceitual alternativa para o produto, a partir da função global, o método da síntese das funções parciais é aplicado a função global do produto para se verificar a: (i) coerência das soluções conceituais parciais componentes para cada uma das concepções sistematizadas para a função global; (ii) satisfação da lista de requisitos para o produto.

A análise de compatibilidade baseou-se nas operações de variações de Roth (1982) e álgebra de conceitos de Koller (1985), cujo objetivo era gerar funções genéricas alternativas com princípios de solução diferentes para um mesmo efeito – todos pré-definidos. O núcleo da análise de compatibilidade era o verbo. Fiod Neto utilizou o conceito de função de Pahl e Beitz (1988, 1996) (“sentença funcional = Verbo técnico + Predicado”) e sugeriu a necessidade de um catálogo de efeito físico, químico ou biológico com funcionalidades de seleção e integração de efeitos – como mostrado na Tabela 2-2.



Tabela 2-2: Exemplo de um conjunto de variantes da estrutura de funções elementares de uma função parcial integrada (FIOD NETO, 1993)

**FUNÇÃO PARCIAL INTEGRADA**

<i>Função Elementar “1”</i> (Descrição)	<i>Efeito 1</i> (descrição)	<i>Portador de Efeito 1</i> (descrição)	<i>Princípio de Solução 1 - (descrição)</i>
		<i>Portador de Efeito 2</i> (descrição)	<i>Princípio de Solução 2 - (descrição)</i>
	■ ■ ■		
	<i>Efeito n</i> (descrição)	<i>Portador de Efeito 1</i> (descrição)	<i>Portador de Efeito 1 - (descrição)</i>

<i>Função Elementar “n”</i> (Descrição)	<i>Efeito 1</i> (descrição)	<i>Portador de Efeito 1</i> (descrição)	<i>Princípio de Solução 1 - (descrição)</i>
		<i>Portador de Efeito 2</i> (descrição)	<i>Princípio de Solução 2 - (descrição)</i>
	■ ■ ■		
	<i>Efeito n</i> (descrição)	<i>Portador de Efeito 1</i> (descrição)	<i>Portador de Efeito 1 - (descrição)</i>

(2) Proposta de sistematização do processo de concepção de produtos por meio de métodos dedicados aos principais problemas caracterizados nas fases iniciais do processo de projeto de produto. Ogliari (1999) desenvolve e implementa computacionalmente diversas ferramentas de auxílio ao projeto de componentes injetados, desde o estabelecimento das necessidades de projeto até a avaliação de concepções alternativas para o componente: (i) questionário estruturado; (ii) casa da qualidade; (iii) síntese de funções; (iv) matriz morfológica; (v) valoração para seleção da concepção final do produto (cf. na Tabela 2-3).

Tabela 2-3: Proposta de sistematização do processo de concepção de produto (OGLIARI, 1999)

Método de projeto	Processo de projeto	Procedimento de projeto
Questionário estruturado	Determinar as necessidades dos consumidores	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparar questionário;</li> <li>- Aplicar questionários;</li> <li>- Registrar as manifestações dos consumidores;</li> <li>- Traduzir as manifestações dos consumidores em necessidades de projeto.</li> </ul>
Casa da qualidade	Determinar os requisitos de usuário	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisar e valorar as necessidades de projeto;</li> <li>- Traduzir as necessidades em requisitos de projeto;</li> <li>- Relacionar as necessidades e requisitos de projeto;</li> <li>- Correlacionar requisitos de projeto;</li> <li>- Categorizar os requisitos de projeto.</li> </ul>
Síntese de funções	Determinar a árvore de funções do produto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar “ícones de projeto” a partir das necessidades e requisitos de projeto;</li> <li>- Estabelecer as funções do produto associadas aos “ícones de projeto”;</li> <li>- Arranjar a estrutura de funções resultante.</li> </ul>
Matriz morfológica	Determinar as concepções para o produto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Organizar as funções do produto na matriz morfológica;</li> <li>- Pesquisar e/ou desenvolver princípios de soluções para cada função do produto;</li> <li>- Combinar os princípios de solução de cada função e arranjá-la numa concepção alternativa para o produto.</li> </ul>
Valoração	Avaliar as concepções do produto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valorar as qualidades desejadas para o produto;</li> <li>- Valorar cada concepção alternativa do produto;</li> <li>- Categorizar as concepções valoradas.</li> </ul>

Na síntese de funções, uma árvore de funções do produto é estruturada a partir do conceito de “ícone de projeto”, como definido e exemplificado na Figura 2-6, anteriormente. Os ícones de projeto têm por objetivo integrar as informações qualitativas provenientes das especificações de projeto ao processo de modelagem funcional de componentes injetado. Na Figura 2-8, tem-se um exemplo de uma árvore de sentenças funcionais estrutura por ícones de projeto.

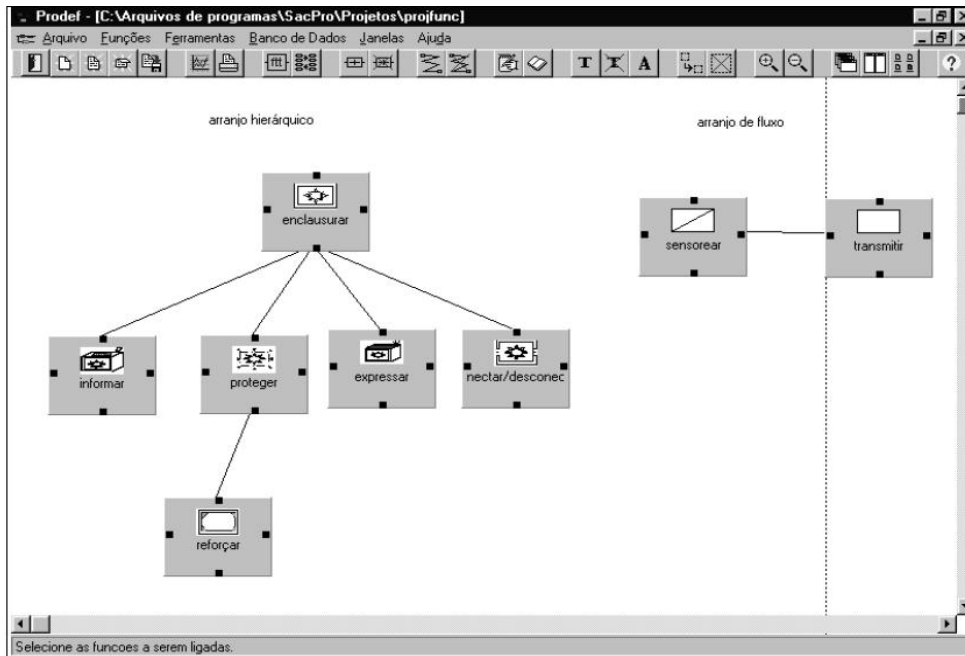


Figura 2-8: Exemplo de uma árvore hierárquica de sentenças funcionais utilizando linguagem gráfica (OGLIARI, 1999)

Para determinar as concepções do produto, Ogliari utiliza a matriz morfologia para organizar as funções e pesquisar/combinar princípios de solução que atendem às funções e permitem comparar e avaliar diferentes alternativas de solução, como ilustrado na Figura 2-9.

Elementos do domínio	Funções do gabinete	Concepções alternativas		
		Concepção 1	Concepção 2	Concepção n
Componentes internos	enclausurar componentes internos 			
	fixar componentes internos 			
Usuários do produto	etc.			
	informar o usuário do produto 	TEXTO 	FORMA 	TEXTO 
Ambiente do produto	vedar contra influências nocivas do ambiente 			
	etc.			
Demais sistema técnicos	combinar com outros produtos 			
	etc.			
Funções especiais	função processo			
	função molde			
	função material			

Figura 2-9: Matriz morfológica para representação das concepções alternativas (OGLIARI, 1999)

**Procedimento 3:** Pesquisar ou criar princípios de solução alternativos para cada uma das funções anteriores.

Para Hansen (1976 apud ROOZENBURG; EEKELS, 1995), *um princípio de solução é uma representação (esquema) idealizada da estrutura de um sistema ou subsistema, na qual as características dos seus elementos e relações são: (i) essenciais para o entendimento do funcionamento do produto; (ii) determinadas qualitativamente. Um princípio de solução, conseqüentemente, é mais do que um efeito físico sobre um portador de efeito físico. Ele já estabelece as características essenciais da forma do produto.*

Os métodos de pesquisa por princípios de solução podem ser divididos em três grupos (PAHL; BEITZ, 1996; BACK; FORCELLINI, 1996; FERREIRA, FORCELLINI; BACK, 1996):

- (1) Métodos convencionais, como, e.g., pesquisa bibliográfica, análise de sistemas naturais, análise de sistemas técnicos existentes, por analogia, medições e testes em modelos;
- (2) Métodos intuitivos, como, e.g., *brainstorming*, 635, Delphi, sinergia, analogia direta, analogia simbólica, combinação de métodos e
- (3) Métodos discursivos, como, e.g., estudo sistemático de sistemas técnicos, estudo sistemático com o uso de esquemas de classificação, usa de catalogo de projeto.

Os métodos têm como meta conduzir a descoberta de combinações adequadas de princípios de solução e são úteis na pesquisa por soluções, não apenas durante a etapa do projeto conceitual, mas também durante o projeto de configuração dos desenhos das geometrias, peças preliminares e produção da documentação da solução de projeto. Os métodos têm, assim, dois objetivos:

- (i) Auxiliar a busca por princípios de solução e
- (ii) Construir um espaço de solução para as subfunções.

Auxiliar a busca por princípios de solução significa pesquisar por efeitos (físicos, químicos ou biológicos) e suas respectivas características geométricas (também chamada de portador de efeito (Ferreira, 1997) para uma (sub)função. Isto exige a correta interpretação do que o projetista quer dizer com a sentença funcional através do "verbo + substantivo" que a descreve. Por exemplo, um efeito físico pode ser descrito quantitativamente por meio de leis físicas que coordenam entre si as grandezas envolvidas tais como o:

- (a) Efeito de atrito segundo a lei do atrito de Coulomb ( $F_R = \mu \cdot F_N$ ), cujos conceitos relevantes são os de coeficiente de atrito ( $\mu$ ) e força normal aplicada às superfícies de contato;
- (b) Efeito alavanca pela lei da alavanca ( $F_a \cdot a = F_b \cdot b$ ), cujos os conceitos relevantes

são os de distância ('a' e 'b') e força normal aplicada às superfícies de contato;

(c) Efeito da dilatação pela lei de dilatação linear dos sólidos ( $\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta\delta$ ), cujos conceitos relevantes são o de coeficiente de dilatação volumétrica ( $\alpha$ ), dimensão linear do sólido ( $l$ ) e variação linear de temperatura ( $\Delta\delta$ ).

Além disso, na busca por um princípio de solução, freqüentemente é difícil distinguir claramente entre o efeito físico e seu portador de efeito físico. A idéia básica por pesquisas de princípios de solução é a geração de um espaço de solução, um conjunto de soluções possíveis para o problema em questão, normalmente apresentadas por diagramas ou esboços à mão livre para produzir princípios de solução variantes para o problema de projeto. No dizer de Pahl e Beitz, um espaço de solução pode ser construído pela variação dos efeitos físicos e do seu portador de efeito. Além disso, para satisfazer uma subfunção particular, vários efeitos físicos podem ser envolvidos em um ou vários portadores de efeito físicos da função.

**Procedimento 4:** Combinar um princípio de solução de cada função da estrutura de funcionalidades, para formar concepções alternativas (variantes) para o problema de projeto como um todo;

No quarto procedimento, os princípios de solução devem permitir uma clara combinação com a ajuda de quantidades físicas associadas e portadores de efeito apropriados. A combinação de vários princípios de solução, ou funcionamento, conduz à estrutura de funcionamento de uma solução. O princípio de solução do produto é determinado pela ação do conjunto dos princípios de solução das subfunções da própria estrutura de funções do produto. Entretanto, o principal problema com tais combinações de princípios de solução é assegurar a sua compatibilidade física e geométrica a serem combinados, assegurando o fluxo de energia, material e sinal (informação). Pahl e Beitz (1996) sugerem a aplicação de três critérios para esse fim:

- (1) Somente combinar subfunções com princípios de solução compatíveis;
- (2) Somente procurar por soluções que atendam a especificidade de projeto e às restrições de custos e
- (3) Concentrar em combinações promissoras estabelecendo as razões de tal preferência.

**Procedimento 5:** Selecionar as concepções viáveis.

No quinto procedimento, o objetivo principal é o de escolher, dentre os conceitos gerados no procedimento anterior, o conceito que melhor satisfaça as expectativas dos projetistas, mas de acordo, quando possível, com as necessidades dos usuários e que será transformado no

produto final. Contudo, a principal dificuldade desenvolvida nesta tarefa encontra-se na principal característica da etapa do projeto conceitual: informações limitadas e abstratas (FORCELLINI, 2003).

Ao final do processo de análise e síntese funcional, a estrutura funcional ótima escolhida e as soluções alternativas possíveis para cada uma de suas subfunções seriam encontradas. Segundo os autores, uma estrutura funcional, ou uma estrutura hierárquica de funções, é um conjunto de funções interligadas por fluxos de energia, material e sinal (informação). Orientados pelo conceito de estrutura de funções, as soluções possíveis são combinadas em soluções conceituais alternativas, que são, então, valoradas e avaliadas e as mais promissoras são finalmente escolhidas para compor a *estrutura hierárquica de funções*.

Como o escopo do trabalho de pesquisa é a primeira tarefa de análise da etapa do projeto conceitual, as etapas subsequentes serão resumidas. Assim, na:

### **3ª Etapa: Projeto de preliminar**

Segundo Pahl e Beitz (1996), nessa etapa da metodologia de projeto, o projetista precisa ir do qualitativo para o quantitativo, do abstrato para o concreto ou também de uma configuração preliminar para uma configuração detalhada com subsequente controle e complementação. Além disso, o projeto precisa ser desenvolvido de acordo com critérios técnicos e econômicos e ele deve ser orientado pelas: (i) funções que os subsistemas e peças precisam realizar, ou pela estrutura funcional total do produto técnico; (ii) conhecimentos funcionais adicionais que o conduz a concretização das soluções de projeto.

Nessa etapa do projeto, o modelo do produto evolui da concepção ao leiaute definitivo. Os autores subdividem esta etapa metodológica em três subetapas: (i) *elaboração de leiautes preliminares e desenhos de formas*; (ii) *elaboração de leiautes detalhados e desenhos de formas*; (iii) *finalização dos leiautes detalhados com verificações*.

### **4ª Etapa: Projeto detalhado**

O projeto detalhado complementa o projeto de configuração. Para Pahl e Beitz (1996), o projeto detalhado é a parte do projeto em que as peças são estruturadas definitivamente através dos dimensionamentos, formas geométricas finais, acabamento superficial, tolerâncias e outras propriedades decorrentes dos inter-relacionamentos funcionais entre as peças e submontagens. Nessa fase, procedimentos normalizados e internos a cada uma das empresas desempenham um importante papel na materialização das estruturas dos componentes do

produto em desenvolvimento, pois dependem de aspectos relacionados à revisão dos custos de material e fabricação, concernentes aos processos de fabricação e ao parque tecnológico da organização industrial.

Para os autores, o ponto central desta fase é a elaboração da documentação para a produção, especialmente dos desenhos de componentes individuais ou para a fabricação, dos desenhos de conjuntos, até onde necessário, e do desenho completo até as listas das peças. Da mesma forma a especificação de material e a viabilidade técnica e econômica deverá ser reavaliados. O modelo do produto é expresso pela documentação completa necessária à produção do produto projetado.

### **2.2.3 Conhecimento funcional nas metodologias de projeto de peça**

Na metodologia de projeto de peça estudam-se e analisam-se as pesquisas voltadas para o processo de transformação e evolução das informações funcionais relacionadas às peças. Sabe-se que a metodologia do projeto de peça começa com as informações vindas das especificações de projeto da etapa do projeto informacional do processo de projeto do produto.

#### **2.2.3.1 Metodologia de projeto de componente de Ullman (1992)**

No processo de projeto do produto, Ullman (1992) parte da idéia do desenvolvimento simultâneo na evolução do produto e inclui, além das informações funcionais da forma geométrica e material, o processo de fabricação e montagem, procedimento chamado de projeto concorrente. Para Ullman, o projeto concorrente é a evolução simultânea do produto e processo de produção. A simultaneidade entre processo do produto e produção, para Ullman, é realizada por com nove passos – como mostrado na Figura 2-10.

Segundo Ullman, o refinamento do conceito do produto requer, também, a simultaneidade, na própria definição de função dos quatro elementos básicos: (i) forma; (ii) material; (iii) manufatura; (iv) montagem. Nesse sentido, a técnica de Ullman é baseada no uso do conhecimento funcional dos conceitos geradores das formas geométricas. Segundo Ullman, a geração das formas geométricas é produzida pela geração do conhecimento das restrições espaciais, propriedades do material, disponibilidade de tecnologia (limitações e capacidade) para produção. Assim, no projeto concorrente, o processo de projeto de componentes (denominado nesta tese de peça) desenvolveu-se em separado, mas simultâneo

ao processo de projeto do produto, como mostrado na Figura 2-10.

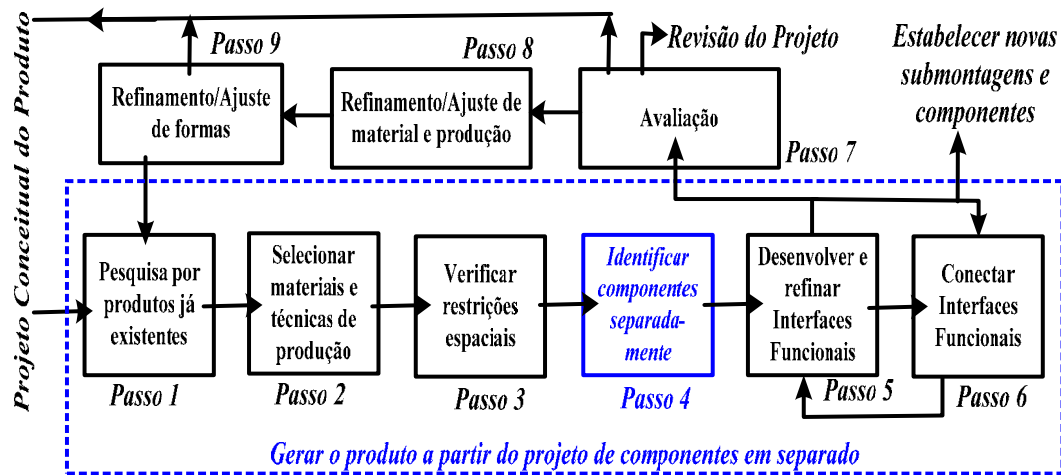


Figura 2-10: Etapas do projeto de produto e produção baseados no projeto de componentes em separado (ULLMAN, 1992)

Na Figura 2-10, no quarto passo do projeto de componentes do produto, Ullman, explicita a dependência de *conhecimento funcional das restrições espaciais* do terceiro passo para gerar as interfaces funcionais definidas no quinto e sexto passos, definidores da geometria dos componentes que configurarão o produto. A necessidade do *conhecimento funcional das restrições de material, forma geométrica e processo de fabricação*, segundo Ullman, são essenciais nos três primeiros passos. No primeiro passo, o *conhecimento sobre produtos existentes, ou concorrentes*, é necessário para apoiar as pesquisas por produtos já existentes. No segundo passo, o *conhecimento funcional sobre as propriedades dos materiais* ajuda na seleção de materiais e técnicas de produção. No terceiro passo, o *conhecimento funcional sobre as restrições espaciais das especificações de projeto* apóia o conhecimento funcional das restrições espaciais. Os passos restantes refinam, ajustam, revisam ou definem novas submontagens, ou componentes, para as interfaces funcionais definidas nos passos anteriores.

Para Ullman, a concepção do produto começa com o próprio conceito do produto, isto é, com uma idéia que pode ser representada na forma de um esboço, com notas, ou por uma abstração que poderia algum dia tornar-se um produto. Essa forma de pensar o produto requer o refinamento dos conceitos funcionais do mesmo a partir da consideração dos requisitos relacionados às formas geométricas, ao material e ao processo de manufatura, isto é, fabricação e montagem. Nesse sentido, o Modelo de Função de Ullman está relacionado aos quatro principais requisitos do produto – como mostrado na Figura 2-11. Na Figura 2-11, observa-se que a função exerce um papel central no mapeamento das restrições relacionadas

ao produto, subsistema e peça, mas de acordo com o conhecimento funcional das relações: (i) função *versus* forma geométrica; (ii) função *versus* material; (iii) função *versus* fabricação; (iv) função *versus* montagem.

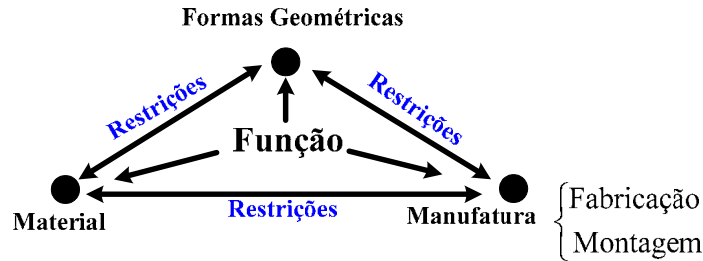


Figura 2-11: Conhecimento funcional baseado nas restrições dos quatro elementos básicos: (i) forma geométrica; (ii) material; (iii) fabricação; (iv) montagem (ULLMAN, 1992)

A definição de função de Ullman (1992) é similar a de Pahl e Beitz (1988, 1996). Assim, para Ullman, a função pode ser descrita em termos do fluxo lógico de energia, material e informação (sinal). Para Ullman, no projeto mecânico, a função define como o comportamento de um ser humano ou de uma máquina seria necessário para realizar os requisitos de projeto. O comportamento justificaria o quê o produto deveria fazer. Nesse sentido, a relação entre função e o fluxo de energia, material e sinal (informação) pode se estabelecer nos seguintes níveis:

(1) Função associada ao fluxo de energia – o fluxo de energia transforma, armazena, transmite, transfere (conduzindo), suprime e dissipa. Segundo Ullman, todas as sentenças funcionais usadas para descrever o fluxo de energia são ações de palavras (verbos) e estas descrições são características de todas as sentenças funcionais.

(2) Função associada ao fluxo de material – são funções associadas com o fluxo de material e podem ser divididas em três tipos principais:

(a) Através do fluxo ou processo de conservação dos materiais – onde o material é manipulado para mudar sua posição ou forma geométrica. Nesse sentido, algumas descrições normalmente associadas com o fluxo de material são: posicionar, levantar, subir, retirar (ação de levantar), pegar ou agarrar (ação de segurar), suportar, movimentar, transladar, rotacionar;

(b) Divergindo o fluxo ou dividindo o material em dois ou mais corpos – ‘os termos que descrevem o fluxo de divergência são: desmontar e separar’;

(c) Transmitindo o fluxo ou montagem ou função de materiais.

(3) Função associada ao fluxo de informação (sinal) – pode ser na forma de sinais: mecânicos, elétricos e *software* – através de interfaces entre homem/máquina para sistemas de



controle automático.

Os papéis dos requisitos no processo de projeto de componentes foram demonstrados em uma experiência empírica de McGinnis e Ullman (1992), denominada de técnica da análise das verbalizações usadas em um processo de projeto de componente. Os papéis dos requisitos nos experimentos surgiram nas declarações verbalizadas pelos projetistas quando inter-relacionavam informações funcionais relevantes sobre/em função do seu conhecimento funcional tácito entre função versus forma geométrica, material ou fabricação e montagem – como mostrado na Figura 2-11.

McGinnis e Ullman utilizaram duas estruturas semânticas para explicar a transformação/evolução do conhecimento funcional incluído em uma funcionalidade, uma para descrever o conhecimento funcional relacionado aos requisitos de projeto e outra para descrever o conhecimento funcional relacionado aos processos causais. Assim, o conhecimento funcional incluído nas descrições textuais de função em linguagem natural era de dois tipos:

(1) *Features* de forma, para expressar o conhecimento funcional relacionado aos conceitos funcionais e operações dos componentes/peças do produto. Em outras palavras, as *features* de forma eram *features* relacionadas com a geometria, topologia e tolerância ao longo do processo de projeto de componente como qualquer outra *feature* usada para descrever a estrutura física do objeto de projeto;

(2) *Features* funcionais, para expressar o conhecimento funcional relacionado aos comportamentos das interações entre as interfaces funcionais das possíveis estruturas topológicas dos componentes do produto. Em outras palavras, as *features* funcionais foram relacionadas à finalidade de uso, ou comportamento (in)desejado, do componente.

McGinnis e Ullman, também, utilizaram a tecnologia de *features* para diferenciar pontos de vistas funcionais dos projetistas. Por exemplo, na etapa do projeto conceitual do componente, uma *feature* furo passante pode ser importante para um projetista de manufatura (se ele se posicionar em relação aos processos de manufatura), mas pode não ser importante para um projetista de controle de qualidade (se ele se posicionar em relação aos padrões de controle de qualidade). Do mesmo modo, algumas formas geométricas ou *features* pela designação de suas funcionalidades comportam-se como *features* funcionais e podem ser críticas para um projetista de projeto, mas pode não ser importante para um projetista de fabricação.

As *features* de forma configuravam as características físicas dos objetos de projeto no processo de projeto de componente. Ao passo que, as *features* funcionais explicavam o

propósito funcional que os objetos de projeto deveriam realizar individualmente e quais os comportamentos que eles deveriam exibir no processo de projeto de componente, mas em relação ao processo de projeto do produto como um todo.

No mapeamento função versus forma durante o processo de projeto de componente, os pesquisadores observaram que os engenheiros projetistas usavam uma estratégia para correlacionar as *features* funcionais com as *features* de forma através de duas estruturas semânticas:

(1) Estruturas semânticas usando declarações textuais valoradas por eles em relação às *features* de projeto e

(2) Estruturas semânticas estabelecendo inter-relações, ou esquemas de transformações, entre as *features* funcionais e de forma e *features* de forma e funcionais.

A análise das sentenças funcionais das duas estruturas semânticas resultou em um sistema de classificação das restrições usadas pelos engenheiros projetistas no mapeamento função versus forma denominada de: (i) restrições dadas pelas especificações do projeto; (ii) restrições introduzidas pelos projetistas a partir das suas experiências em projeto – o conhecimento funcional tácito; (iii) restrições derivadas inferidas do espaço de soluções do processo de projeto do componente e das decisões da equipe de projeto.

As restrições introduzidas pelos projetistas realizam um papel importante na definição de intenção de projeto de Ullman (2003). Nesse sentido, a intenção de projeto aponta para aspectos essenciais do processo de projeto de produto, tais como:

(i) Inter-relacionamento da causa e efeito entre os dados de produto;

(ii) Orientações do propósito ou planejamento de execução de atividades que transformam um conjunto de requisitos em especificações finais para o produto;

(iii) Evolução dos requisitos em especificações finais, não apenas com informações sobre o desenvolvimento de geometria, mas também sobre a evolução da função e comportamento do produto como as razões subseqüentes das decisões de projeto e a influência das atividades organizacionais;

(iv) Esquemas de raciocínio construídos e inferidos sobre as informações armazenadas em banco de dados.

Além disso, a preocupação com o controle da propagação das restrições no processo de projeto levou Ullman (2002) a perceber a necessidade de uma estrutura de representação de conhecimento funcional com capacidade para armazenamento e gerenciamento de informações funcionais. No dizer de Ullman, a “estrutura de representação de conhecimento funcional” tem que ser capaz de:

- (a) Potencializar a explicação, dos “por quês” e “comos” uma decisão de projeto foi tomada;
- (b) Armazenar e gerenciar todos os tipos de informações funcionais e não-funcionais, por exemplo, em um sistema de gerenciamento de banco de dados.

### **2.2.3.2 Abordagem do projeto funcional e conceitual para a etapa do projeto conceitual de peça de Rosa et al. (1995)**

Preocupados com a integração das diferentes visões das atividades envolvidas no processo de desenvolvimento e fabricação de produto, Rosa et al. (1995) aplicaram o conceito de multimodelagem de produto para garantir a possibilidade da análise simultânea das várias visões do produto. Para os autores, multimodelagem é o conjunto dos diferentes modelos gerados e atualizados simultaneamente durante o processo de desenvolvimento do produto, tais como os modelos funcional, geométrico, de custo, de montagem, de simulação, dentre outros. Assim, o desenvolvimento do produto passava a ser definido por um conjunto de modelos interligados por uma base de dados que, concomitantemente, possibilitava a criação e atualização das diferentes visões do produto. Em outras palavras, a base de dados do produto deveria permitir o armazenamento, concomitante, das: (i) informações funcionais; (ii) informações geométricas. Utilizando as mesmas palavras dos autores, o elemento para cumprir esta missão, em nível de peça, deveria ser a tecnologia de *features*, onde uma *feature*, ou detalhe construtivo, corresponde a uma região de material da peça, onde estão agregadas informações derivadas da modelagem, tecnologia, desempenho, custo, dentre outros.

Rosa et al. (1995) ao se voltaram para as metodologias de produto perceberam que não havia uma abordagem ou proposta relacionada à obtenção de soluções em nível de peça e componentes, ou seja, princípios de solução para cada função elementar da estrutura funcional do produto. Por causa da falta de metodologias direcionadas para a pesquisa de princípios de solução para peças, os autores propuseram uma etapa de projeto conceitual de peça e componente composta de duas atividades (cf. Figura 2-12):

- (1) Projeto funcional da peça;
- (2) Projeto conceitual da peça.

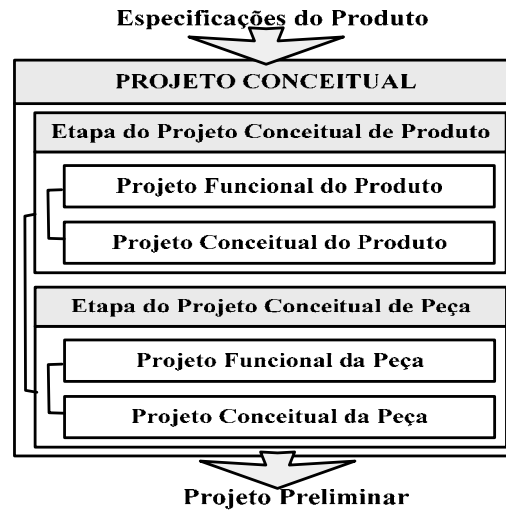


Figura 2–12: Abordagem do projeto funcional e conceitual para a etapa do projeto conceitual de produto e peça (ROSA et al. 1995)

Depois de definidas as especificações de projeto, na etapa do projeto informacional de produto, as próximas etapas são as etapas de projeto conceitual de produto e peça e, em cada etapa, determina-se o projeto funcional e conceitual. Na etapa do projeto funcional do produto, depois de determinada a função global do produto deve-se determinar suas funções parciais e elementares. Esta abordagem *sugere* que as funções parciais e elementares do produto são geradoras dos projetos de grupos de peças e/ou de peças individuais. Segundo os autores, o detalhamento e a própria estrutura funcional do produto, grupos de peças e peças dependem da: (i) experiência dos projetistas; (ii) qualidade das informações funcionais obtidas dos clientes do projeto; (iii) relacionamento entre as funções existentes; (iv) grandezas envolvidas no sistema. Os projetos funcionais do produto, grupos de peça e peça obtidos são fundamentais para a solução do problema de projeto, pois as estruturas funcionais do produto, grupos de peça e peça influenciam nas ações e tomadas de decisões da equipe de projeto, e.g., em relação à satisfação dos possíveis princípios de solução. No projeto conceitual do produto as atividades são voltadas para a busca de princípios de solução para cada função parcial e elementar, que em conjunto satisfará a função global do mesmo, constituída por uma ou mais peças.

Na etapa do projeto conceitual de produto, grupos de peças e peça, como *sugere* a abordagem de Rosa et al (1995), cada peça desempenha uma função dentro do princípio de solução escolhido no projeto conceitual do produto e peça, função essa denominada de função global. No projeto funcional do produto e peça, os autores desdobraram a função global em funções parciais definidas como grupos funcionais e funções elementares definidas como

funções locais. Por exemplo, no projeto conceitual de peça, o objetivo é pesquisar ou desenvolver princípios de solução para cada: (i) subfunção da peça; (ii) grupos funcionais; (iii) funções locais da peça. No exemplo da Figura 2-13, ilustra-se a proposta de subdivisão da estrutura física de uma peça denominada de “eixo da coroa” com seus: (i) grupos funcionais; (ii) funções locais.

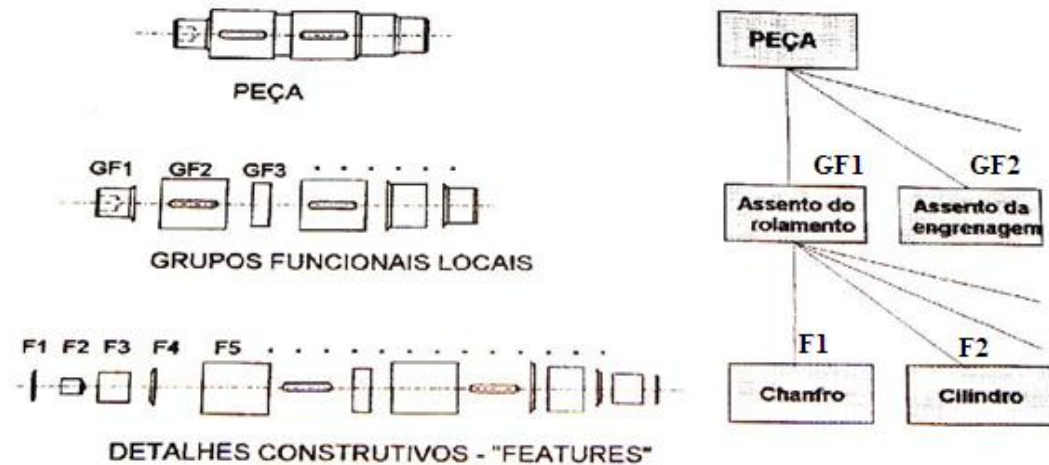


Figura 2-13: Proposta de decomposição funcional da estrutura física da peça “eixo da coroa”, com seus grupos funcionais e detalhes construtivos (ROSA et al. 1995)

A Figura 2-13 apresenta a decomposição da estrutura física da peça em dois outros níveis funcionais, denominadas de grupos funcionais locais e detalhes construtivos baseado em *feature*. Segundo os autores, a forma como os projetistas subdividem a estrutura física da peça depende do ponto de vista funcional e conhecimento funcional tácito adquirido com a experiência em projeto. O ponto de vista e o conhecimento funcional tácito refletem-se diretamente no conjunto e arranjo das funcionalidades pensadas para cada princípio de solução da peça. Assim, as soluções pensadas são realizadas através das *features* representativas dos detalhes construtivos geométricos e não-geométricos da peça, obtendo-se, dessa forma, uma configuração ou concepção da peça.

Para o projeto detalhado da peça, Rosa et al. (1995) iniciam com uma configuração das superfícies funcionais da estrutura física das peças obtidas a partir das funções locais das peças analisadas. Em seguida, as geometrias das peças são obtidas a partir das suas superfícies funcionais. Para isso, os autores propõem o dimensionamento básico da peça a partir de critérios de análise de resistência como, por exemplo, um processo de dimensionamento por *features*.

Ainda em relação às etapas do projeto de peça, uma importante contribuição foi proposta por Linhares (2000) para as etapas do projeto conceitual e preliminar – conforme ilustrado na Figura 2-14. A contribuição de Linhares se dá no sentido da organização estrutural das principais atividades do projeto conceitual de peça, através das atividades de análise e síntese, e projeto preliminar – como mostrado na Figura 2-14. A exemplo de Rosa et al. (1995), Linhares (2000) utiliza um banco de dados relacional, o *Access da Microsoft*, para organizar as informações funcionais e geométricas do processo de projeto de peça. Por esse motivo, uma limitação dessa proposta é o sistema de gerenciamento de banco de dados relacional utilizado na estrutura baseada na programação orientada a objetos das etapas dos projetos conceitual e preliminar de peça. Uma consequência da utilização de paradigmas divergentes é a impossibilidade de reuso de conhecimento funcional no processo de projeto de peça. Na atividade de análise, segundo Linhares, a estrutura funcional de peça pode ser organizada em uma estrutura hierárquica de: (i) função global; (ii) funções parciais; (iii) funções elementares. Observa-se na Figura 2-14, que a análise funcional depende da organização das informações funcionais decorrentes da inter-relação entre *features* funcionais e *features* conceituais baseadas nos atributos funcionais, geométricos e tecnológicos.

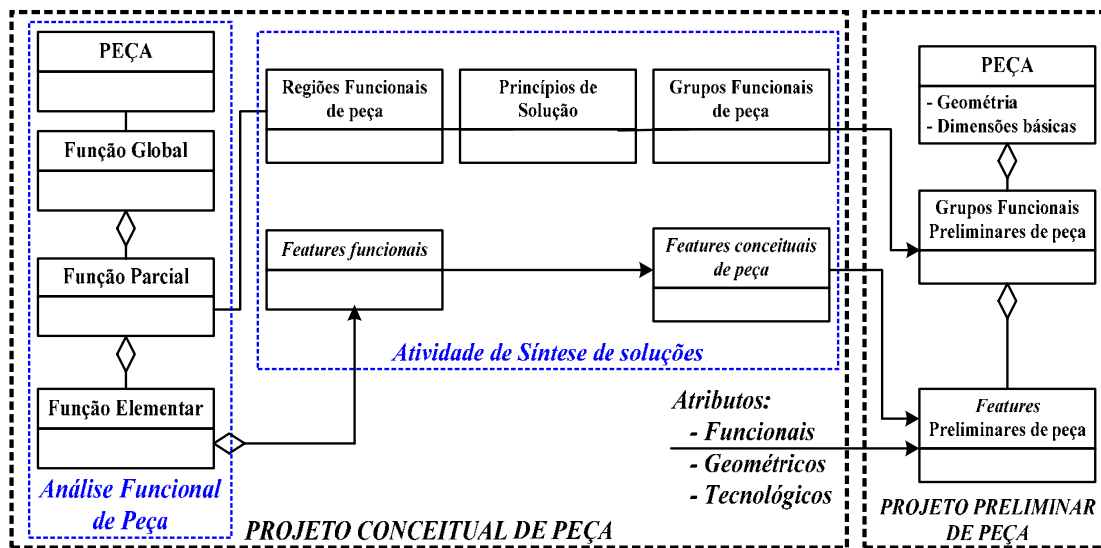


Figura 2-14: Estruturas das etapas de projeto conceitual e preliminar de peça (LINHARES, 2000)

Na Figura 2-14, tem-se uma visão da proposta por Linhares (2000) na estruturação da etapa do:

- (a) Projeto conceitual, com as atividades de análise funcional e síntese de soluções baseada em *features*;
- (b) Projeto preliminar de peça baseada em atributos funcionais, geométricos e

tecnológicos.

Ainda segundo Linhares (2005), as funções da estrutura funcional do produto, (sub) montagem ou peça, são descrições de funções padronizadas do tipo verbo + substantivo + qualificador. Nessa descrição de função padronizada, o verbo representa a ação a ser realizada pela peça, região funcional ou detalhe; o substantivo representa o objeto da ação a ser realizada pelo verbo, e o qualificador representa a maneira, qualidade, estado ou modo de realizar a ação do verbo sobre o objeto.

Porém, utilizando a proposta do autor, as informações funcionais incluídas na descrição de função padronizada de Linhares (2005), e necessárias na geração e seleção das concepções alternativas do produto e peças, não podem ser extraídas e organizadas para reuso. Adicionalmente, a proposta da descrição de função padronizada do tipo verbo + substantivo + qualificador de Linhares (2005) não é adequada para outras formas de descrição textual de função em linguagem natural. Por exemplo, a estrutura gramatical da função padronizada proposta não suporta a estrutura gramatical de descrições textuais de função em linguagem natural que utilize conjunção “e” e outros tipos analisados no “Apêndice F da própria tese do autor” tais como:

(a) Estruturas gramaticais com conjunção “e” e verbos, e.g., do tipo <verbo + conjunção + verbo + substantivo composto> - comprimir e expandir gás refrigerante;

(b) Estruturas gramaticais com conjunção “e” substantivo, e.g., do tipo <verbo + preposição + artigo + substantivo + preposição + substantivo + conjunção + substantivo> - variar volume da câmara de compressão e expansão, dentre outros tipos de estruturas gramaticais.

### **2.2.3.3 Metodologia de projeto de peça de Roy e Bharadway (2002)**

Ao invés de centrar os esforços de pesquisas apenas nas variáveis, ou atributos, dos requisitos/restrições geométricos (relacionamentos espaciais), ou se fixar somente nas funções locais da peça (relacionamentos funcionais), Roy e Bharadway (2000) estudaram os papéis dos requisitos/restrições geométricos e funcionais durante as interações entre as faces das peças. Foi a partir desse estudo que Roy e Bharadway perceberam que o modelo de função de Pahl e Beitz (1988, 1996) não é útil para tratar as informações geométricas e funcionais incluídas nas especificações de projeto de produto que são utilizadas no processo de projeto de peça.

Segundo os autores, os inconvenientes do modelo de função de Pahl e Beitz são a:

- (1) Falta de associação das entidades físicas de cada com as (sub)funções dadas pela relação entrada/saída de material, energia e sinal (informação) e vice-versa;
- (2) Restrição das (sub)funções à modelagem das funções totais das peças, pois, a estrutura gramatical da definição de função de Pahl e Beitz (1988, 1996) não suporta a estrutura gramatical das descrições textuais de função em linguagem natural normalmente utilizadas no projeto de peça;
- (3) Alto nível de abstração, ou subjetividade, da modelagem das informações funcionais das especificações de projeto e conhecimento idiossincrático dos projetistas (ver Glossário) quando se utiliza a definição de função de Pahl e Beitz (1988, 1996) no processo de projeto de peça;
- (4) Impossibilidade da correlação direta entre as (sub)funções com funções equivalentes (que tem o mesmo comportamento quando submetidas às interações similares).

Para superar as desvantagens citadas anteriormente, Roy e Bharadway primeiro propuseram o conceito de comportamento de peça como “*aquele realizado por um conjunto de relacionamentos funcionais espaciais e de projeto entre as superfícies de interação ‘superfícies funcionais’ da estrutura física da peça*” (ROY; BHARADWAY, 2002)

Assim, para utilizar adequadamente o comportamento de uma peça e os relacionamentos funcionais espaciais e de projeto gerados nas especificações de projeto, necessita-se desenvolver, dentre outros artifícios, um(a):

- (1) Vocabulário com um conjunto de descritores lingüísticos para o controlar o comportamento da peça, tais como:
  - (a) *Snap*: usado para expressar a pressão exercida entre peças em uma interação. Segundo os autores, esse descritor lingüístico pode ser usado para especificar vários tipos de condições de montagem como, por exemplo, fixação (não) permanente de peças, juntas de vedação, soldagem;
  - (b) *Contact*: usado para expressar a forma de contato entre peças em uma interação. Podendo não existir qualquer força ou força de interação entre as duas peças. Isto pode ser usado especificar comportamentos de parte como se enredar de engrenagens, vários tipos de condições de ajuste entre peças, certos tipos de fixadores;
  - (c) Movimento de translação: usado para expressar o movimento linear de uma peça ao longo dos três eixos ortogonais de referência (eixos X, Y e Z);
- (2) Metodologia para extrair os relacionamentos funcionais espaciais e de projeto do



comportamento da peça. Na metodologia, analisam-se as funcionalidades da peça sob o ponto de vista do mapeamento das especificações de projeto do produto. Dessa forma, o comportamento da peça é obtido da interação da área de contato entre as faces das peças e a lei física orientadora do inter-relacionamento entre as mesmas.

- (3) Modelo de função baseado no comportamento da peça é obtido pela extensão do modelo de função de Pahl e Beitz (1996), como mostrado na Figura 2-15. No modelo da função proposta pelos autores, a transformação entre as entidades físicas (da entrada para a saída) é controlada pelo comportamento da geometria da própria peça, ou pela geometria de outra(s) peça(s) na montagem em que estiver inserida e por leis físicas que são associadas às próprias entidades físicas referenciadas pela funcionalidade no modelo.

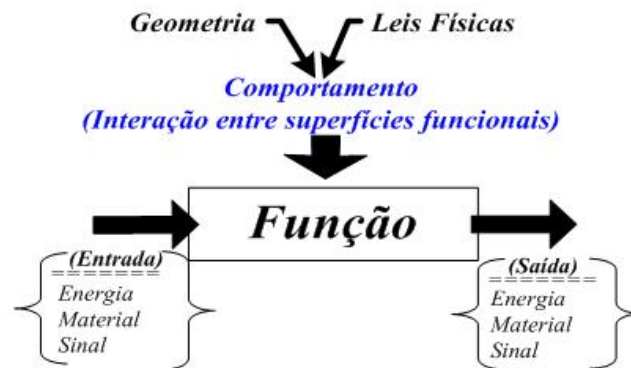


Figura 2-15: Modelo de função baseado no comportamento de peça de Roy e Bharadway (2002)

Contudo, o modelo de função de Roy e Bharadway, não consegue inventariar (ou formalizar) o conhecimento comportamental da estrutura física de peça (dos grupos funcionais e dos detalhes construtivos locais da peça). Apesar dos autores perceberem a necessidade da normalização de um vocabulário sobre o comportamento das peças, eles não propuseram uma forma de inventariar as interações entre as superfícies funcionais, leis físicas e geometrias dos grupos funcionais e detalhes geométricos (DGs) da estrutura física da peça.

O estudo das metodologias de projeto de produto e peça mostra duas novas tendências de pesquisas, voltadas para a: (1) subdivisão da metodologia de projeto de produto, baseada nos modelos de fases, mais detalhadamente, e.g., em uma parte voltada para o produto, outra para os grupos de peças (ou subsistemas) e, ainda, outra para a peça; (2) extensão do modelo de função de Pahl e Beitz, que é baseado na abordagem funcional, e o de modelo de função de Roy e Bharadway, que é baseado na abordagem funcional/comportamental.

A subdivisão da metodologia de projeto de produto voltada para o produto, grupo de peças e peça sugere um suporte adicional no sentido de ajudar no entendimento do processo de transformação do conhecimento funcional das especificações de projeto de produto para as peças.

O Modelo de Função baseado comportamental, baseado no conceito de comportamento de Roy e Bharadway, sugere uma nova direção para as pesquisas em metodologia de projeto de produto e peça. Os próprios autores sugerem a necessidade de pesquisas baseadas em conhecimento comportamental das geometrias das superfícies de interação da estrutura física da peça para a normalização de um vocabulário baseado no conhecimento do comportamento de peça.

Apesar do modelo de função de Roy e Bharadway utilizar descritores lingüísticos, eles não realizaram pesquisas voltadas para o processamento da linguagem natural (PLN), nem para sistemas de gerenciamento de banco de dados orientados a objetos (SGBDOO). Também, apesar de os autores explicarem a natureza e importância do relacionamento entre função, geometria e comportamento, eles não explicam ou estudam o comportamento sob o ponto de vista do conhecimento funcional, ou conceito funcional, ou conhecimento teleológico, ou conhecimento tácito ou idiosincrático.

Portanto, necessita-se compreender a relação entre as linguagens utilizadas no processo de projeto de produto e peça e o conhecimento funcional. Qual o papel dos vários tipos de linguagem no processo de projeto de produto/peça? Como o conhecimento tem sido descrito textualmente em linguagem natural? Como o conhecimento funcional tem sido utilizado nos modelos de função propostos até aqui (nos modelos mais significativos)? Qual a relação conceitual entre conhecimento teleológico, conhecimento comportamental, conhecimento funcional e conceito funcional?

Uma resposta adequada a essas questões poderia ajudar no *desenvolvimento de um sistema capaz de capturar, organizar e armazenar informações geométricas abstratas, conhecimento funcional incluído nas especificações de projeto e conhecimento funcional tácito dos projetistas, a partir do* (MÄNTYLÄ, 1990):

- (i) Armazenamento da evolução do processo de projeto durante as suas várias etapas e tarefas;
- (ii) Preservação dos conhecimentos funcionais sobre o problema de projeto e conhecimento tácito dos projetistas criados durante a etapa de projeto conceitual como, por exemplo, a idealização dos modelos geométricos conceituais até a fase de projeto detalhado;
- (iii) Conexão das especificações funcionais mais abstratas, conhecimento funcional

incluído nas especificações de projeto e conhecimento funcional tácito dos projetistas e geometrias conceituais das geometrias detalhadas na etapa do projeto detalhado;

(iv) Captura a intenção de projeto do projetista. Nesse caso, para Mäntylä, *intenção de projeto* são as razões pelas quais uma geometria particular é modelo de uma determinada forma e não de outras;

(v) Utilização de modelos geométricos como um recurso para o reprojeto de produto e peça e

(vi) Facilitação da interpretação de modelos geométricos em aplicações de planejamento industriais, tais como fabricação e montagem.

## 2.3 TIPOS DE CONHECIMENTO NA ETAPA DO PROJETO CONCEITUAL: VISÃO GERAL

### 2.3.1 Proposta de representação de conhecimento funcional de Takeda et al. (1990)

Segundo Takeda et al. (1990), um dos maiores problemas na integração das etapas do processo de produto é a desenvolvimento de uma representação do conhecimento de projeto capaz de abranger os seguintes campos: (i) representação de objetos de projeto; (ii) representação do próprio processo de projeto. Para superar esta dificuldade, Takeda et al. (1990) propuseram uma Teoria Geral de Projeto (TGP), uma formulação matemática de processos de projeto, que explica como o projeto é conceitualmente executado em termos da manipulação de conhecimento.

A teoria geral de projeto usa um modelo descritivo que tenta explicar como o projeto é percebido pelo projetista como um mapeamento do espaço de funções para o espaço de atributos, como mostrado na Figura 2-16.

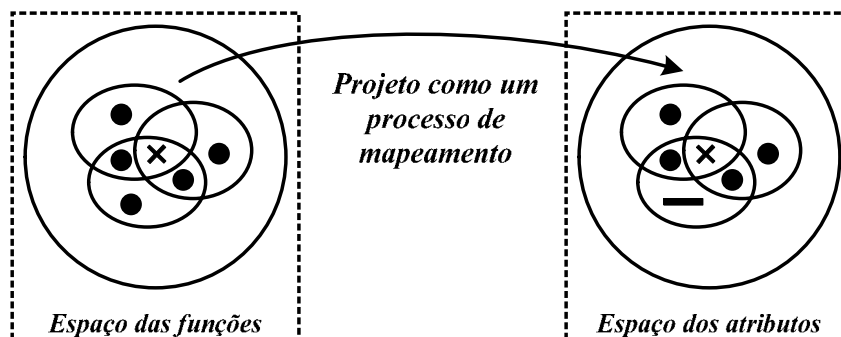


Figura 2-16: O projeto como um processo de mapeamento do espaço de funções para o espaço dos atributos (TAKEDA et al. 1990)

Para os autores, se a função é um mapeamento dos requisitos funcionais, dos atributos das entidades conceituais pensadas pelos projetistas, então o modelo descritivo explica como o projeto pode ser realizado através de procedimentos lógicos. Para materializar a intenção de projeto dos projetistas, de acordo com Mäntylä (1990), a teoria geral de projeto utiliza um modelo cognitivo capaz de lidar com os conceitos abstratos derivados do conhecimento funcional tácito dos projetistas e, assim, gerar entidades conceituais. Dessa forma, o espaço de funções é um conjunto de entidades conceituais com uma topologia de funções, enquanto o espaço de atributos é um conjunto de entidades com uma topologia de atributos. Para cumprir todas essas promessas, a teoria geral de projeto propõe um conjunto de axiomas e teoremas. Há três axiomas:

(1) **Axioma de reconhecimento:** Qualquer entidade pode ser reconhecida ou descrita por atributos e/ou outros conceitos abstratos (as propriedades tais como cor, tamanho, peso, dimensões, funcionalidade, localização, dentre outras);

(2) **Axioma de correspondência:** O conjunto de entidades e de entidades conceituais (idéias) tem correspondência um – para – um;

(3) **Axioma de operação:** O conjunto de conceitos abstratos é uma topologia de conjunto de entidades conceituais.

E sete teoremas:

**Teorema 1:** O conhecimento ideal é um hiperespaço de todos os conhecimentos relacionados aos elementos do conjunto das entidades, onde o conhecimento ideal representa todos os conhecimentos dos elementos do conjunto de entidades e podem descrever cada elemento pelos conceitos abstratos sem ambigüidade;

**Teorema 2:** No conhecimento ideal, a solução de projeto é obtida imediatamente depois que as especificações são descritas;

**Teorema 3:** O conjunto de conceitos de leis físicas é a base da topologia de atributos conceituais do conjunto de entidades conceituais (possíveis);

**Teorema 4:** Há uma quantidade finita de subdomínios para qualquer domínio de conjunto de entidades conceituais possíveis produzidas de conjuntos escolhidos do conjunto de conceitos de leis físicas”;

**Teorema 5:** No conhecimento real, se podemos produzir uma subsequência diretamente de certas especificações de projeto, então esta subsequência converge para um ponto comum;

**Teorema 6:** Se um metamodelo for desenvolvido do conhecimento real, então obteremos uma entidade conceitual como o limite dessa evolução e

**Teorema 7:** Se escolhermos conceitos que possam ser explicados por leis físicas com o metamodelo, então podemos descrever as especificações de projeto pela topologia do metamodelo e aí existirá uma solução de projeto que é um elemento desse metamodelo.

Portanto, a teoria geral de projeto pode subsidiar a pesquisa por uma representação de conhecimento capaz de capturar, organizar e integrar para reuso informações funcionais incluídas nas sentenças funcionais na etapa do projeto conceitual de peça.

### **2.3.2 Modelos de descrição textual de função em linguagem natural no projeto conceitual**

Nos últimos trinta anos, vários tipos distintos de se descrever textualmente uma função foram propostas, serão analisadas quatro importantes visões funcionais.

(1) Na primeira delas, os pesquisadores referenciavam o conhecimento funcional pela descrição textual da função usando apenas <verbo> como ampliar/reduzir, guiar/não guiar (ROTH, 1982; KOLLER, 1985) ou <verbo> + <substantivo> tais como transferir torque, facilitar montagem (PAHL; BEITZ, 1988, 1996).

(2) Na segunda, à descrição textual de função em linguagem natural foi acrescentado um qualificador adverbial. Isso implica em ter uma estrutura frasal composta de <verbo> + <substantivo> + <advérbio> como empilhar mochila facilmente, dobrar mochila para baixo (TAKEDA; TOMIYAMA'; SHIMOMURA, 1994).

(3) Na terceira proposta foi incorporado o uso de outros descritores lingüísticos, produzindo estruturas frasais de função contendo <verbo> + <substantivo> + <magnitude dos atributos> + <direção dos atributos> + <objetos (substantivos concretos)> + <palavras-chave (*features* funcionais)> como fornecer força de 10 N sob a superfície de apoio do flange (MUKHERJEE; LIU, 1997).

(4) Houve até quem pensou em estender o conceito de qualificador para além da questão adverbial com o objetivo de capturar a intenção de projeto do projetista. Nessa visão, o autor sugeriu até a padronização da sentença funcional escrita pelos seguintes constituintes frasais: <verbo> + <substantivo> + <advérbio/adjetivo/outros> como 'Apoiar presilha lateralmente', 'Prover assentamento superficial' (LINHARES, 2005).

Em todas as formas de se descrever função em linguagem natural percebe-se o esforço dos pesquisadores em explicitar o conhecimento funcional incluído em uma sentença funcional. Porém, a construção de catálogos de <verbos> (ROTH, 1982; KOLLER, 1985) e

<verbos>+<substantivos> (PAHL; BEITZ, 1996) referenciados por princípios de soluções e armazenados em banco de dados não conseguem explicitar e inter-relacionar os tipos de conhecimento incluídos em uma sentença funcional. Um aspecto comum entre todas as formas de se descrever textualmente função em linguagem natural é o uso da abordagem funcional, isto é, o enfoque único e exclusivo na funcionalidade de componentes. Depois, verificaram-se pesquisas que levavam em conta variáveis como estado, estrutura e comportamento dos objetos de projeto como, e.g., TAKEDA et al. 1994. Entretanto, observou-se que apesar dos pesquisadores levarem com conta a abordagem funcional e abordagem comportamental, mesmo, assim, o esforço de pesquisa não conseguiu explicitar e inter-relacionar os tipos de conhecimento funcional incluídos em uma função.

Isso mostra que as descrições textuais de funções em linguagem natural englobam uma variedade de estruturas frasais, indo de uma composição mais simples para descrições mais estruturadas (exigindo mais descritores sintáticos). Por outro lado, a sentença funcional vai além do aspecto funcional e precisa, antes, descrever um comportamento advindo ou do conhecimento funcional incluído nas especificações de projeto, ou do conhecimento funcional de experiências de projeto anteriores dos projetistas. Esse fato foi comprovado nas pesquisas de McGinnis e Ullman (1992), com a classificação das restrições utilizadas por projetistas, a partir da análise das sentenças funcionais ou estruturas semânticas, em: (i) restrições dadas pelas especificações de projeto especificações de projeto; (ii) restrições introduzidas pelos projetistas a partir das suas experiências em projeto anteriores; (iii) restrições derivadas das especificações de projeto e conhecimento tácito do projetista.

Ainda em relação às quatro importantes formas de descrever textualmente uma funcionalidade em linguagem natural, observa-se que o esforço de pesquisa é capturar o conhecimento funcional (considerado, nesta tese, como um conjunto de informações funcionais) incluído na sentença funcional tais como:

(1) Papel dos constituintes na sentença funcional, como, e.g., como verbo, substantivo, adjetivo, locução adjetiva, advérbio;

(2) Papel da valoração semântica derivado dos pontos de vista funcionais que referenciam, na sentença funcional, relações semânticas entre o verbo e os outros constituintes frasais, os tipos de: processos causais (leis físicas, químicas ou biológicas); formas geométricas; *features* e processos de fabricação com seu tipo de operação e tipo de equipamento, máquina e/ou ferramenta para a operação;

(3) Papel do conhecimento teleológico incluído no verbo. Nesse caso, entende-se que o conhecimento teleológico é parte do conhecimento funcional que depende da: (i) relação

semântica entre o verbo e os outros constituintes da sentença funcional; (ii) meta, finalidade ou objetivo definido pelos projetistas para o verbo que é empregado na sentença funcional.

Essas diferentes formas de descrever textualmente função em linguagem natural, de modo geral, explicaria a dificuldade em expressar os diferentes níveis semânticos relacionados ao produto, grupo de peças e peça. Por outro lado, as diferentes visões funcionais, maneiras de interpretar o conhecimento funcional incluído nas especificações de projeto e as formas idiossincráticas de expressar o próprio conhecimento funcional tácito provocam a modelagem funcional *ad hoc* (ver Glossário). Essa forma idiossincrática de descrever textualmente função em linguagem natural precisa ser organizada e estruturada em um esquema de representação de conhecimento funcional que suporte tanto a:

- (1) Abordagem funcional, para possibilitar a descrição textual em linguagem natural da sentença funcional e suas possíveis decomposições;
- (2) Abordagem comportamental, para possibilitar a: (i) inter-relação entre as superfícies funcionais das geometrias da estrutura física da peça com suas funcionalidades; (ii) análise do modo e condições operacionais como a interação é pensada pelo projetista;
- (3) Abordagem lingüística, para possibilitar a elaboração de métodos de análise baseado nos conceitos da gramática normativa da língua portuguesa do Brasil e pelo suporte da Lingüística de Corpus.

### **2.3.3 Modelos de representação de conhecimento funcional aplicados ao projeto conceitual**

Sabe-se que o conhecimento funcional é definido como o conhecimento agregado à descrição textual de função em linguagem natural de produto, grupo de peças ou peça, através de um conjunto de funções. O propósito de uma sentença funcional é capturar as relações causais de entrada/saída necessárias ao produto, grupo de peças ou peça que estão relacionadas aos conceitos de material, energia e sinal (informação) que serão usados para desenvolver as funcionalidades desejadas pelos usuários e projetistas. Tais descrições implicam na captura dos propósitos funcionais específicos associados à realização de uma determinada tarefa, e por isso se diz que as funcionalidades são sempre baseadas numa: (a) relação entrada/saída ligadas a energia, material e sinal (informação) (PAHL; BEITZ, 1996) ou, ainda, numa (b) relação causa/efeito das grandezas de entrada (BACK, 1983). De modo

geral, o *know-how* de projeto incluído no conhecimento funcional normalmente é uma coleção de conhecimento funcional tácito de propriedade dos projetistas e é difícil de ser explicado e mapeado.

Além do modelo de função de Roy e Bharadway (2002), há três outros tipos clássicos de esquemas de representação do conhecimento funcional, a saber, o esquema de representação de conhecimento funcional do (CHAKRABARTI; BLIGH, 2001): (i) modelo de Freeman e Newell; (ii) modelo de Yoshikawa; (iii) modelo de Pahl e Beitz.

No esquema de representação do conhecimento funcional do:

(1) *Modelo de função de Freeman e Newell* – o conhecimento funcional deve vir organizado na própria estrutura em nível de produto, como ilustrado na Figura 2-17.

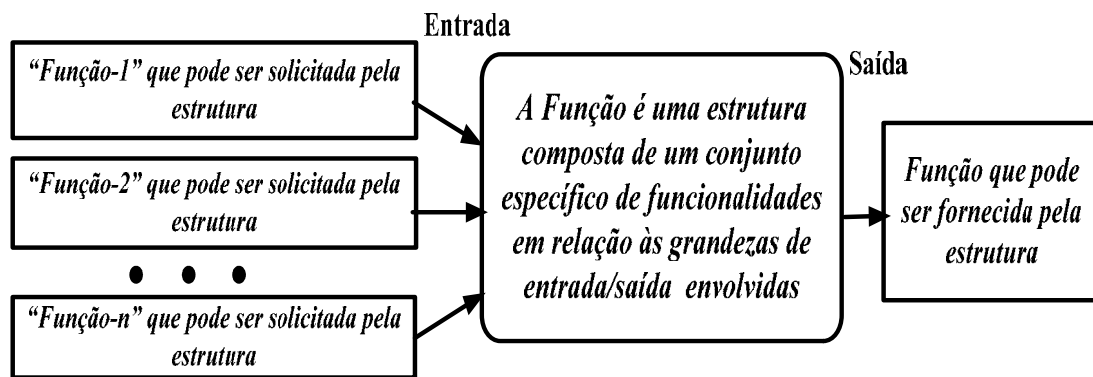


Figura 2-17: Esquema de representação do conhecimento funcional no modelo de Freeman e Newell (adaptado de CHAKRABARTI; BLIGH, 2001)

Esse modelo de representação de conhecimento funcional disponibiliza um conjunto de funções para serem usadas na estrutura de funções do produto durante a modelagem funcional. Assim, depois de determinada a função global do produto, para se determinar as funções parciais e elementares os projetistas precisam primeiro verificar quais funcionalidades podem ser utilizadas e depois verificar a compatibilidade entre a função de saída *versus* entrada, em relação das grandezas envolvidas. Observa-se que nesse modelo de função o conhecimento é limitado às funções disponibilizadas na entrada e saída da estrutura do produto.

(2) *Modelo de função de Yoshikawa*: O conhecimento funcional é baseado em um conjunto de requisitos funcionais do próprio produto como ilustrado na Figura 2-18.



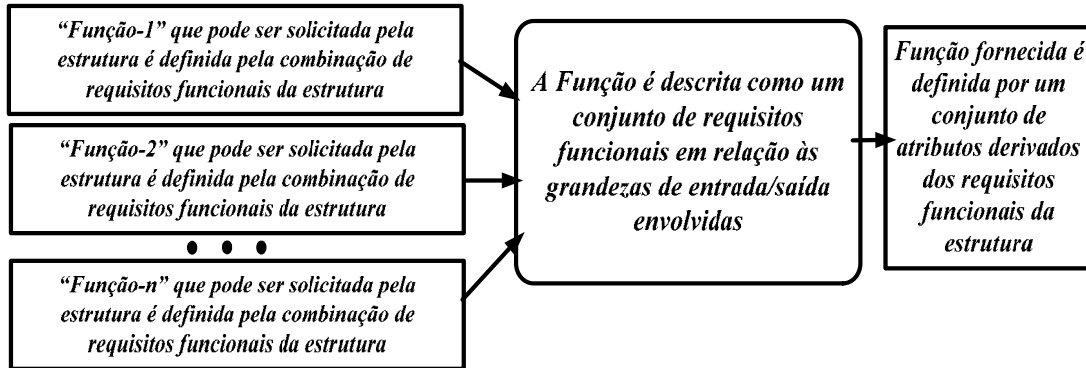


Figura 2-18: Esquema de representação do conhecimento funcional no modelo de Yoshikawa (adaptado de CHAKRABARTI; BLIGH, 2001)

Nesse modelo de representação de conhecimento funcional, as funções são literalmente mapeamento de requisitos funcionais gerais. Assim, depois de determinado a função global do produto, as funções parciais e elementares devem ser escolhidas de acordo com os requisitos mapeados em cada função da estrutura da função global dada. Nesse caso, durante a determinação da estrutura de funções do produto, deve-se: (i) checar se os requisitos disponibilizados nas funções atendam as necessidades de projeto; (ii) realizar a análise de compatibilidade da relação das grandezas entrada/saída a partir dos requisitos disponibilizado pela estrutura da função global; (iii) determinar a estrutura hierárquica do produto. Observa-se que nesse modelo de função o conhecimento é limitado pelo mapeamento dos requisitos funcionais disponibilizados em cada funcionalidade da estrutura do produto.

(3) *Modelo de função de Pahl e Beitz*: O conhecimento funcional tácito do projetista é condição essencial na descrição textual em linguagem natural das relações gerais e desejadas em relação às grandezas de entrada/saída de um sistema, com a finalidade de cumprir uma tarefa (PAHL et al. 2005) , como ilustrado na Figura 2-19.

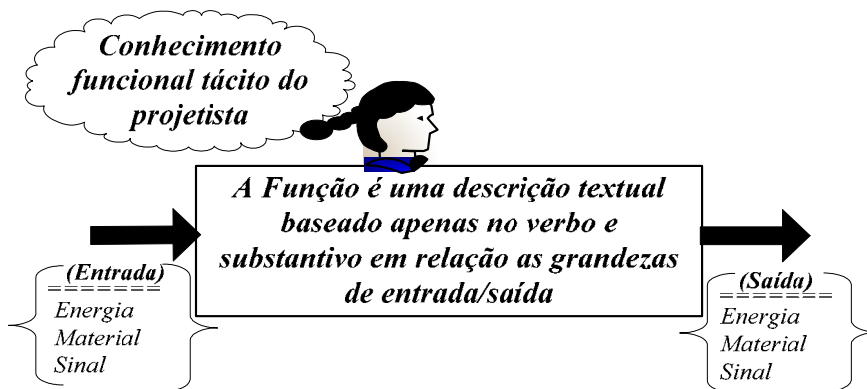


Figura 2-19: Esquema de representação do conhecimento funcional no modelo de Pahl e Beitz (1996)

O modelo de representação de conhecimento funcional, no modelo de Pahl e Beitz, leva em conta a relação entre as grandezas de entrada/saída de energia, material e sinal (informação). Porém, a definição dos requisitos necessários para descrever textualmente as funções em linguagem natural para definir a estrutura de funções do produto depende de conhecimento funcional tácito de projetista experiente. Conseqüentemente, o conhecimento funcional tácito do projetista é condições essenciais para se referenciar a função desejada e necessária na saída a partir da análise dos requisitos identificados na função de entrada.

(4) *Modelo de função de Roy e Bharadway*: O conhecimento funcional das restrições espaciais e modos de transferência de energia nos inter-relacionamentos entre superfícies são condições essenciais na descrição textual das funcionalidades do produto (sistema técnico), subsistemas ou peça, como ilustrado na Figura 2–20.

Ao contrário dos modelos de função anteriores que são baseados apenas na abordagem funcional, o modelo de função de Roy e Bharadway leva em conta a abordagem funcional e comportamental. Dessa forma, o conhecimento dos modos de transferência de energia dos atributos funcionais e as restrições espaciais dos atributos comportamentais são condições essenciais nas interações entre interfaces (superfícies) funcionais. Para os autores, o comportamento é “*o resultado das interações funcionais, espaciais e de projeto, das faces da peça com as geometrias de outras peças. As interações funcionais descrevem as restrições impostas sobre os graus de liberdade espacial das faces de uma peça devido às suas interações com as faces de outras peças. As interações funcionais de projeto descrevem os modos de transferência de energia (mecânica) ao longo de certas direções das faces devido às suas interações com as faces de outras peças*”.



Figura 2-20: Esquema de representação do conhecimento funcional no modelo de Roy e Bharadway (2002)

Os quatro modelos de função analisados acima usam a linguagem natural para descrever as funcionalidades. Porém, enquanto os três primeiros modelos clássicos de função são baseados na abordagem funcional, o quanto, o modelo de Roy e Bharadway (2002) é baseado nas abordagens funcional e comportamental.

Entretanto, nenhum dos modelos de função anteriores possui suporte às descrições textuais de função em linguagem natural. O motivo dessa falta de suporte a linguagem natural, deve-se ao fato dos modelos de função não serem baseados na abordagem lingüística. Portanto, há necessidade de um modelo de função baseado na abordagem lingüística para suportar as descrições textuais de função em linguagem natural. Dessa forma, durante a modelagem funcional de produto ou peça pode-se disponibilizar métodos dedicados ao tratamento da linguagem natural utilizada nas descrições textuais de funcionalidade.

### **2.3.4 – Relação entre Função, Comportamento e Estrutura (RFCE)**

#### **2.3.4.1 – Visão da RFCE de Chandrasekaran e colaboradores**

Para Chandrasekaran e colaboradores (CHANDRASEKARAN; GOEL; IWASAKI, 1993; CHANDRASEKARAN; JOSEPHSON, 2000) a relação entre função, comportamento e estrutura exerce um papel central na elaboração de modelos de raciocínio funcional para a prática na engenharia. No dizer dos autores, outro motivo da necessidade da relação entre função, comportamento e estrutura é surgimento de novos conceitos gerados pela junção de vários domínios de aplicação em um mesmo produto como, por exemplo, da: mecânica, eletrônica, química, eletricidade e software.

A função pode ser semanticamente classificada em dois tipos: propósito funcional e ação funcional. O propósito funcional é uma descrição da intenção do projetista ou do propósito de um projeto. O propósito funcional é abstrato e subjetivo, ou melhor, o propósito funcional é um conhecimento teleológico. A ação funcional é uma abstração de comportamento intencional e útil que um objeto exibe (DENG, 2002).

Para Chandrasekaran e Josephson (2000), o termo comportamento é usado na literatura de diferentes modos em diferentes contextos. Por exemplo, há diferença entre comportamento no sentido de um modelo causal (dado por uma fórmula matemática) de um objeto versus comportamento no sentido específico de uma coisa que o objeto faz, ou realiza. Os autores elencaram seis (6) tipos de comportamentos:

(1) **Comportamento como variável de estado:** o(s) valor(es), ou relações entre

valores, de uma variável de estado de interesse em um instante particular – Como o carro se comportou?; A taxa de voltagem da saída para a entrada é maior que um;

(2) **Comportamento como propriedade específica de um objeto:** o(s) valor(es), ou relações entre valores, de propriedades do objeto. Por exemplo, um sentido pode ser, Distribuir cargas nos dois sentidos; Transmite luz do lado de fora para o lado de dentro pela janela. As palavras iniciais são verbo, e como tal, as descrições são comportamentais. Em tais descrições, porém, o tempo não é explicitamente mencionado. Assim, ao invés de pensar nestes comportamentos como valor de variáveis de estado em determinado momento específico é mais esclarecedor pensar neles como relações entre propriedades específicas de um objeto

(3) **Comportamento temporal:** o(s) valor(es) das variáveis de estado de interesse sobre um intervalo de tempo. Por exemplo: O que você observou sobre o comportamento do carro na curva?; O PH d'água aumentou durante algum tempo, entretanto começou diminuindo.

(4) **Comportamento específico:** o(s) valor(es) da(s) variável(is) de estado especificamente etiquetados como variáveis de estado de “saída” ou em um momento, ou sobre um intervalo de tempo. Por exemplo, “O amplificador está com uma amplificação”; “A voltagem de saída é constante”.

(5) **Grafo comportamental:** o(s) valor(es) de todas as variáveis de estado do objeto descrevem, ou em um instante ou sobre um intervalo de tempo. Um gráfico que imprime todas as variáveis sobre o tempo é frequentemente chamada grafo comportamental.

(6) **Comportamento de regras causais:** as regras causais que descrevem os valores das variáveis de estado sobre várias condições.

A estrutura de um produto ou componente é representada pela abstração de seus componentes (subcomponentes) e relações entre eles. Primeiro, é importante observar que o conhecimento funcional de um componente (subcomponente) é especificado independentemente do conhecimento funcional do produto ou componente que inclui o componente (subcomponente).

#### 2.3.4.2 Visão da RFCE de Umeda e colaboradores

Umeda, Takeda, Tomiyama, e Yoshikawa (1990) propuseram um esquema de análise para a relação função, comportamento e estrutura denominada pelos autores de diagrama FBS. O diagrama FBS tornou-se a base das ferramentas de modelagem funcional de produtos para os modeladores funcionais. Para esse diagrama FBS, os autores definiram função,

comportamento e estado, considerando a estrutura, e os relacionamentos entre eles para construir um modelo útil, claro, consistente e computável para examiná-lo no contexto de várias aplicações, tais como projeto auxiliado por computador, simulação e diagnóstico. Nesse contexto, os autores definiram:

(a) **Comportamento** como uma seqüência ou mais de mudanças de estados. Nesse caso, o estado não muda para um tipo de comportamento. Além disso, a transição de um estado para próximo estado não ocorre de maneira randômica, mas é orientado por algum princípio como, por exemplo, uma lei física, química ou biológica. Já uma lei física, química ou biológica é uma regra que determina todas as possibilidades de comportamento de uma entidade sobre uma condição específica de estado. Segundo os autores, podem-se conhecer todas as possibilidades de comportamento de uma entidade usando as leis físicas, químicas ou biológicas.

(b) **Função** é uma descrição textual de um comportamento abstraído e escrito por humanos com o intuito de realizar uma tarefa específica em um projeto. Uma função é uma imagem de comportamento abstraída por humanos e, em geral, a função é representada na forma da pergunta “Como esse objeto se comporta?”

Raciocinando sobre os processos causais, segundo os autores, é possível inferir portadores de efeitos físicos, estruturas funcionais, entidades físicas capazes de se relacionar F (função) ao C (comportamento), enquanto a descrição dos comportamentos, estados e relacionamentos C (comportamentos) – E (estados) são decididos automaticamente de forma objetiva ou concreta.

Para representar entidades mecânicas em computadores, os autores propuseram um esquema geral para representar produtos (sistemas técnicos) e subsistemas – conforme mostrado na Figura 2-21.

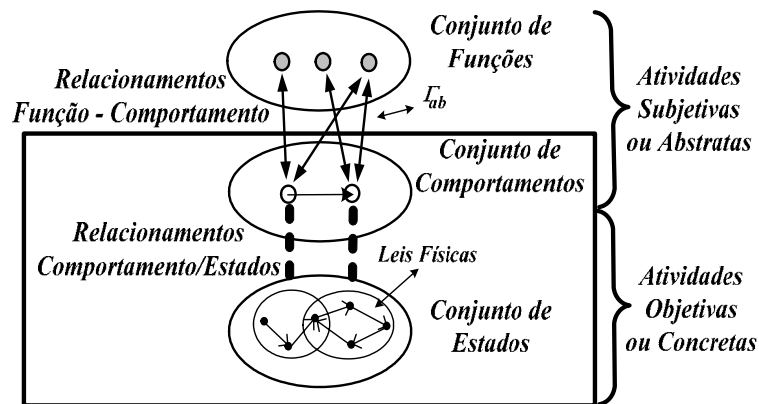


Figura 2-21: Relacionamentos entre Função, Comportamento e Estados (UMEDA et al. 1990; TAKEDA; TOMIYAMA; SHIMOMURA, 1994b)

O diagrama FBS pode ser dividido em duas partes, as visões consistem de um vocabulário de estados, um vocabulário de comportamentos e um conjunto de leis físicas, químicas ou biológicas:

(1) Atividade subjetiva – define os relacionamentos Função *versus* Comportamento indicadores das decisões de uma entidade. Esses relacionamentos têm a função de mapear as restrições/requisitos incluídas nas descrições textuais de funções, mas em relação aos pontos de vista dos projetistas e

(2) Atividade objetiva – definem os relacionamentos Função *versus* Estado selecionadores das visões que deveriam ser produzidas subjetivamente e, conseqüentemente, a descrições de seus comportamentos e seus estados são decididos automaticamente de acordo com essas visões.

Exemplos de aplicações (com suas referências para consulta e maiores informações) usando modeladores funcionais baseados na abordagem do diagrama FBS são as ferramentas:

(a) **SYSFUND** – *Systematization tool of Functional knowledge for Design* – Ferramenta de sistematização de conhecimento funcional para projeto (TOMIYAMA, 1994);

(b) **KIEF** – *Knowledge Intensive Engineering Framework* – Estrutura de Engenharia de Conhecimento Intensivo, uma ferramenta para suportar as várias atividades de engenharia relacionadas ao ciclo de vida total de artefatos (CHAKRABARTI, 2002) e

(c) **IDeAL system** é um sistema integrado que a partir de modelos abstratos pode projetar, por analogia e aprendizagem, dispositivos físicos como, por exemplo, projetos de circuitos elétricos. O **IDeAl system** toma como entrada as especificações funcionais do projeto desejado e determina como saída uma estrutura que realiza a função especificada e um modelo de SBF (estrutura, comportamento e função) que explica como a estrutura realiza as especificações funcionais desejadas (BHATTA; GOEL, 1992).

#### 2.3.4.3 – RFCE: necessidade de propósitos funcionais gerais por Keuneke

Para Keuneke (1991) a representação funcional de um produto combina uma seqüência de informações sobre a sua função, comportamento e estrutura. Dessa forma, na representação funcional de um produto, a estrutura é construída por componentes funcionais. Sendo que a:

(a) estrutura do produto especifica os seus componentes e as relações entre eles; (b) função do componente ou produto especifica o resultado ou meta da sua atividade; (c) comportamento do componente ou produto especifica como, dado um estímulo, sua função é realizada.

Contudo, segundo Keuneke, para entender uma função é necessário compreender sua meta, isto é, como sua meta pode ser realizada (por exemplo, via uma lista causal de estados) e quando sua realização é desejada (tal como, o estado inicial).

De acordo com Keuneke, as informações sobre a estrutura, função e comportamento do produto, ou componente, formam apenas o núcleo do conhecimento funcional incluído em uma funcionalidade esperada. Porém, esse conhecimento funcional não é suficiente para representar e explicar o mecanismo de funcionamento dos produtos, ou componentes. Para superar essa dificuldade, Keuneke propôs a ampliação da maneira de se representar a função, incluindo na representação funcional o conhecimento do tipo de função. Assim, Keuneke sugeriu quatro tipos de funções para indicar o conhecimento específico sobre o propósito funcional a ser usado na representação e explicação da funcionalidade do produto e componente, a saber:

(1) Funções do tipo *ToMake*: realizam um estado parcial específico. A meta, ou finalidade, das funções do tipo *ToMake* é fazer o produto, ou componente, realizar um estado no qual determinada especificação seja verdadeira. Depois que o estado for realizado nenhum esforço específico será necessário para manter o valor da especificação verdadeiro (ou não importa que estado o produto, ou componente, obtenha depois que o estado desejado for realizado). Em outras palavras, uma função do tipo *ToMake* expressa a idéia de ser realizada por um: (a) estado parcial específico; (b) valor de parâmetro essencial ou (c) estado de algum parâmetro essencial manipulado pela ação do verbo. Por exemplo, na função “facilitar a montagem da válvula de controle do fluxo d’água” a preocupação está centrada apenas na montagem da válvula de controle do fluxo d’água no corpo da torneira.

(2) Funções do tipo *ToMaintain*: realizam e sustentam um estado desejado. A meta, ou finalidade, das funções do tipo *ToMaintain* é manter o produto, ou componente, em um estado realizado, mesmo que ele esteja na presença de uma perturbação interna ou externa que potencialize sua mudança de estado.

O estado realizado por funções do tipo *ToMaintain* indica que há um processo ativo que assegura o valor de um parâmetro durante certo tempo, mesmo sob certas faixas de variação. Em geral, funções do tipo *ToMaintain* possuem três características: (a) monitoração contínua; (b) uma faixa de valores para manter a variação de determinados parâmetros; (c) possibilidade de ajustes, quando necessário, dos valores das variáveis dentro de uma faixa predefinida. Na maioria das vezes, as três características envolvem ações cíclicas contínuas para manter o sistema fora de um estado desejado. Por exemplo, na função “manter uma temperatura em 40°C” há necessidade de: (a) monitoração do valor da temperatura; (b) uma

faixa de valores toleráveis de variação da temperatura; (c) ajustar a temperatura.

(3) Funções do tipo *ToPrevent*: mantém um sistema fora de um estado indesejado. A meta, ou finalidade, das funções do tipo *ToPrevent* é prevenir explicitamente o produto, ou componente, de um estado indesejado.

A meta, ou finalidade, das funções do tipo *ToPrevent* é prevenir ou impedir que uma especificação seja verdadeira. Para isso, algum processo causal ativo no produto, ou componente, tem que garantir essa meta (logicamente, nas funções do tipo *ToPrevent* as especificações podem ser escritas como *ToMaintain–Not* - impedir que certas especificações sejam verdadeiras). Na prática, a diferença entre *ToPrevent* e *ToMaintain–Not* são as diferenças primárias de intenção e continuidade de uso em um dado sistema. Em outras palavras, os comportamentos de *ToPrevent* previnem explicitamente um estado indesejado. Assim, as funcionalidades do tipo *ToPrevent* fornecem: (a) descrições com pequenos termos; (b) mecanismo de segurança ou falha e c) não operam para a permanência normal e contínua.

(4) Funções do tipo *ToControl*: delega ao sistema o poder de regular mudanças de estado via um relacionamento conhecido. Controlar algo ou alguma coisa implica em uma relação multivalorada direta entre a ação do produto, ou componente, e os efeitos resultantes. As funções de controle refletem conhecimento funcional específico de como o produto fornece múltiplas saídas e manipula os seus componentes para fornecer a exata saída desejada. A simulação das funções de controle requer a habilidade para ajustar comportamentos (especificar parâmetros de estados) de modo que demonstrem como os estados dados causam os estados finais. Especificamente, os parâmetros relacionados ao comportamento mudam devido à: (a) configuração das entradas do produto; (b) inter-relações entre os componentes.

Além disso, as funções de controle não explicam o mau funcionamento do produto ou componente apenas pela verificação de um comportamento geral que conduz do estado inicial ao estado final, mas também pela consideração de violações de dois requisitos específicos de controle: parâmetros de estado e comportamentos esperados. No primeiro,

- (a) Abertura/fechamento (se está oxidada ou quebrada) e
- (b) Estado da válvula de controle do fluxo de água (se está oxidada ou quebrada).

No segundo, os ajustes propostos devem causar os resultados específicos esperados, isto é, os relacionamentos entre a torneira e seus componentes de controle de abertura/fechamento devem permanecer válidos.



#### 2.3.4.4 – Visão da RFCE de Iwasaki e colaboradores

Segundo Iwasaki e colaboradores (IWASAKI; CHANDRASEKARAN, 1992, IWASAKI et al. 1995), para entender o projeto de um produto são necessários dois tipos de conhecimento: (i) conhecimento sobre os princípios físicos gerais que determinam o comportamento do objeto de projeto no contexto da aplicação; (ii) conhecimento funcional relacionado a questão “O que o produto (sistema técnico) faz?”. Para Iwasaki e seus colaboradores, o conhecimento da estrutura e princípios físicos gerais de um produto ou subsistema possibilitam a predição do comportamento do produto e componentes, ou subsistema, sob determinadas condições. Porém, sem o conhecimento da intenção de projeto, também chamado de conhecimento teleológico, é impossível determinar se o comportamento predito ou observado é um comportamento (in)desejado. Portanto, não explicitar o conhecimento sobre o propósito funcional (ou intenção de projeto) do produto ou componente, a exemplo da abordagem funcional, implica ausência do:

(a) Raciocínio sobre o que um produto ou subsistema poderia fazer quando colocado em uma condição inesperada ou

(b) Inferência do comportamento de um produto ou subsistema em conhecer sua estrutura.

Os autores enfatizam que a necessidade da abordagem funcional e comportamental é para esclarecer a semântica incluída nos termos usados na descrição textual de função em linguagem natural. Sem a simultaneidade das abordagens e o esclarecimento semântico da funcionalidade é impossível avaliar um projeto baseado em seu comportamento e intenção de projeto, ou funcional (conhecimento teleológico). Nessa perspectiva, toda representação de conhecimento funcional deveria permitir a descrição explícita dos seus processos causais, bem como da sua semântica. Essa exigência é porque os autores acreditam que as partes essenciais do conhecimento funcional, a semântica dos constituintes (os descritores) usados na descrição textual de função em linguagem natural, são as relações causais. Por isso, a função para Iwasaki e Chandrasekaran (1992) é definida pela quintupla do: (i) tipo de função; (ii) propósito funcional; (iii), fragmento de modelo; (iv) condições funcionais; (v) mecanismo causal.

(i) A tipificação da função auxilia o projetista no estabelecimento da relação semântica entre o verbo e os outros constituintes da descrição textual de função em linguagem natural. Portanto, tipificar uma função é especificar a finalidade, meta ou objetivo da ação, (in)desejado, do verbo sobre os outros constituintes da descrição textual de função em

linguagem natural.

(ii) O propósito funcional possibilita a explicação causal responsável pela mudança de comportamento, ou transição causal.

(iii) O fragmento de modelo representa o conhecimento de um conceito relacionado a diferentes fenômenos físicos tais como (a) processos físicos; (b) características comportamentais das peças, objetos de projeto, detalhes geométricos ou *features*.

(iv) As condições funcionais (informações funcionais sobre o: (a) objeto; (b) ambiente; (c) interação do objeto *versus* ambiente) e mecanismo causal (informações sobre relação causal) são geralmente descritos textualmente em linguagem natural durante a modelagem dos requisitos/restrições, modelagem funcional da estrutura de funções do produto ou componentes.

**2.3.4.5 – RFCE: visão de Kitamura e colaboradores**

Para Kitamura e Mizoguchi (1998, 1999); Kitamura, Ikeda e Mizoguchi (1996, 1997) e Kitamura et al. (1998) a representação funcional de um produto combina uma seqüência de informações derivada do conjunto das seguintes camadas (cf. Figura 2-22):

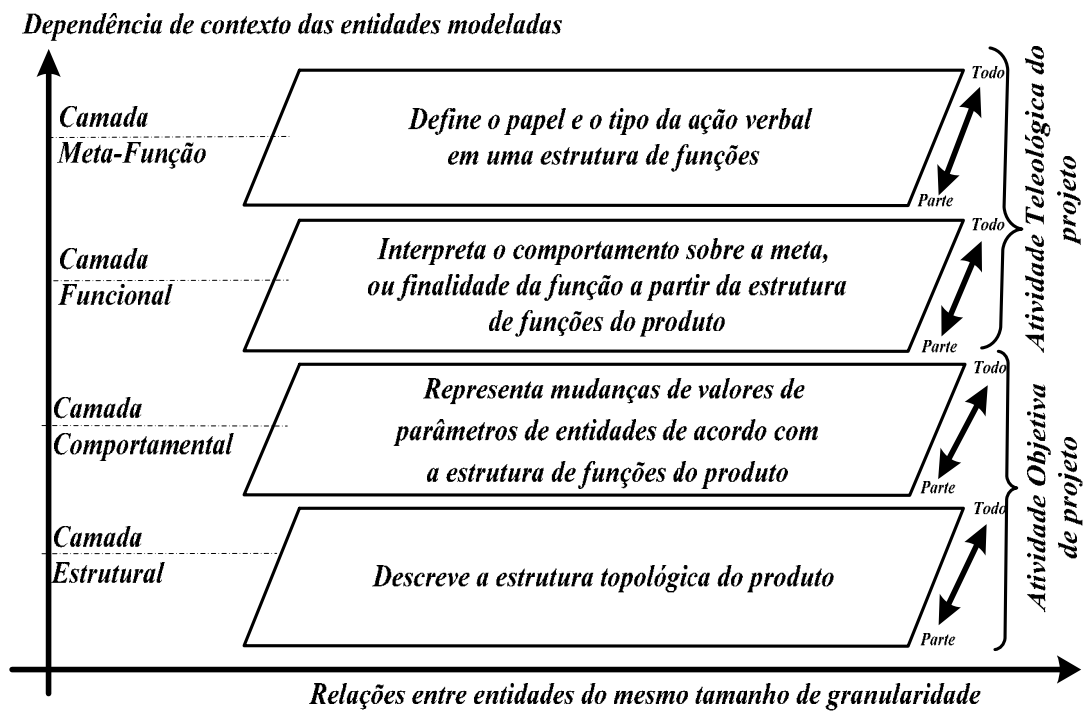


Figura 2-22: Diagrama Funcão – Comportamento – Estrutura (UMEDA et al.1990)

A estrutura em camadas de Umeda e colaboradores reflete a visão dos níveis de abstração de Kitamura e colaboradores a partir de três eixos de pesquisa:

(a) Dependência do contexto da aplicação: que varia de aspectos mais subjetivos para o mais concreto, isto é, que varia dos significados das idéias para a significação das estruturas ou formas geométricas dos elementos constituintes mais elementares e possíveis de realização;

(b) Relações de granularidade (referência ao tamanho das entidades, ou unidades semânticas básicas em determinado modo de operação): traça uma linha imaginária para alinhar e correlacionar as significações às suas respectivas categorias semânticas, categorias funcionais, categorias comportamentais e categorias estruturais. Em síntese, busca-se determinar os níveis da relação semântica-sintaxe dos constituintes da sentença funcional;

(c) Relação parte/todo: que organiza em uma estrutura hierárquica os: papéis ou tipos de verbos funcionais; interpretações dos comportamentos sobre uma meta; mudanças temporais de parâmetros e as estruturas topológicas dos subsistemas ou peças para o produto ou as formas geométricas para as peças.

A atividade objetiva do projeto é constituída de duas etapas: camada comportamental e camada estrutural. A camada estrutural descreve a existência de componentes, conexões físicas entre componentes e sua estrutura hierárquica. A camada comportamental representa as mudanças de valores de parâmetros e entidades sobre o tempo. As relações horizontais, na camada dos comportamentos, representam relações causais entre os parâmetros. As relações entre parte e todo representam as abstrações hierárquicas dos comportamentos. Segundo os autores, há três tipos de comportamentos:

(1) **Comportamento derivado do objeto** que pode ser interpretado dos aspectos relacionados aos objetos, chamado pelos autores de função do objeto;

(2) **Comportamento derivado da energia** que pode ser interpretado dos aspectos relacionados à energia, chamado pelos autores de função de energia;

(3) **Comportamento derivado da informação** que pode ser interpretado dos aspectos relacionados à energia, chamado pelos autores de função da informação;

A atividade teleológica do projeto é constituída de duas etapas: camada da meta-função e camada funcional. Na camada funcional as descrições textuais de funções em linguagem natural utilizam verbo e/ou substantivos; são definidas pelo contexto e tipificadas por metas de realização da função [baseada nos tipos de função de Keuneke (1991)]. Os autores definiram oito tipos de função e elas são organizadas em uma estrutura hierárquica por tipo e de acordo com o contexto de projeto. Na camada meta-função há oito tipos de funções:

(1) *ToProvide* – uma metafunção é do tipo *ToProvide* quanto ela realiza o papel de geradora (ou transferidora) de matéria para outra função. Por exemplo: a função da bomba: “Transferir água” tem uma metafunção *ToProvide* para a função da caldeira: “Produzir vapor”.

(2) *ToDrive* – diz-se da energia que essencialmente causa um processo interno. As condições dessa essencialidade são (i) a entidade alvo não pode ter matéria e (ii) tem que ser consumido intencionalmente pelo processo. Assim, a função que gera (ou transfere) a condução de energia é dita ser do tipo *ToDrive*. Por exemplo, a função da caldeira: “Produzir vapor” tem uma metafunção *ToDrive* em relação a função da turbina: “Produzir rotação” ou “Girar”.

(3) *ToEnable* – esta metafunção é usada para representar uma condição obrigatória que realiza um papel crucial em na função alvo exceto para as metafunções *ToProvide* e *ToDrive*. Função do tipo *ToEnable* tem primariamente um papel de uma função atributo para uma função objeto. Por outro lado, Função do tipo *ToProvide* tem um papel de uma função quantidade para uma função objeto ou um papel de uma função energia para uma função energia. Por exemplo, porque o vapor é gás, ele desempenha um papel crucial na ocorrência do processo de expansão de calor na turbina e, por ser o gás nem matéria de rotação nem a energia consumida, a função “Produzir vapor” da caldeira tem uma metafunção *ToEnable*.

(4) *ToAllow* e *ToPrevent* – são duas metafunções que tem relação com os efeitos colaterais indesejados de certas funções. Se uma função  $f_A$  tem um efeito positivo sobre o efeito colateral de outra função  $f_T$  diz-se que a função  $f_A$  tem uma metafunção *ToAllow* em relação a função  $f_T$ . Um efeito colateral indesejável está definido em uma relação com outra função ou com o sistema como um todo.

Se um sério problema (por exemplo, de falha) é causado em uma função  $f_{T2}$  quando função  $f_{A2}$  não é realizada, diz-se que a função  $f_{A2}$  tem uma metafunção *ToPrevent*, por causa do mal funcionamento da função  $f_{T2}$ .

(5) *ToImprove* e *ToEnhance* – a diferença entre uma função do tipo *ToImprove* de uma *ToEnhance* é realizada pelo incremento de quantidade de energia de entrada. Por isso estas metafunções representam contribuições opcionais para uma dada função  $f_T$ . Por exemplo, a função “Manter baixa pressão” de um condensador contribui para a eficiência da função “Produzir rotação” sem incrementar a entrada de energia e, por esse motivo, essa função é do tipo *ToImprove*. Por outro lado, a função “Superaquecer” da caldeira opcionalmente incrementa a quantidade da entrada de energia e, por causa disso, essa função é do tipo *ToEnhance*.

(6) *ToControl* – quando uma função  $f_A$  regula o comportamento de uma função  $f_T$  diz-se que a metafunção de  $f_T$  é do tipo *ToControl*. Por exemplo, supor uma válvula que controla a mudança de quantidade de fluxo de gás combustível para a caldeira a fim de manter a quantidade de fluxo de vapor. Diz-se que a função “Produzir vapor” da caldeira é uma metafunção do tipo *ToControl*.

## 2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, apresentou-se uma síntese sobre os principais conceitos e estrutura utilizados nas metodologias de projeto de produto e peça. Na etapa do projeto conceitual de produto e peça das metodologias de projeto analisadas, as duas principais abordagens empregadas são: (i) abordagem funcional; (ii) abordagem funcional e comportamental. Uma vantagem da abordagem funcional é o poder de abstração, enquanto na abordagem funcional e comportamental é a possibilidade de se trabalhar com as:

(a) Atividades subjetivas ou teleológicas: que possibilita a identificação do propósito funcional da ação do verbo sobre a sentença funcional;

(b) Atividade objetivo: que possibilita a determinação, ou potencializa, os possíveis comportamentos e estruturas dos objetos de projeto imaginados.

Observou-se que a necessidade da aplicação da abordagem funcional/comportamental tem ido além da formalização para reuso de conhecimento funcional no projeto de produto. Nesse sentido, um dos grandes resultados da abordagem funcional/comportamental é o sucesso com pesquisas com raciocínio funcional, diagnóstico e simulação, mas apenas em nível de produto.

Em nível de metodologia de projeto, deve-se destacar a significativa contribuição de Roy e Bharadway ao modelo de função de Pahl e Beitz, com adição da abordagem comportamental. Dessa forma, pode-se dizer que o modelo de função de Pahl e Beitz estendido (ou o modelo de função de Roy e Bharadway) utiliza a abordagem funcional/comportamental. Apesar dos autores proporem o conceito de comportamento de peça somente para a etapa do projeto detalhado de peça, esse mesmo conceito de comportamento pode ser estendido para o projeto conceitual com enfoque no detalhe geométrico de peça.

Contudo, os diferentes modelos de se descrever textualmente função em linguagem natural utilizando o modelo de função de Pahl e Beitz (baseado apenas na abordagem

funcional) e o modelo de função de Roy e Bharadway (baseado nas abordagens funcional e comportamental) não suportam a abordagem lingüística. Portanto:

- (1) Falta um modelo de função baseada na abordagem lingüística;
- (2) Faltam metodologias de suporte à linguagem natural em nível de produto, subsistema e peça;
- (3) Falta esforço de pesquisa para se definir e estabelecer as possíveis inter-relações entre todos os tipos de conhecimento que normalmente se incluem em uma sentença funcional;
- (4) Falta um esquema de representação de conhecimento funcional para possibilitar o efetivo (re)uso de conhecimento funcional.

A superação dessa dificuldade, e das outras elencadas anteriormente, requer estudos adicionais sobre novas abordagens e metodologias relacionadas à linguagem natural, ou a abordagem lingüística. Em relação às metodologias de projeto de produto e peça falta estudo adicional sobre as formas de descrever textualmente função em linguagem natural sob o ponto de vista da lingüística. Contudo, a inexistência de metodologias baseadas na abordagem lingüística e ferramentas de suporte ao processo de projeto de produto e peça com ênfase no processamento da linguagem natural para tratar as descrições textuais de função em linguagem natural sugerem a necessidade de um modelo de função baseado na abordagem lingüística.

## **CAPÍTULO 3 - PROCESSAMENTO DA LINGUAGEM NATURAL NAS METODOLOGIAS DE PROJETO**

### **3.1 INTRODUÇÃO**

Na etapa do projeto conceitual de peça, uma importante questão de pesquisa, nos últimos tempos, é o entendimento do conceito de função. Os esforços de pesquisa em relação à definição de função têm evoluído de conceitos baseados apenas na abordagem funcional (e.g., PAHL; BEITZ, 1996; PAHL et al., 2005) a conceitos baseados nas abordagens funcional e comportamental (e.g., CHITTARO; KUMAR, 1990; CHITTARO et al., 1998; CHAKRABARTI, 1998; ROY; BHARADWAY, 2002; DENG, 2002; CHANDRASEKARAN, 2005).

Para Deng (2002), um dos pesquisadores centrados nas abordagens funcional/comportamental, a definição de função é baseada em dois tipos de semânticas, classificadas em: (i) propósito funcional; (ii) ação funcional. O propósito funcional, o primeiro tipo de semântica, incluído na sentença funcional descreve a intenção de projeto, ou propósito de projeto e, por isso, ele é considerado uma entidade abstrata e subjetiva. Além de ser uma entidade abstrata e subjetiva, essa semântica é orientada pelo conhecimento idiossincrático (ver Glossário) e intencional do projetista. Por essa razão, diz-se que o propósito funcional reflete um conhecimento teleológico (ver Glossário). No segundo tipo de semântica, a ação funcional, a semântica pode ser abstraída do comportamento útil e intencional exibido por objeto de projeto. O autor ainda sugere que essas informações estão incluídas no (i) conhecimento teleológico; (ii) conhecimento funcional relacionado ao comportamento útil e intencional de certos objetos de projeto.

As pesquisas centradas nas abordagens funcional/comportamental, de modo geral, sugerem a existência de muita ubIF incluída no conhecimento funcional usado na sentença funcional que precisa ser formalizada. Também, na literatura sobre metodologia de projeto de produto e peça, há o consenso de que na etapa de projeto conceitual o conhecimento funcional dos projetistas é imprescindível na geração de conceitos funcionais relacionados na definição de produto, subsistemas e peças (ULLMAN, 1992; ROOZENBURG; EEKELS, 1995; PAHL; BEITZ, 1996; YOSHIOKA; SEKIYA; TOMIYAMA, 1998; DENG, 2002; CHANDRASEKARAN, 2005).

Nesse sentido, verifica-se que há a necessidade da implementação de sistemas de

processamento de linguagem natural (SPLN) para auxiliar os projetistas na análise, extração e armazenamento para (re)uso efetivo de ubIF incluída na funcionalidade em linguagem natural durante a modelagem de sentença funcional na etapa de projeto conceitual de peça. As pesquisas com sistemas baseados em Processamento da Linguagem Natural (PLN), em geral, precisam de vários módulos para realizar os diversos níveis de processamento tais como os módulos de análise: morfológico, sintático, semântico, do discurso e pragmático. O PLN congrega muitas áreas, principalmente, estudos nas áreas de Ciência da Computação, Lingüística e Ciências Cognitivas e, tendo um caráter genuinamente multidisciplinar. Além disso, o PLN é um ramo da Inteligência Artificial (IA) que tem por objetivo interpretar ou gerar textos em uma linguagem natural, com pesquisas em várias línguas, tais como: Português, Inglês, Francês, Espanhol, dentre outras.

Neste capítulo, apresentam-se os principais módulos e conceitos usados no PLN. Adicionalmente, são estudados exemplos de aplicações utilizando técnicas de PLN nas etapas da metodologia do processo de projeto de produto e peça da literatura ou campo de pesquisa em Engenharia Mecânica que se enquadram na linha de pesquisa deste trabalho. Nessa perspectiva, e em relação às abordagens estudadas no capítulo anterior, buscam-se perspectivas teóricas para o desenvolvimento e implementação de um sistema para realizar a análise gramatical e análise comportamental das sentenças funcionais durante a modelagem da estrutura de funções de peça. Finalmente, os vários aspectos e proposições desta revisão são destacados e comentados.

### **3.2 PLN: ANÁLISE E EXTRAÇÃO DE ubIF**

Alguns pesquisadores de metodologia de projeto como, e.g., Chakrabarti e Bligh (2001) têm descartado o uso da linguagem natural na representação de conhecimento funcional. Segundo esses autores, a dificuldade com o uso da linguagem natural é devido à falta de precisão dos constituintes (como, e.g., verbo, substantivo) da sentença funcional (ou sentença ou descrição textual de função em linguagem natural - DTFNL). Os autores enfatizam que os constituintes de uma sentença funcional possuem uma semântica que é difícil de determinada, pois elas denotam ubIFs relacionadas às ações ou efeitos requeridos pelos problemas de projeto ou por alguma solução conceitual.

Chakrabarti e Bligh (2001) reivindicam a necessidade de um esquema de representação de conhecimento funcional capaz de capturar, organizar, classificar e integrar para (re)uso efetivo as ubIFs incluídas nos constituintes da sentença funcional. Contudo, para que o



esquema de representação de conhecimento funcional consiga cumprir as necessidades requeridas, ele precisa ter métodos de suporte às ubIFs descritas em linguagem natural.

O desenvolvimento de métodos para lidar com as ubIFs descritas em linguagem natural precisa ter estratégias de análise gramatical em língua portuguesa escrita. Em outras palavras, os métodos de análise das sentenças funcionais precisam ser baseados na abordagem lingüística, i.e., tais métodos necessitam suportar a análise gramatical ou sintática.

### 3.3 – PLN

Os sistemas que processam linguagem natural têm a arquitetura igual a mostrada na Figura 3-1.

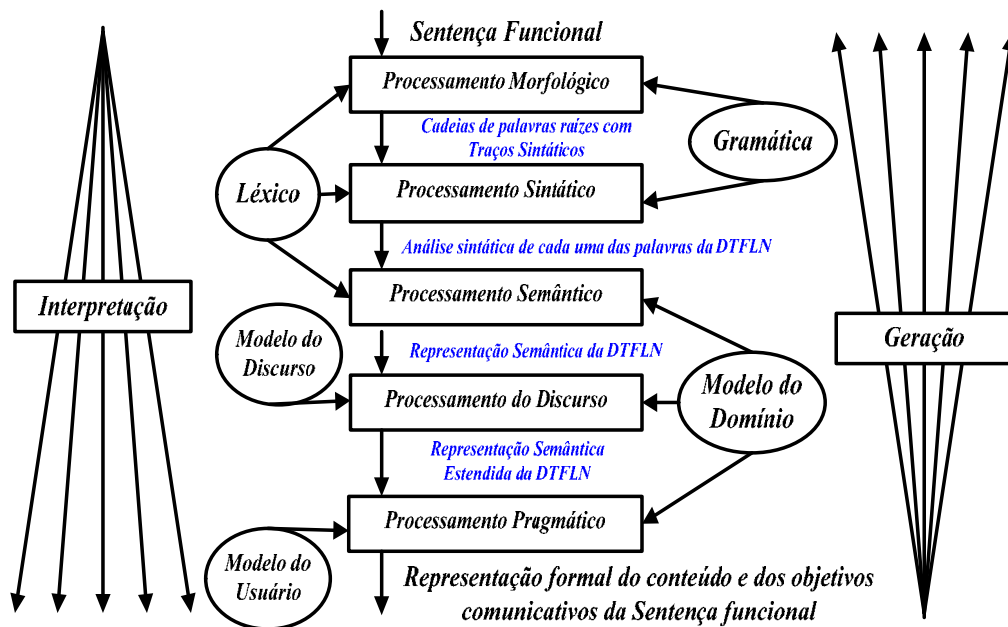


Figura 3-1: Arquitetura geral dos sistemas que processam linguagem natural<sup>1</sup> (adaptado de BARROS; ROBIN, 1996)

Os sistemas que processam linguagem natural (SPLN), em geral, precisam de vários módulos para realizar os diversos níveis de processamento como, e.g., os módulos de análise morfológica, sintática, semântica, discurso e pragmática – conforme mostrado na Figura 3-1. A comunicação entre os diversos níveis de processamento dos módulos de análise ocorre pela passagem das representações intermediárias da sentença funcional em análise. Na Figura 3-1, o fluxo de informação muda de acordo com a tarefa do tipo de sistema de interpretação ou geração da linguagem natural.

Na interpretação da linguagem natural, se a entrada for a sentença funcional, a saída será

uma representação formal do conteúdo e dos objetivos comunicativos da sentença. Essa representação é dependente da aplicação, e.g., em:

(a) Interfaces para banco de dados, cuja saída é uma consulta em uma linguagem de perguntas – *query language*, e

(b) Tradutores automáticos, onde a saída é uma representação conceitual da sentença funcional independente das línguas de origem e destino, uma representação intermediária denominada de interlíngua.

Na geração da linguagem natural, o fluxo se inverte e a sentença funcional é gerada a partir de uma representação formal do seu conteúdo esperado e dos seus objetivos de comunicação.

Os SPLNs precisam de conhecimento funcional armazenado em bases de conhecimento necessárias ao processamento de sentença funcional. Na Figura 3-1, e.g., há cinco bases de conhecimento representadas por: (i) Gramática que contém um conjunto de regras relacionadas à análise sintática; (ii) Léxico que contém um banco de dados que relaciona sintaxe e semântica de um conjunto de palavras de determinado domínio de aplicação; (iii) Modelo do discurso que contém informações lingüísticas; (iv) Modelo do domínio que contém informações sobre o domínio específico da aplicação; (v) Modelo do usuário que reflete a estrutura de dados pensada pelos projetistas. Em seguida, cada um dos módulos da arquitetura é analisado.

Logo, para desenvolver metodologias baseadas na abordagem lingüística capazes de organizar de forma adequada as ubIFs explícitas/implícitas nas sentenças funcionais é necessário estudar como a sintaxe e semântica dos constituintes podem ser estruturados nas bases de conhecimento e processados, discriminados e correlacionados de modo adequado pelos módulos do SPLN.

### 3.3.1 PROCESSAMENTO MORFOLÓGICO

O processamento morfológico envolve a identificação e separação dos componentes significativos da sentença funcional sob análise, comumente chamadas de cadeia de caracteres (também denominadas de palavras, *tokens*, *string*), tais como as:

(a) Palavras e os símbolos de pontuação (se houver) ou

(b) Associação de atributos ou traços gramaticais e/ou traços semânticos de cada cadeia de caracteres, com base em consultas em um léxico.

Dependendo da estrutura do léxico e dos atributos requeridos pela aplicação o

processamento morfológico pode ser simples. Para a extração de atributos a partir da morfologia dos constituintes da sentença funcional pode ser necessária uma etapa de processamento morfológico anterior ou concomitante com a análise léxica. Assim, com a análise morfológica pode-se estudar a estrutura (ou forma) das palavras através dos morfemas, e suas leis de formação e inflexão, conforme ilustrado na Tabela 3-1.

Tabela 3-1: Elementos mórficos, morfemas: conceitos e exemplos<sup>1</sup>

<b>ELEMENTOS MÓRFICOS: conceitos e exemplos</b>	
<p><b>RADICAL</b> (Semantema, lexema ou morfema lexical) As palavras da mesma família são geradas, e mantêm uma base de significado comum.</p>	<p><b>LIGa</b>      <b>LIGAr</b>      <b>LIGaço</b></p> <p style="text-align: center;">↑                    ↑                    ↑</p> <p style="text-align: center;">                    Radical                   </p>
<p><b>VOGAL (A)TEMÁTICA</b> Na língua portuguesa do Brasil, algumas palavras não possuem a vogal temática e, por isso, são chamadas de <b>ATEMÁTICAS</b>, tais como: <i>luz, mar, ar</i>, terminadas em consoantes. As vogais temáticas caracterizam-se pela conjugação dos verbos terminados em: “ar”; “er” ou “ir”.</p>	
<p><b>a) Nominais</b> Referem-se a um substantivo ou adjetivo.</p>	<p><b>b) Verbais</b> Referem-se a um verbo.</p>
<p><b>buchA</b>      <b>hastE</b>      <b>pinO</b></p> <p style="text-align: center;">↑                    ↑                    ↑</p> <p style="text-align: center;">                    Vogal Temática                   </p>	<p><b>apoiAr</b>      <b>retEr</b>      <b>transmitIr</b></p> <p style="text-align: center;">↑                    ↑                    ↑</p> <p style="text-align: center;">                    Vogal Temática                   </p>
<p><b>AFIXOS</b> Agregam-se a uma raiz ou a um radical a fim de: (a) Mudar o sentido de uma palavra, (b) Estabelecer uma idéia acessória e (c) Mudar a classe de uma palavra.</p>	
<p><b>a) Prefixos</b> (regra de fixação) São antepostos ao radical.</p>	<p><b>b) Sufixos</b> (regras de sufixação) São pospostos ao radical.</p>
<p><b>Alojar</b>      <b>INTERligar</b>      <b>TRANSformar</b></p> <p style="text-align: center;">↑                    ↑                    ↑</p> <p style="text-align: center;">                    Prefixo                   </p>	<p><b>escalONAMENTO</b>      <b>ligAÇÃO</b>      <b>radIALMENTE</b></p> <p style="text-align: center;">↑                    ↑                    ↑</p> <p style="text-align: center;">                    Sufixo                   </p>
<p><b>DESINÊNCIAS</b> – Indicam as flexões da palavra.</p>	
<p><b>a) Nominal</b> – Indica o gênero e o número dos nomes.</p>	<p><b>b) Verbal</b> – Indica tempo, modo, número, pessoa e, também, as formas nominais do verbo.</p>
<p><b>bielA</b>                      <b>pinOS</b></p> <p style="text-align: center;">Desinência de gênero feminino ↑      Desinência de gênero masculino ↑      Desinência de número plural ↑</p>	<p><b>interligAVAS</b></p> <p style="text-align: center;">Vogal temática ↑      Desinência de número-pessoal (2ª pessoa do singular) ↑      Desinência modo-temporal (pretérito imperfeito do indicativo) ↑</p>

A utilização de regras morfológicas no processamento morfológico possibilita que SPLN armazenem apenas os radicais das palavras, e derivem suas formas flexionadas pela aplicação de regras pertinentes. Além disso, o estudo das regras de formação das palavras pode dar suporte à construção de verificadores ortográficos automáticos.

### 3.3.2 – PROCESSAMENTO SINTÁTICO

O processamento sintático é responsável pela construção (ou recuperação) da estrutura sintática válida para a sentença funcional de entrada. Nas sentenças funcionais válidas, o

processamento sintático é baseado na análise sintática das regras que governam a formação das próprias sentenças funcionais.

No PLN, uma sentença funcional é formada pelos constituintes de ordem superior, ordem inferior e as categorias básicas. Assim, os:

(a) Constituintes de ordem superior são formados pelos sintagmas nominais (SN) e sintagmas verbais (SV);

(b) Constituintes de ordem inferior são formados pelos sintagma preposicional (SP); sintagma adverbial (SAdv);

(c) Categorias básicas são formadas pelos constituintes do tipo: verbo, substantivo, preposição, advérbio, adjetivo, artigo e suas combinações.

Os tipos de sintagmas (SN, SV, SP e SAdv) são fundamentais na construção (ou recuperação) da estrutura sintática, ou gramatical, de sentença funcional, pois eles são usados para:

- (1) Analisar seqüências de palavras;
- (2) Verificar se as seqüências de palavras são gramaticalmente corretas ou não;
- (3) Modelar a estrutura lingüística de sentença funcional.

Os sintagmas são responsáveis pela conversão, regras de reescrita, de sentença funcional em uma construção gramatical de nível mais alto. Exemplos de regras de reescrita são geralmente descritas dessa forma:

(a) Uma sentença funcional pode ser composta de um sintagma nominal (SN) seguida de um sintagma verbal (SV): sentença funcional  $\leftrightarrow$  SN, SV;

(b) Um sintagma nominal pode ser composto de um substantivo: SN $\leftrightarrow$  Sub;

(c) Um sintagma nominal pode ser composto de um artigo seguido de um substantivo: SN $\leftrightarrow$  Artg, Sub;

(d) Um sintagma verbal pode ser composto de um verbo: SV $\leftrightarrow$  verbo;

(e) Um sintagma verbal pode ser composto de um verbo seguido de um sintagma nominal: SV $\leftrightarrow$  verbo, SN;

Contudo, uma importante etapa do PLN, no domínio da aplicação, é o planejamento do conjunto de regras sintáticas (também denominado como *sistema de produção*) que determinam a ordem linear dos constituintes de todas as sentenças funcionais válidas, com base na sua categoria sintática – termo que designa uma classe cujos membros pertencem ao mesmo “ambiente sintático”. Por exemplo, as palavras cilindro, tronco de pirâmide, perfil regular podem figurar no mesmo ambiente sintático, pois determinam tipos de geometrias de detalhes geométricos de peça. Deve-se lembrar que as categorias sintáticas são: verbo,

substantivo, adjetivo, advérbio, preposição, dentre outros.

Os constituintes de uma sentença funcional mantêm uma relação hierárquica entre si. Um exemplo dessa relação hierárquica, em termos de seus constituintes, pode ser observado na Figura 3-2, com a estrutura sintática da sentença funcional “Facilitar montagem do anel menor da biela”.

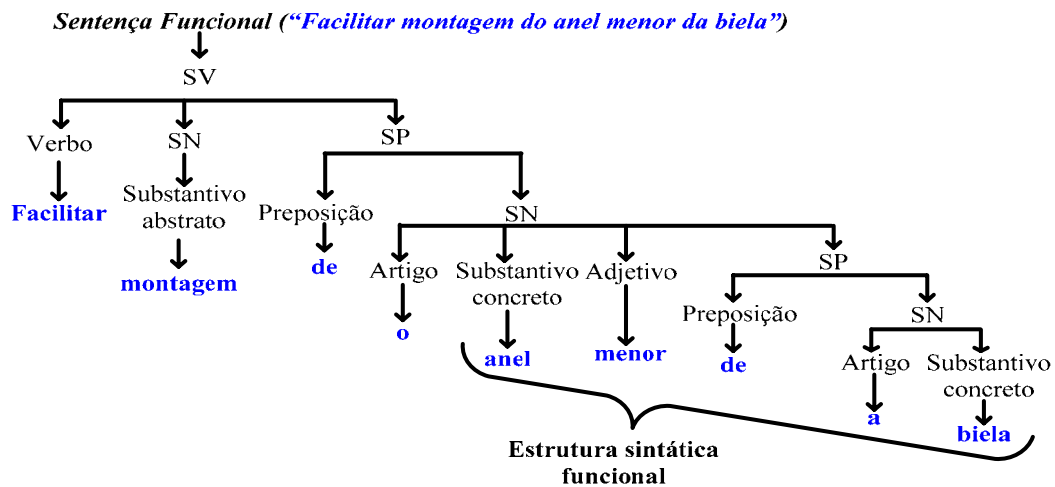


Figura 3-2: Exemplo de uma árvore com as categorias sintáticas da sentença funcional “Facilitar montagem do anel menor da biela”<sup>1</sup>

Uma contribuição deste trabalho é a proposta de uso do paradigma das Gramáticas Gerativas de Chomsky na análise sintática das sentenças funcionais. Assim, na análise gramatical das sentenças funcionais com as Gramáticas Gerativo-transformacionais (CHOMSKY, 1980), duas diferentes estruturas para cada sentença funcional podem ser identificadas, a: (i) estrutura de superfície (ver Glossário); (ii) estrutura profunda (ver Glossário).

A estrutura superficial é a organização sintática da sentença funcional tal como ela se apresenta, de modo que duas sentenças funcionais com o mesmo conteúdo e significado podem ter estruturas de superfície diferentes. Exemplos de sentenças funcionais com mesmo conteúdo sintático e diferentes estruturas superficiais são as sentenças funcionais: (i) Facilitar montagem do anel menor da biela; (ii) O anel menor facilita a montagem da biela. Na estrutura profunda a organização dos constituintes da sentença funcional está em um nível semântico. Assim, duas sentenças funcionais com estruturas superficiais diferentes podem ter a mesma estrutura profunda, como nos exemplos (i) e (ii).

A estrutura profunda é a organização dos constituintes em nível mais semântico, referente à sua estrutura superficial. Para capturar o conhecimento especializado do domínio de aplicação, as estruturas profundas de uma sentença funcional podem ser representadas por formalismos da IA como, e.g., redes semânticas e *Frames*. A estrutura profunda da sentença funcional “Facilitar montagem do anel menor da biela” pode ser representada (formalizada) pelo projetista através do uso do seguinte *Frame* (ver Glossário) da Tabela 3-2.

Tabela 3-2: Exemplo de um *Frame* para organizar as semânticas da sentença funcional “Facilitar montagem do anel menor da biela”<sup>1</sup>

<i>FRAME</i>	Forma de uso do atributo no projeto do produto/peça:		Significado do atributo
	Ciclo de vida	Atributo de Projeto	
<Verbo>	Projeto Conceitual	Determina espaços de passagem	A idéia é “antever obstáculos na montagem” ou “realizar um estado parcial específico”
Facilitar		Projeto Preliminar	
<Substantivo Abstrato>	Montabilidade	Passagens	Contato entre superfícies, passagens
Montagem		Rebaixos	
<Substantivo Concreto >	Projeto Preliminar	Relacionar tipos de geometria	Arredondamentos, chanfros, canais, rebaixos, <i>features</i> similares
Anel menor da biela	Projeto Detalhado		

Portanto, a interpretação de uma sentença funcional na etapa de projeto conceitual, e.g., depende do:

(a) **Mapeamento da estrutura sintática** em uma representação semântica superficial dos constituintes da sentença funcional. Assim, o mapeamento dos constituintes da sentença funcional é realizado pela análise gramatical através de alguma técnica de *parsing*, e.g., *parseando* a sentença funcional;

(b) **Mapeamento da representação superficial** dos constituintes da sentença funcional em uma representação profunda. Esse mapeamento pode ser obtido com formalismos da IA. Por exemplo, uma dessas alternativas é usando *Frame*, como mostrado anteriormente na Tabela 3-2.

### 3.3.2.1 Definição de *parser*

Para Lima e Vieira (2001) e Russell e Norvig (2003), um *parser*, ou analisador sintático, é um algoritmo que usa um dicionário e uma gramática para:

- (1) Analisar/verificar se a estrutura sintática de uma sentença é válida (bem formada) ou não;
- (2) Determinar a árvore sintática;
- (3) Identificar, na árvore, os sintagmas (do tipo nominal, verbal, preposicional e adjetival) e seus constituintes que geralmente tem artigo e um núcleo (substantivo, verbo, preposição e adjetivo, respectivamente);
- (4) Empregar o conhecimento sobre a sintaxe da linguagem, morfologia e um pouco da semântica.

Todavia, no desenvolvimento de analisadores gramaticais é necessário estudar os tipos de gramáticas formais para se escolher aquela que realmente pode ser usada para satisfazer as necessidades do SPLN em desenvolvimento.

### 3.3.2.2 Gramáticas Formais

O conceito de gramática formal foi desenvolvido por Chomsky a partir de 1956. Esse desenvolvimento ocorreu na tentativa de aplicar os conhecimentos da lógica matemática e, em especial, as funções recursivas de Gödel, Church, Turing, Post, Kleene e outros, às línguas naturais para possibilitar a representação num corpo teórico e rigoroso, sistemático e integrado aos resultados da análise lingüística empírica.

Uma linguagem formal especifica um conjunto finito ou infinito de sentenças ou cadeias de caracteres, com comprimento finito, obtido por concatenação sobre um alfabeto. Todas as sentenças ou seqüência de cadeias de caracteres dessa língua é o produto das combinações dos elementos desse alfabeto entre si. Por exemplo, seja A um alfabeto e L uma linguagem desse alfabeto.

Então, se o alfabeto A é definido pelo conjunto  $A = \{a, b, c\}$

Logo, a linguagem L será composta por  $L = \{a, b, aa, aba, ac, bac\}$ .

Para gerar um número infinito de sentenças, necessário nas línguas naturais, introduz-se o mecanismo de recursividade. Recursividade pressupõe a existência de um conjunto finito de funções  $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ . A estas funções são associadas regras de equivalência entre diferentes

partes das sentenças de uma língua, o que possibilita derivar um conjunto infinito de sentenças.

Assim, e.g., consideradas as sentenças  $f_1$  e  $f_2$  abaixo:

( $f_1$ )  $\underline{abc} \sim a$  [regra (i)] e ( $f_2$ )  $\underline{ab} \sim ba$  [regra (ii)]

onde o til ( $\sim$ ): *significa “é equivalente a”*

Define-se que o fragmento, a *cadeia de caracteres*, “abc” é equivalente ao fragmento “a” e que “ab” equivale a “ba”. Aplicando as regras recursivamente à sentença “a” tem-se:

a		<u>bac</u>	[regra (ii)]
<u>abc</u>	[regra (i)]	<u>abcc</u>	[regra (i)]

No exemplo acima, dizer que uma língua é recursivamente enumerável implica defini-la através de algum tipo de sistema formal, tal qual a máquina de Turing, que é o sistema formal mais geral que se conhece, conforme a hipótese de Church. Desde então, a classe das linguagens enumeráveis recursivamente representa o conjunto de todas as linguagens que podem ser reconhecidas mecanicamente em um tempo finito. Portanto, a sua definição matemática é uma quádrupla do tipo  $G = (A_n, A_t, R, S)$ , onde:

- (a)  $A_n$  é um conjunto finito, ou vocabulário, de símbolos não-terminais (as palavras da língua);
- (b)  $A_t$  é um conjunto finito, ou vocabulário, de símbolos terminais (as categorias sintáticas da língua);
- (c)  $R$  é o conjunto finito de regras de produção;
- (d)  $S$  é símbolo inicial da gramática.

Por exemplo, neste trabalho,  $S$  significa a Sentença Funcional, sentença ou Descrição Textual de Função em Linguagem Natural (DTFLN).

Além disso, a função  $G$  inclui as seguintes restrições:

- (a)  $A_n \cap A_t$  deve ser vazio;
- (b)  $S \in A_t$ ;
- (c) O vocabulário ( $V$ ) deve ser composto por  $A_n \cup A_t$ ;
- (d) O conjunto  $(A_n \cup A_t)^*$  representa a linguagem definida pelo fechamento transitivo De Kleene da união das linguagens  $N$  e  $A_t$  mais o elemento vazio ( $\epsilon$ );
- (e) As regras de produções são do tipo  $P = \{\alpha \rightarrow \beta \mid \alpha \in V^+ \text{ e } \beta \in V^* \}$ , onde  $V^*$  é o vocabulário da linguagem incluindo a sentença vazia, ou sinal de parada, ( $\epsilon$ ) e  $V^+ = V^* - (\epsilon)$ .

Chomsky também propõe o inter-relacionamento entre as linguagens das gramáticas na



sua *Hierarquia dos Tipos de Gramática* através do seguinte relacionamento:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Linguagens} \\ \text{Regulares} \end{array} \right) \subset \left( \begin{array}{c} \text{Linguagens} \\ \text{Livres de} \\ \text{Contexto} \end{array} \right) \subset \left( \begin{array}{c} \text{Linguagens} \\ \text{Sensíveis ao} \\ \text{Contexto} \end{array} \right) \subset \left( \begin{array}{c} \text{Linguagens} \\ \text{Enumeráveis} \\ \text{Recursivamente} \end{array} \right)$$

O formalismo gramatical pode ser classificado por sua capacidade gerativa, que é o conjunto de linguagem que uma gramática pode representar. Existem quatro tipos de gramáticas que diferem somente na forma das regras de reescrita. As gramáticas gerativas foram classificadas por Chomsky (1956) em quatro tipos, como mostrado na Tabela 3-3. O poder gerativo de uma gramática é determinado pela natureza de  $\alpha$  e  $\beta$  em P, pois esses elementos do vocabulário da LN indicam tipos de cadeias que tal gramática é capaz de gerar.

Tabela 3-3: Hierarquia de tipos de gramáticas (CHOMSKY, 1956)

TIPO	FORMA DAS PRODUÇÕES	LINGUAGEM
<b>Linguagens Regulares (Tipo 3)</b>	$\alpha$ : único símbolo não terminal $\beta$ : único símbolo terminal ou uma cadeia com único terminal e único não terminal.	Regulares
<b>Linguagens Livres de Contexto (Tipo 2)</b>	$\alpha$ : único símbolo não terminal $\beta$ : uma cadeia de símbolos com único terminal e/ou não terminal.	Inclui linguagens tais como $X^n Y^k Z^n$ ou $WW$ , onde $W$ é uma cadeia arbitrária de terminais e os dois $W$ 's, são idênticos.
<b>Linguagens Sensíveis ao Contexto (Tipo 1)</b>	$\alpha$ e $\beta$ : cadeias de símbolos terminais e não terminais; a quantidade de símbolos em $\alpha$ deve ser menor ou igual à quantidade de símbolos em $\beta$ ; $\alpha$ deve conter pelo menos um símbolo não terminal.	Sensíveis ao Contexto
<b>Linguagens Enumeráveis Recursivamente (Tipo 0)</b>	$\alpha$ e $\beta$ : cadeias de símbolos terminais e não terminais.	Qualquer linguagem gerada por uma máquina computacional.

**Tipo 0 ou Gramática Irrestrita:** a classe das linguagens recursivamente enumeráveis forma um superconjunto linguagem sensível ao contexto. As linguagens recursivamente enumeráveis podem ser definidas usando regras de produção irrestritas; como essas linguagens são menos restritas que as regras sensíveis ao contexto, as linguagens recursivamente enumeráveis são um superconjunto próprio das linguagens sensíveis ao contexto. Essa classe não é de interesse ao se definir a sintaxe da linguagem natural, embora ela seja importante na teoria da ciência da computação. Nenhuma restrição é imposta sobre a

forma ' $\alpha \rightarrow \beta$ ', o que faz com que este tipo de gramática possa gerar qualquer linguagem. As linguagens geradas por este tipo de gramática são exatamente aquelas reconhecidas pela Máquina de Turing;

**Tipo 1 ou Gramáticas Sensíveis ao Contexto (GSC):** as linguagens sensíveis ao contexto formam um superconjunto próprio das linguagens livres de contexto. Elas são definidas usando GSC que permitem mais de um símbolo no lado esquerdo de uma regra e tornam possível definir um contexto no qual aquela regra pode ser aplicada. Isso assegura a satisfação de restrições globais como concordância em número e outras verificações semânticas. A única restrição das regras sensíveis ao contexto é que o lado direito seja, no mínimo, tão longo quanto o lado esquerdo. Tem as produções na forma ' $\alpha \rightarrow \beta$ ' onde ' $|\alpha| < |\beta|$ ', ou seja, o lado direito da produção deve conter pelo menos a mesma quantidade de símbolos presentes no lado esquerdo;

**Tipo 2 ou Gramática Livre de Contexto (GLC):** as GLCs estão acima das linguagens regulares na hierarquia de Chomsky. A GLC é definida usando regras de reescrita como aquelas da seção 3.3.2; as regras livres de contexto podem ter apenas um símbolo não terminal no seu lado esquerdo como, e.g., SV [Símbolo não-terminal]  $\leftrightarrow$  verbo [Símbolo terminal]. Os analisadores compostos por rede de transição são capazes de analisar classe de linguagens livres de contexto. É interessante notar que se não houver a possibilidade de recursão num analisador compostos por rede de transição (aqueles cujos arcos só podem ser rotulados apenas com símbolos terminais, uma transição não pode “chamar” outra rede), então a classe de linguagens que pode ser assim definida corresponde às expressões regulares. Logo, as linguagens regulares são um subconjunto próprio das linguagens livres de contexto. As regras de produções são do tipo  $P = \{ \alpha \rightarrow \beta \mid \alpha \in A_n \text{ e } \beta \neq \epsilon \}$ . O lado esquerdo da regra de produção deve conter exatamente um símbolo, sendo este um não terminal. A GLC é a mais popular das gramáticas para as LN;

**Tipo 3 ou Gramática Regular (GR):** uma linguagem regular é aquela cuja gramática pode ser definida usando um autômato de estado finito – veja Apêndice A. Embora as linguagens regulares tenham muitos usos em ciência da computação, elas não são suficientemente poderosas para recuperar a sintaxe da maioria das linguagens de programação. Nas linguagens regulares as regras de produções são do tipo  $P = \{ A \rightarrow aX \mid A$

$\in A_n$  e  $a \in A_t$  e  $X \in (A_n \cup \{\varepsilon\})$ .

Para ilustrar a especificação e análise de gramáticas no PLN, deve-se considerar a gramática livre de contexto da Tabela 3-4 [exemplo adaptado de Luger (2004)]. As regras de reescrita definem uma gramática para sentenças transitivas simples como “Facilitar montagem do anel menor da biela”.

Tabela 3-4: Exemplo de uma gramática livre de contexto, com suas regras de reescrita<sup>1</sup>

	<b>[&lt;&lt;&lt;Sistema de produção (Conjunto de regras sintáticas) da gramática&gt;&gt;&gt;]</b>
1	<b>&lt;sentença&gt; → &lt;sintagma_verbal</b>
2	<b>&lt;sintagma_verbal &gt; → verbo &lt;sintagma_nominal&gt;&lt;sintagma_preposicional&gt;</b>
3	<b>&lt;sintagma_nominal &gt; → substantivo_abstrato</b>
4	<b>&lt;sintagma_preposicional&gt; → preposição &lt;sintagma_nominal&gt;</b>
5	<b>&lt;sintagma_nominal&gt; → artigo, substantivo_concreto,</b>
	<b>adjetivo,&lt;sintagma_preposicional&gt;</b>
6	<b>&lt;sintagma_preposicional&gt; → preposição, &lt;sintagma_nominal&gt;</b>
7	<b>&lt;sintagma_nominal&gt; → artigo, substantivo_concreto</b>
8	<b>[&lt;&lt;&lt;Conjunto de sintagmas que configura o sistema de produção&gt;&gt;&gt;]</b>
9	<b>&lt;verbo&gt; → Facilitar</b>
10	<b>&lt;substantivo_abstrato&gt; → montagem</b>
11	<b>&lt;preposição&gt; → de</b>
12	<b>&lt;artigo&gt; → o</b>
13	<b>&lt;substantivo_concreto&gt; → anel</b>
14	<b>&lt;adjetivo&gt; → menor</b>
	<b>&lt; substantivo_concreto &gt; biela</b>

As regras 8 a 14 têm palavras em português no lado direito; essas regras formam um dicionário de palavras que podem aparecer nas sentenças a serem processadas. As palavras não estão em negrito. Essas palavras são os terminais da gramática e definem um léxico da linguagem. Os termos que descrevem conceitos lingüísticos de mais alto nível (como, e.g., sentença, sintagma verbal, dentre outros) são denominados não-terminais. Não terminais aparecem em negrito.

Para que aconteça o processamento da linguagem natural da sentença, a sentença tem que ser bem formada, i.e., ela tem que ser válida para a gramática. Nesse caso, uma sentença válida é qualquer cadeia de terminais que pode ser derivada usando regras de reescritas pré-definidas, como as regras de reescritas definidas na Tabela 3-4. Uma derivação começa com o símbolo não-terminal “*Sentença\_Funcional*” e produz uma cadeia de terminais através de uma série de substituições definidas pelas regras da gramática. Assim, em uma substituição válida há uma comparação da palavra a ser combinada com um símbolo não-terminal e, em

seguida, uma correlação entre um símbolo não-terminal com uma regra de reescrita. Nos estágios intermediários da derivação, a cadeia pode conter tantos terminais quanto não-terminais e é denominada forma sentencial. Uma derivação da sentença “Facilitar montagem do anel menor da biela” pode ser vista na Tabela 3-5.

Tabela 3-5: Exemplo da análise sintática da sentença funcional “Facilitar montagem do anel menor da biela”<sup>1</sup>

CADEIA DE CARACTERES	Aplicação da regra sintática N°:
<Sentença_Funcional>	1
<sentagma_verbal>	2
Verbo <sentagma_nominal> <sentagma_preposicional>	8
Facilitar <sentagma_nominal> <sentagma_preposicional>	3
Facilitar substantivo_abstrato <sentagma_preposicional>	9
Facilitar montagem <sentagma_preposicional>	4
Facilitar montagem preposição <sentagma_nominal>	10
Facilitar montagem de <sentagma_nominal>	5
Facilitar montagem de artigo, substantivo_concreto, adjetivo <sentagma_preposicional>	11
Facilitar montagem do substantivo_concreto, adjetivo <sentagma_preposicional>	12
Facilitar montagem do anel adjetivo <sentagma_preposicional>	13
Facilitar montagem do anel menor <sentagma_preposicional>	6
Facilitar montagem do anel menor preposição <sentagma_nominal>	10
Facilitar montagem do anel menor de <sentagma_nominal>	7
Facilitar montagem do anel menor de artigo, substantivo_concreto	11
Facilitar montagem do anel menor da substantivo_concreto	14
<b>Facilitar montagem do anel menor da biela</b>	

A Tabela 3-5 demonstra como uma árvore sintática (como, e.g., a da Figura 3-2) pode ser analisada gramaticalmente por um conjunto de regras de reescrita (tais como as analisadas na Tabela 3-4). A análise começa com a decomposição sintagmática em nível superior da sentença funcional em SV e SN. Em seguida, os SV e SN são decompostos sintagmaticamente em SP e SAdv, de ordem inferior. Finalmente, os sintagmas são categorizados nos constituintes básicos, tais como os verbos, substantivos, preposições,

advérbios, adjetivos, artigos e suas combinações. O final do processamento da linguagem natural acontece quando há, ou não, uma substituição válida de uma procura, comparação e identificação da palavra a ser primeira combinada com um símbolo não terminal e, em seguida, uma correlação entre um símbolo não terminal com uma regra de reescrita.

A existência de uma derivação ou árvore sintática não apenas prova que uma sentença funcional é válida na gramática, como ela também determina a estrutura da sentença funcional. Embora as gramáticas sensíveis ao contexto possam definir estruturas de linguagens que não possam ser capturadas usando gramáticas livres de contexto, elas têm uma série de desvantagens para os analisadores sintáticos. As gramáticas sensíveis ao contexto:

(a) Aumentam dramaticamente o número de regras de reescrita e símbolos não-terminais da gramática, sem a inclusão das concordâncias de número, gênero e todas as outras formas de concordância necessárias em português;

(b) Obscurecem a estrutura frasal da linguagem que é tão claramente representada nas regras livres de contexto;

(c) Perdem as vantagens da separação dos componentes sintáticos e semânticos da linguagem ao tentar lidar com verificações de concordância mais complexa;

(d) Não tratam do problema da construção de uma representação semântica do significado do texto. O *parser* utilizado por elas simplesmente aceita ou rejeita sentenças e isso não é suficiente, pois ele precisava retornar uma representação útil da significação semântica da sentença.

### 3.3.2.3 Formalismos Gramaticais

Uma solução útil e poderosa implementada nos SPLN para o tratamento da linguagem natural são os vários tipos de *parser* baseados em redes de transição estendidas. A utilidade e poder das redes de transição estendidas advêm do fato destas redes serem baseadas nas redes de transição, ou rede de transição simples. Por outro lado, os vários tipos de *parser* utilizados nos SPLNs, também, podem usar diversos tipos de gramáticas para o processamento da linguagem natural através de diversos outros formalismos, tais como as: Gramáticas de Casos (*Case Grammars*) e Gramáticas de Unificação Funcional (*Functional Unification Grammars* - FUG).

## 1) Redes de transição

As redes de transição (RT) consistem em “nós” e “arcos”. Em uma RT, os “nós” representam os estados e “arcos” representam as categorias gramaticais. Essas redes de transição tanto reconhecem se dada cadeia de símbolos pertence a uma linguagem, bem como também fornecem sua estrutura sintática (os arcos que foram atravessados durante o reconhecimento da cadeia).

A Figura 3-3 ilustra uma RT que apresenta dois estados iniciais (1) e (2) e um estado final (6). Esta RT reconhece sentenças como “Acoplar pino cilíndrico ao pistão” ou “Ajustar elemento de acoplamento”. Nessa RT, os arcos (2, 2), (3, 3), (4, 4), (5, 5) e (6, 6) são denominados de *loops*. Estes loops são arcos que saem e chegam ao mesmo estado e representam as categorias opcionais de processamento da linguagem natural para as cadeias de constituintes da sentença funcional. Na RT da Figura 3-3, e.g., os arcos (4, 4) e (6, 6) representam os adjetivos, enquanto os arcos (2, 2), (3, 3) e (5, 5) representam os determinantes – os artigos o(s) e a(s).

O processo de reconhecimento se dá pelo casamento entre a categoria gramatical das palavras das cadeias e os rótulos dos arcos. A cadeia de palavras, ou símbolos, é dada como entrada, e as palavras são “consumidas” uma a uma, na ordem em que aparecem na frase. Por exemplo, a sentença “Acoplar radialmente o anel maior na bucha cilíndrica” ao ser processada pela RT, através dos seguintes arcos: verbo (1, 2), Adv (2, 3), Det (3, 3), Subs (3, 4), Adj (4, 4), Prep (4, 5), Det (5, 5), Subs (5, 6), Adj (6, 6).

Todavia, a sentença funcional “Eu quero acoplar anel maior” não será reconhecida pela gramática descrita pela RT da Figura 3-3, uma vez que ela começa com um pronome pessoal, e a gramática descrita pela RT exige que qualquer cadeia de palavras válida comece sempre com um verbo apenas.

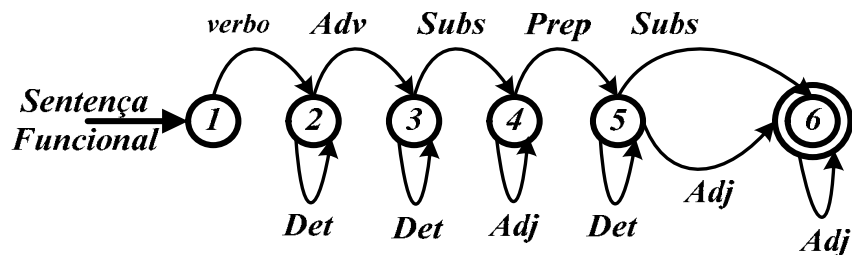


Figura 3-3: Exemplo de uma rede de transição (adaptado de LUGER, 2004)

As RTs também podem ser classificadas em: (i) RT simples [RTS]; (ii) RT recursiva [RT

R]; (iii) RT aumentadas [RTA].

**a) Redes de transição Simples (RTS)**

As RTS são autômatos de estado finito – veja Apêndice B com estados iniciais e finais. Essas redes não aceitam arcos circulares que levam a um estado anterior ao ponto de partida do arco, podendo conter, no máximo, arcos circulares como os vistos nas RT da Figura 3-3.

As RTS podem ser representadas por regras de produção como as usadas nas gramáticas livres de contexto da Tabela 3-4. Nesse sentido, a gramática equivalente à RTS da Figura 3-3 é dada por:

- <sentença\_funcional> → <SV >, <SAdv>, <SN>,<SP>
- <SV> → verbo
- <SAdv> → advérbio
- <SN> → artigo, substantivo, adjetivo
- <SP> → preposição

As RTS têm a mesma capacidade gerativa, e também estão sujeitas as mesmas limitações, das gramáticas regulares (tipo 3 em relação a hierarquia de Chomsky).

**b) Redes de transição Recursiva (RTR)**

As RTS cujos rótulos podem conter outra RT da gramática. As RTRs têm a mesma capacidade gerativa das GLCs como ilustrado na Figura 3-4. O efeito resultante de se percorrermos arcos que transferem o processamento para uma sub-rede é obtido nas GLCs através das chamadas recursivas.

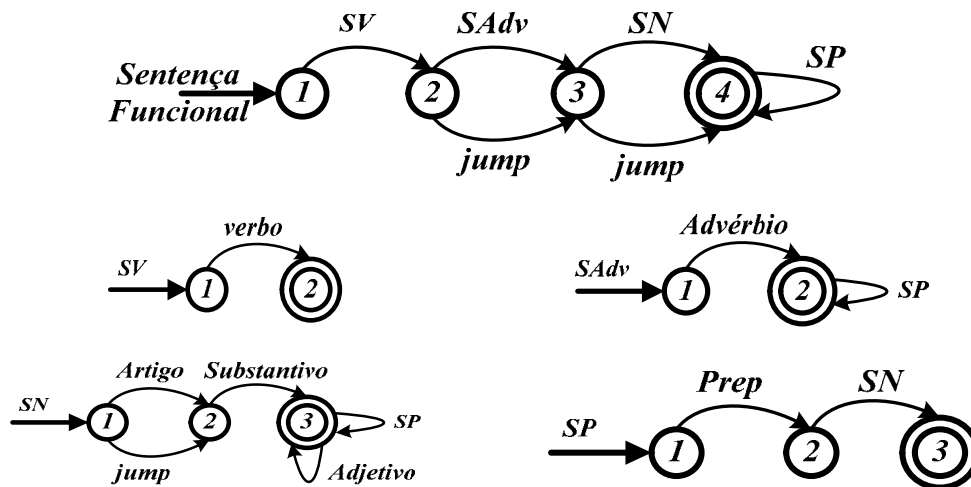


Figura 3-4: Exemplo de uma rede de transição recursiva derivada da Tabela 3-5

Contudo, essas redes não são capazes de verificar a concordância entre constituintes na sentença funcional (principalmente se houver essa necessidade), e.g., as RTR não conseguem detectar o problema de concordância entre os constituintes da sentença funcional “Acoplaram radialmente os anéis maiores na bucha cilíndrica”. Além disso, as RTR sofrem das mesmas limitações das GLCs.

### c) Redes de transição Aumentada (RTA)

Uma RTA é constituída de RTRs acrescida de condições e ações associadas aos arcos. Nesse caso, quando uma dada condição for verdadeira, um **arco** dependente dessa condição deve ser atravessado. A ação associada a um arco é responsável pela construção de uma estrutura descritiva do constituinte sob análise. Essas descrições parciais são armazenadas em registradores associados aos nós da árvore em construção. Dessa forma, os registradores podem ser vistos como variáveis.

Por exemplo, o problema da concordância da sentença funcional anterior pode ser resolvido agora. Para isso é necessário acrescentar condições e ações às RTRs da sentença funcional anterior supracitada, como mostrado na Tabela 3-6. Assim, a lista dos registradores utilizados pela RTA do exemplo acima é:

- Artg* – Registra a existência de um determinante, artigo, na cadeia sob análise;
- Conc* – Guarda a concordância do sintagma, tais como: gênero, número e pessoa;
- Núcleo* – Guarda a categoria do constituinte mais importante do sintagma, aquele que determina o tipo do sintagma;
- Substantivo* – Registra a existência de um substantivo no sintagma.

Tabela 3-6: Condições e ações associadas a um sintagma nominal

ARCO	CONDIÇÃO	AÇÃO
1 – 2	–	<b>Artg := artigo</b> <b>Concordância := conc.Artg</b>
2 – 3	<b>Conc <math>\cap</math> conc.Artg</b>	<b>Núcleo := substantivo</b> <b>Conc := conc.Artg <math>\cap</math> conc.Subs</b>
1 – 3	–	<b>Subs := substantivo</b> <b>Conc := conc.subs</b>



## 2) Gramáticas de Casos

Nos SPLNs, os analisadores sintáticos utilizam também vários tipos de gramáticas para o processamento da linguagem natural. Dentre os analisadores sintáticos utilizados, as gramáticas de casos são muito requeridas no processamento semântico de sentenças. Ao contrário das gramáticas sintáticas, as gramáticas de casos não utilizam a noção de sujeito, objeto. Na gramática de casos os papéis temáticos, ou casos, são atributos aos constituintes da sentença. Alguns desses papéis temáticos são:

<b>Papéis Temáticos</b>	<b>Função dos papéis</b>
<b>Agente:</b>	O ser animado que causa a ação
<b>Co-agente:</b>	Agente secundário na ação
<b>Tema (ou Paciente) :</b>	A coisa afetada pela ação ou sobre cuja existência se discute
<b>Instrumento:</b>	Força ou instrumento usado para causar a ação
<b>Beneficiário:</b>	A pessoa para quem a ação é realizada
<b>Localção:</b>	O lugar onde a ação ocorre
<b>Destinação:</b>	Localção final
<b>Fonte:</b>	Localção de origem
<b>Possuidor:</b>	Possuidor do tema
<b>Recipiente:</b>	Possuidor final
<b>Tempo:</b>	Tempo em que a ação ocorre

Na gramática de casos, o verbo é o principal constituinte de uma sentença funcional. É o verbo que determina os papéis temáticos que servem de argumento para ele. Por exemplo, os verbos facilitar e acoplar na sentença funcional 1 “Facilitar montagem do anel menor da biela” e sentença funcional 2 “Acoplar radialmente a biela na bucha de ligação”, teriam as seguintes entradas lexicais (veja Tabela 3-7).

- a) Facilitar, verbo – SP , SP (argumento: tema, localção);
- b) Acoplar, verbo – SP (argumento: tema, localção).

Tabela 3-7: Exemplos de relacionamentos entre os papéis temáticos e sintáticos e suas categorias sintática<sup>1</sup>

<b>Sentença 1</b>	<b>Facilitar</b>	<b>montagem</b>	<b>do anel menor da biela</b>	
<b>Papel temático</b>	-	Tema	Beneficiário	
<b>Papel sintático</b>	Núcleo do predicado	Substantivo abstrato	Objeto direto	
<b>Categoria sintática</b>	verbo	SN	SP	
<b>Sentença 2</b>	<b>Acoplar</b>	<b>radialmente</b>	<b>a biela</b>	<b>na bucha de ligação</b>
<b>Papel temático</b>	-	localção	Tema	Beneficiário
<b>Papel sintático</b>	Núcleo do predicado	Advérbio	Objeto direto	Objeto indireto
<b>Categoria sintática</b>	verbo	SAdv	SP	SP

Na gramática de caso, os papéis temáticos devem ser independentes da estrutura de superfície da sentença, por serem vistos como relações entre constituintes da estrutura profunda da sentença. Portanto, sentenças com significados diferentes devem ter representações distintas, e sentenças com o mesmo significado devem resultar na mesma representação.

### 3) Gramáticas de Unificação Funcional (GUF)

As GUFs são muito usadas na implementação de realizadores sintáticos para a geração de linguagem natural – esse tema da geração de linguagem natural não será abordado neste trabalho. Detalhes desse assunto encontram-se (McKEOWN, 1985; McKEOWN et al., 1990; McKEOWN; RADEW, 1995; PARIS, 1993; PASSONEAU et al., 1996).

Todavia, os conceitos básicos que norteiam as GUFs constituem-se em:

(a) Representação uniforme da entrada e saída como estruturas recursivas de traços sintáticos (como no da Figura 3-5) – chamados de Descrições Funcionais (DFs);

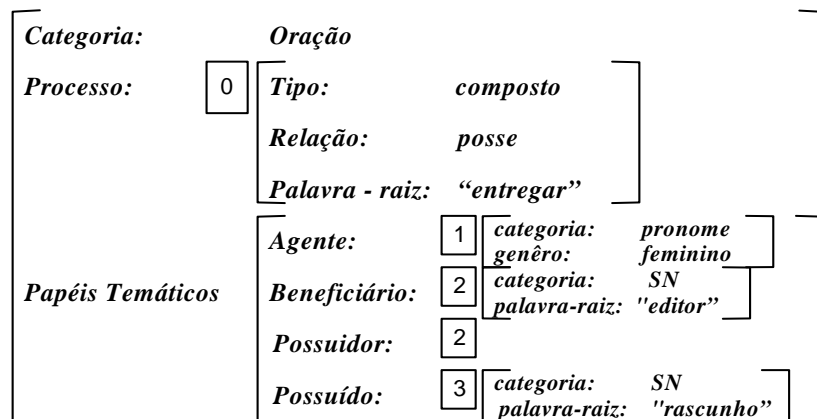


Figura 3-5: Exemplo da especificação de entrada para a geração de saída da sentença “Ela entrega o rascunho ao editor”

(b) Representação do mesmo programa com DFs de um tipo especial, chamadas de Gramática Funcional (GF): que incluem disjunções (introduzindo a necessidade de busca), e anotações de controle (permitindo codificar heurísticas para guiar essa busca);

(c) Representação das funções (papéis temáticos e sintáticos) de cada constituinte através dos nomes dos traços semânticos como “possuído” para o “rascunho” no exemplo da Figura 3-5;

(d) Representação das dependências estruturais entre os constituintes lingüísticos, através das estruturas recursivas das DFs e do traço chave <categoria> como, e.g., na Figura

3-5, a DF para “o rascunho” aparece embutida no seu papel temático possuído, e inclui o traço <categoria SN>;

(e) Computação baseada na operação recursiva e monotônica de unificação funcional da DF de entrada com a GF (programa), resultando na DF de saída.

A Figura 3-5 ilustra um exemplo de uma especificação de entrada para a geração da sentença “Ela entrega o rascunho ao editor”, onde para cada constituinte sintático há uma especificação para o seu:

- (1) Papel temático (agente, paciente, instrumento);
- (2) Categoria sintática;
- (3) Palavras de classe aberta (tais como verbos, substantivos, adjetivos e advérbios);
- (4) Traços sintáticos não-padronizados;
- (5) Alguns traços não-sintáticos provenientes do componente de tratamento pragmático e/ou componente de tratamento do discurso.

### 3.3.3 Processamento Semântico

A palavra semântica vem do grego *semano* e expressa o ato de significar. A representação semântica de um constituinte quer significar o conhecimento ou papel de tal por si mesmo ou em relação aos outros constituintes da sentença. Assim, há dois formalismos a ser considerado, em relação ao conhecimento que se quer expressar:

- (a) Representação do conhecimento da sentença;
- (b) Representação semântica de parte da sentença.

Segundo Rich e Knight (1994), a representação do conhecimento, de modo geral, pode ser classificada em fraca ou forte:

(a) **Fraca** quando fornece apenas a forma de representar o conhecimento tal como: redes semânticas, *Frames*;

(b) **Forte** quando, além da forma, fornece também parte do conhecimento à representação pré-definido como, e.g.: gramática de casos, script (roteiros), dependência conceitual.

Rich e Knight (1994) também categorizam a representação semântica em representação semântica superficial (RSS) e representação semântica profunda (RSP):

(a) **Representação semântica superficial (RSS)** é baseada na generalização lingüística pertencente às várias línguas e são independentes do domínio de aplicação tal como:

gramática de casos e dependência conceitual;

(b) **Representação semântica profunda (RSP)** é aquela baseada no formalismo da IA para representar o conhecimento especializado sobre um domínio específico, modelo do domínio, como, e.g., *scripts* e *Frames*.

A representação semântica do conhecimento, superficial ou profunda, é responsável pela interpretação de cada constituinte da sentença ou da sentença como um todo. Por esse motivo, o desenvolvimento de SPLN sempre exige um tipo específico de representação de conhecimento para a realização de interpretação relacionada ao contexto do próprio domínio da aplicação. Portanto, a interpretação de parte ou de toda a sentença poderá ser constituída nas seguintes etapas:

(a) Mapeando (“*parseando*”) a estrutura sintática da sentença funcional em uma representação semântica superficial (RSS) e, em seguida;

(b) Mapeando a RSS em uma representação semântica profunda (RSP) para cada constituinte e/ou para toda estrutura gramatical da sentença funcional.

Algumas das formas de representação de conhecimento citadas anteriormente são analisadas em seguida. Dentre as maneiras de representação de conhecimento, superficial ou profunda, estão as gramáticas de casos, restrições de seleção, hierarquia de tipo e redes semânticas. Como as gramáticas de casos já foram estudadas na secção 3.3.2.3 e os *Frames* apresentados na secção 3.3.2 e definidos no Apêndice A, algumas outras formas de representar o conhecimento são mostradas em seguida:

### a) Restrições de Seleção

A restrição de seleção é uma técnica usada em SPLN para restringir as possibilidades de combinações entre palavras através da atribuição de características restritivas às palavras. O SPLN explora a técnica quando da escolha de palavras a serem utilizadas na realização do conteúdo da sentença a ser expressa, bem como na tentativa de eliminação da ambigüidade léxica de tal conteúdo – quando for o caso. Exemplos de entradas léxicas com restrições de seleção associadas são:

(a) *mulher* → [+ humano], [+ feminino], [+ adulto];

(b) *menino* → [+ humano], [+ masculino], [- adulto] e

(c) *força* → substantivo [+ abstrato], [+ singular], [- processo de projeto], [+ processo causal].

### b) Hierarquia de Tipo

A hierarquia de tipo é uma técnica usada em SPLN para restringir certas possibilidades de combinações entre classes de características semânticas de palavras diferentes através da restrição de classes de palavras organizadas hierarquicamente - ver exemplo na Figura 3-6.

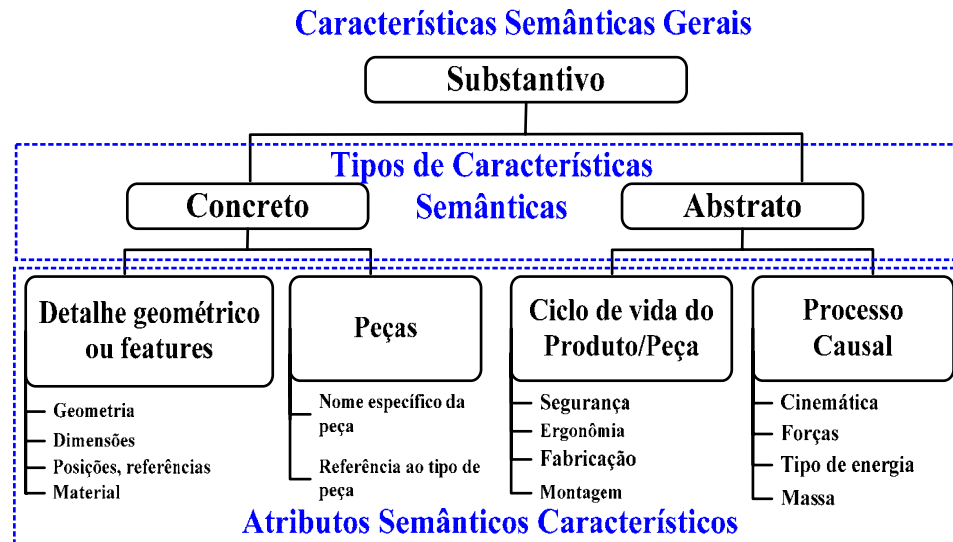


Figura 3-6: Hierarquia de Tipos para classificar palavras substantivas<sup>1</sup>

A tipificação dos substantivos pode ser uma interessante técnica para organizar as informações funcionais em categorias e de acordo com o tipo de substantivo concreto/abstrato e com aspectos relacionados aos substantivos concreto/abstratos.

### c) Redes Semânticas

A rede semântica é uma técnica usada em SPLN para conectar (relacionar) o significado de um conceito com outros conceitos. Na rede semântica, as informações são representadas como um conjunto de nós conectados entre si através de um conjunto de arcos marcados (inter-relacionamentos), que representam relações entre os nós. Um exemplo de uma rede semântica de um mancal baseado no conceito de mancal de Pahl et al. (2005) é mostrado na Figura 3-7.

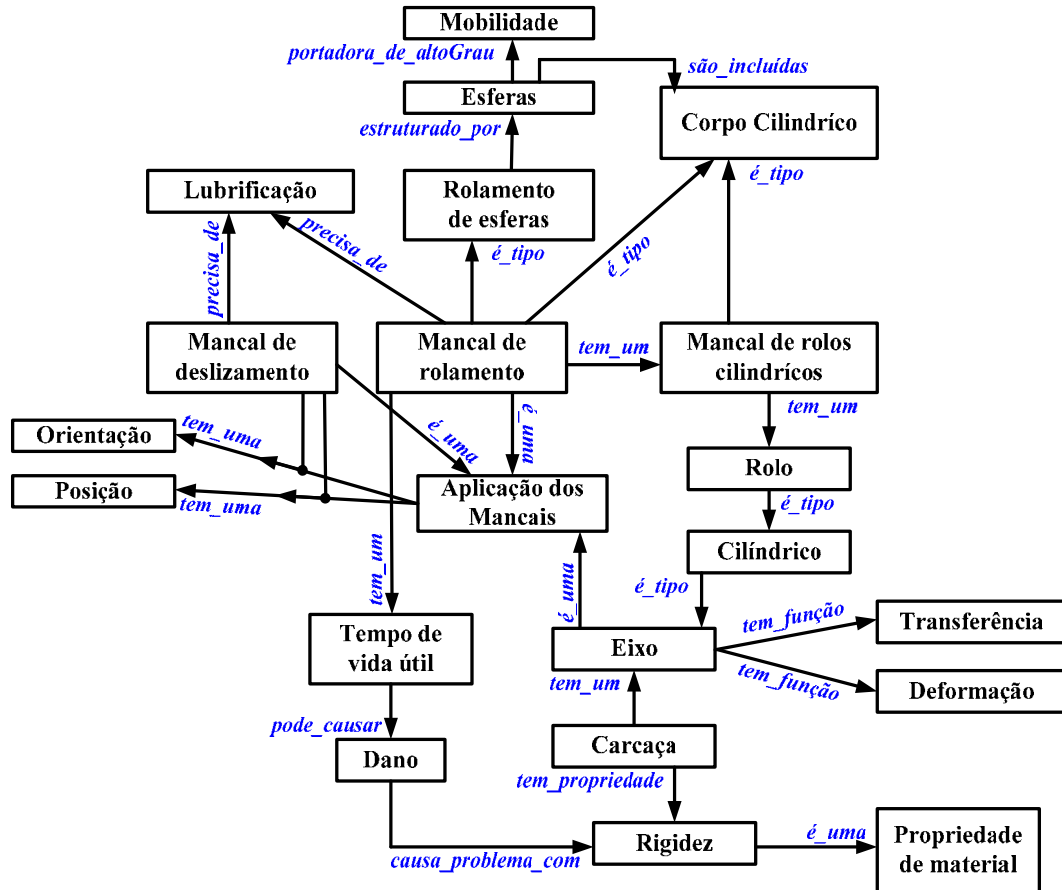


Figura 3-7: Exemplo de uma rede semântica elaborada a partir do conceito de mancal de Pahl et al. (2005)

Segundo Pahl et al. (2005), dentre os tipos de inter-relacionamentos que podem ser organizados pelas redes semânticas estão os:

(a) **Inter-relacionamentos entre concreto/abstrato** tais como rolamento de esfera de contato angular com rolamento de esferas; mancal de rolamento com mancal guia e conduzir forças e posicionar peças;

(b) **Inter-relacionamentos entre conjunto/peça (hierarquia)** como, e.g., instalação de máquina, subconjunto e item;

(c) **Inter-relacionamentos entre espaço/tempo** tal como disposição: na frente, atrás, em cima e baixo ou seqüência: primeiro este, depois aquele e, além delas, há outras como do lado direito, esquerdo, inferior, superior;

(d) **Inter-relacionamentos relativos a contradições (relações polares).**

Ainda segundo Pahl et al., as redes semânticas são organizadas e estruturadas por processos de pensamento, onde o próprio pensamento pode transcorrer com viés intuitivo ou discursivo. No pensamento intuitivo é que se manifesta o entendimento repentino e consciente

do verdadeiro processo de pensamento, mas de forma inconsciente – também denominado de *criatividade primária*. Essa criatividade primária é ativada através de ações mentais conscientes e inconscientes, a partir da disponibilização de recordações episódicas, conceitos vagos e definições imprecisas. Já o pensamento discursivo consiste em procedimentos conscientes que são comunicativos e influenciáveis. É no pensamento discursivo que o conhecimento sobre fatos e inter-relacionamentos são conscientemente analisado, valorado semanticamente e (re)combinado, (re)testado ou (re)analisado mais profundamente – processo denominado pelos autores de *criatividade secundária*.

Entretanto, os autores salientam a necessidade de uma estrutura de representação de conhecimento para organizar logicamente os conceitos funcionais sobre os fatos (da estrutura epistêmica:- o conhecimento de fatos e inter-relacionamentos acerca do âmbito da realidade na qual o problema deve ser resolvido) conhecidos pelos projetistas, independentemente do resultado do pensamento ter sido conseguido de modo intuitivo ou dedutivo.

### 3.3.4 Processamento do Discurso

O processamento do discurso inclui o conhecimento em geral sobre a estrutura do mundo que o usuário da língua deve ter para manter um diálogo, e isso inclui as suas convicções e objetivos desse modelo de mundo. Dessa forma, as unidades lingüísticas pertencentes às sentenças de um texto, os segmentos do discurso, também podem ser apreendidas como nas estruturas sintáticas e semânticas de uma sentença. Entretanto, a idéia é que cada segmento agrupe todas as sentenças consecutivas que tratem do mesmo assunto (o foco do discurso do texto) ou do tema geral do discurso denominado de tópico. Assim, uma das metas do processamento do discurso é determinar a fronteira entre os segmentos do discurso de um texto, i.e., determinar a mudança do foco no discurso analisando as sentenças do texto.

Alguns dos trabalhos nessa área têm como objetivo (BARROS; ROBIN, 1996):

- (a) Analisar a superfície do texto, buscando padrões lingüísticos que podem ser considerados como marcadores discursivos de início e fim de foco;
- (b) Investigar o “conteúdo semântico” do texto com o intuito de identificar mudanças de foco a partir do conteúdo proposicional do discurso;
- (c) Determinar que relações:
  - (i) Unem as sentenças que compõem cada segmento do discurso;
  - (ii) Existem entre os segmentos de um texto coerente, através do estudo de fatores de coesão e coerência presentes no texto.

### 3.3.5 Processamento Pragmático

O processamento pragmático, bem como o processamento do discurso, não se limita a analisar sentenças isoladas e, sim, seqüências de sentenças dentro de um contexto de ocorrência. Assim, o processamento pragmático leva em consideração o conhecimento lingüístico e conhecimento do modelo de mundo do usuário (fatores pragmáticos) que influenciam na interpretação de cada sentença funcional do discurso. Portanto, o processamento pragmático estuda os enunciados (sentenças com seu significado) no contexto do discurso sob o ponto de vista dos participantes do discurso (interlocutores). As atividades desenvolvidas pelos falantes de uma língua, enquanto fazem uso dela, são os *atos de fala*.

O objetivo do estudo dos atos de fala (SEARLE, 2002) é analisar o contexto do discurso sob três pontos de vista, quanto à sua composição nos:

(1) **Atos locutórios** estudando o enunciado e sua significação literal através dos atos realizados por um falante enquanto ele pronuncia uma sentença. Por exemplo, na sentença “A janela está aberta”;

(2) **Atos ilocutórios** estudando a significação intencional e contextual do falante. Logo, a intenção do falante pode ser a de que alguém feche a janela;

(3) **Atos perlocutórios** estudando o efeito de um enunciado da sentença sobre o ouvinte. Conseqüentemente, se o ouvinte, ao término da sentença, fechar a janela, terá realizado um ato perlocutório.

## 3.4 PLN APLICADO NO PROJETO DE PRODUTO E PEÇA

Em relação ao modelo de consenso do NeDIP/UFSC (OGLIARI, 1999) para o projeto sistemático de produtos, uma síntese dos SPLNs aplicados às etapas do processo de projeto do produto, subsistema e peça é mostrada na Figura 3-8. A Figura 3-8 segue a tendência do resultado da análise das metodologias de projeto realizada no capítulo 2. Assim, a proposta de divisão em camadas organizacionais e uso do modelo de fases para o projeto de produto, subsistema e peça é para ajudar na compreensão da forma de uso de tais SPLNs. Portanto, entende-se que o uso da divisão em camadas metodológicas de produto, subsistema e peça corroboram na compreensão de “como” e “por que” os módulos de processamento do SPLN são utilizados. A perspectiva do uso das camadas metodológicas de produto, subsistema e peça é obter respostas para a seguinte questão: “Como as ubIFs são capturadas pelos atuais SPLNs no projeto de produto/peça?” e “Como as ubIFs são associadas aos conceitos que



geram as funcionalidades do produto, subsistema e peças? ”

Na Figura 3-8, que segue a tendência da divisão em camadas metodológicas analisadas no Capítulo 2, os trabalhos com SPLN são mapeados e, posteriormente, estudados com o intuito de responder as questões formuladas anteriormente. Nessa Figura o PLN pode ser dividido em três tipos de sistemáticas:

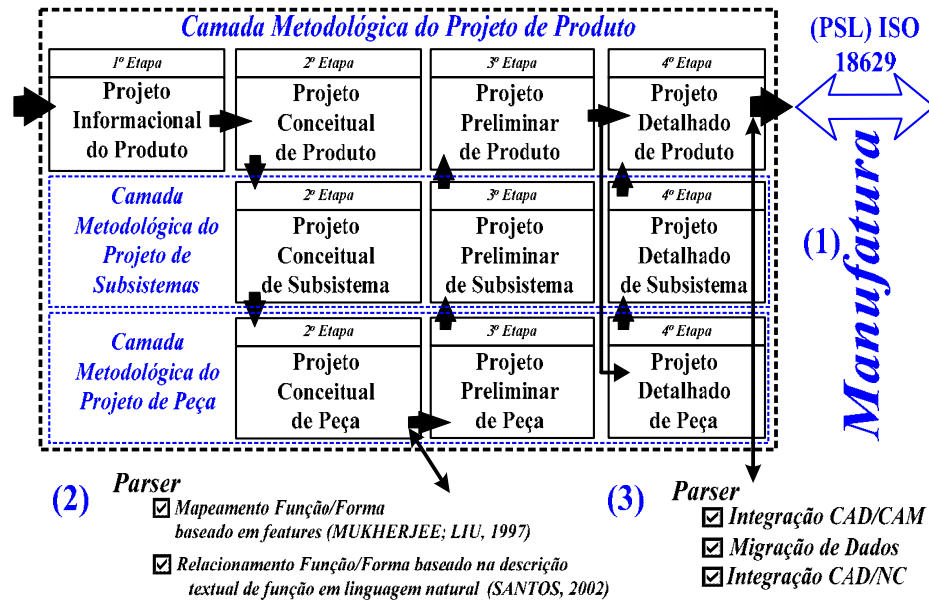


Figura 3-8: Tipos de processamento da linguagem natural aplicado às etapas de projeto de produto e peça em relação ao modelo de consenso do NeDIP/UFSC<sup>1</sup>

(1) PLN baseado em tempo de processo – essa abordagem utiliza a linguagem de especificações de processo (PSL) para configurar processos ou fluxo de processos, incluindo suporte aos seus parâmetros e configurações. A PSL tem procedimentos prescritivos ou descritivos que são compostos por um esquema de representação, uma gramática e um ou mais sistema de anotação para facilitar a comunicação entre uma ampla faixa de aplicações industriais. Por exemplo, o NIST (Instituto Nacional de Normas e Tecnologia – *National Institute of Standards and Technology*) possui norma específica para regular os vários aspectos do tempo de processo de manufatura. Essa norma é a *ISO 18629*;

(2) PLN baseado em informações geométricas – essa abordagem é, geralmente, empregada na migração de dados (exemplos são: recuperação de dados de antigos sistemas, mudança de sistema de gerenciamento de banco de dados), integração de informações geométricas com processo de fabricação tais como: integração de dados de folha de engenharia com sistemas de fabricação CAM, CNC, CAPP;

(3) PLN baseado em informações funcionais – essa abordagem é, geralmente,

empregada para tratar informações geométricas e não-geométricas (informações funcionais incluídas nas sentenças funcionais).

*A priori*, observa-se que o SPLN baseado nas ubIFs pode ser aplicado tanto na camada metodológica de projeto de produto a exemplo da ISO 18629 dos NIST, quanto na camada metodológica de projeto de peça a exemplo dos analisadores gramaticais de (MUKHERJEE; LIU, 1997; SANTOS, 2002). Em tese, as aplicações selecionadas neste trabalho de pesquisa ratificam a tendência da divisão em camadas metodológicas do produto, subsistema e peça. Em seguida, analisam-se os: SPLN baseado na abordagem da interpretação sintática; SPLN para analisar padrões geométricos de desenho técnico em folha de engenharia; SPLN para processar características funcionais das sentenças funcionais e SPLN usados para integrar as representações funcionais e geométricas e SPLN.

#### **3.4.1 SPLN baseado na abordagem da interpretação sintática**

SUN et al. (1998) propuseram um SPLN para conversão de dados de desenhos legados (LCD) de folhas de engenharia para integrá-las em aplicações industriais. Para isso, os autores desenvolveram um sistema baseado no reconhecimento de cadeia de palavras (também chamada de *tokens*, *string* ou palavra) para integrar informações não funcionais de descrições textuais de desenhos de folhas de engenharia mecânica para sistemas CAD, CAE, CAM ou CNC. O papel do *parser*, analisador sintático, no sistema de reconhecimento sintático era o mesmo que o de uma RT estudada na sessão 3.3.2.3 deste capítulo. O papel da integração era legar (compilar) os dados adquiridos por algum processo de leitura como o usado pelos autores neste artigo através de uma tecnologia de reconhecimento óptico, OCR – *Optical Character Recognition*. O objetivo do SPLN era ler os dados de folha de engenharia tais como:

- (a) **Entidades primitivas** – arcos, linhas e círculos;
- (b) **Construções agregadas** – seqüência de símbolos relacionados aos desenhos (raio, diâmetro), *features* (furo passante, cego e escarificado), medidas (polegada), de tolerâncias (sinal de +/-) e caracteres numérico-literais;
- (c) **Construções de conjunto dimensionais** como texto de dimensão, guias/âncoras, linhas, associações de linha com texto de dimensão e controle de *features*.

Em seguida, as informações geométricas eram organizadas em uma estrutura de dados neutras para posteriormente comporem os formatos adequados de sistemas CAD, CAE, CAM ou CNC. A Figura 3-9 ilustra alguns formatos padrões básicos de conjuntos dimensionais

lidos e identificados pelo sistema. No conjunto de texto ou cadeias de caracteres, pode-se encontrar as: (i) entidades primitivas; (ii) construções agregadas; (iii) construções de conjuntos de dimensões de números.

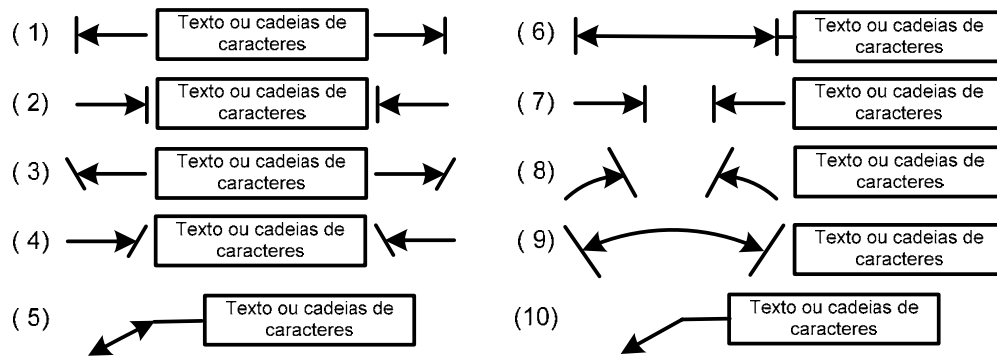


Figura 3-9: Dez formatos padrões básicos de estruturas de dimensões (SUN et al. 1998)

Depois que as informações geométricas eram lidas, elas precisavam ser identificadas e categorizadas em uma estrutura de dados adequada. Baseados nos atributos organizados em uma biblioteca de padrões de entidades primitivas, construções agregadas e construções de conjunto dimensionais os autores identificaram padrões sintáticos para identificar, categorizar e organizar os dados em uma estrutura de dados neutra para uso adequado em sistemas CAD, CAE, CAM ou CNC.

Todavia, os padrões sintáticos referenciados pelos autores são entidades de baixo nível semântico como mostrado na Figura 3-9, i.e., são apenas atributos das entidades geométricas. Assim, baseada em uma biblioteca de padrões, o módulo de análise e interpretação das cadeias de caracteres, *strings*, apenas compara entidades rotuladas por algum projetista para realizar a síntese analítica na conversão (migração dos dados legados de desenhos de engenharia) para, e.g., integração com CAM ou programação NC. Entretanto, o sistema de reconhecimento dos autores:

- (a) Não captura o conhecimento funcional relacionado aos detalhes geométricos de peça;
- (b) Não organiza, nem estrutura ou gera a árvore com o conhecimento funcional de peça;
- (c) Não disponibiliza, nem esclarece os mecanismo, ou método, que inter-relacione a função global de peças às funções parciais, das regiões/grupos funcionais, e vice-versa.

### 3.4.2 SPLN para analisar padrões de folha de engenharia

No trabalho de pesquisa para aplicação industrial de Prabhu, Biswas e Pande (2001) desenvolveram um SPLN que lê arquivo no formato DXF/IGES através de um módulo interpretador/organizador de folhas de desenhos de engenharia mecânica (veja Figura 3-12). Neste primeiro módulo, as informações não funcionais são classificadas em classes de: texto, dimensões e geometrias associadas ao texto. Tais informações não-funcionais são organizadas em classes do:

**Tipo I – Conjunto de dimensões** que inclui informações do tipo: linha de referência/extensão, setas, linha de dimensão, texto de dimensão, âncoras de extensão e a definição do apontador de texto de dimensão. Essas informações são controladas como uma entidade simples (ver Tabela 3-8);

Tabela 3-8: Conjunto de dimensões típicas do SPLN de Prabhu, Biswas e Pande (2001)

Dimensões						
a) Texto			b) Linha		c) Extensão de Linha	
Nominal	Tolerância	Definição de ponto	Início de linha	Final de linha	Linha	Ponto Âncora
A	B	C	D	E	F	G

**Tipo II – Entidade do conjunto das dimensões** que é considerado como uma entidade gráfica independente no desenho (veja Figura 3-10).

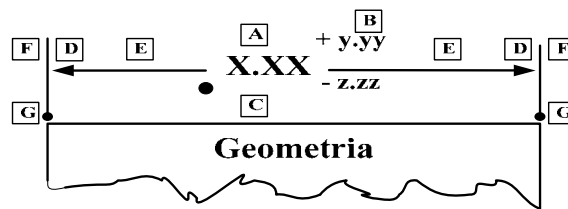


Figura 3-10: Conjunto de dimensões típicas das *features* de forma em formato 2D (PRABHU; BISWAS; PANDE, 2001)

O módulo produtor de vistas organiza as várias vistas de topo, frontal, lateral direita, lateral esquerda, perspectiva, dentre outras não especificadas pelos autores. Esse módulo, também, utiliza o conceito de síntese padrão para transformar *feature* de forma em uma *string* padrão pela decomposição da estrutura geométrica da *feature* 3D em entidades geométricas 2D. Na decomposição geométrica da *feature* 3D, há o surgimento de estruturas geométricas bidimensionais fechadas (figuras geométricas 2D, Figura 3-11 (a), cuja extremidade do ponto inicial do primeiro segmento se encontra com a extremidade do ponto final do último segmento); e abertas (figuras geométricas 2D, Figura 3-11 (b), cuja extremidade do ponto

inicial do primeiro segmento não se encontra com a extremidade do pondo final do último segmento).

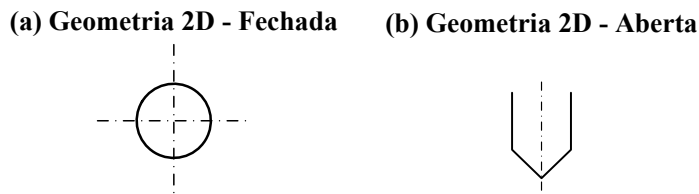


Figura 3-11: Exemplos de estruturas geométricas 2D (PRABHU; BISWAS; PANDE, 2001)

Segundo os autores, o módulo do analisador de padrões (*parser*) é constituído pelos seguintes módulos:

- (1) *Tokenizador* (separador de palavras de uma sentença, ou de frases de um texto);
- (2) Léxico de *substrings*;
- (3) AFN (ver Apêndice A);
- (4) Léxico de *features* padrões;
- (5) Gramática de *feature* – como estruturado na arquitetura do SPLN na Figura 3-16.

Ainda segundo os autores, o *parser* situa-se entre o pré-processamento e pós-processamento de informações geométricas e não-geométricas relacionadas aos desenhos de engenharia mecânica lidos nos arquivos de formatos DXF/IGES. Na *tokenização* acontece o processo de particionamento de uma sentença (conjunto de palavras, cadeias de caracteres, ou *strings*) em um conjunto de *tokens*, ou *substrings* ou cadeias de caracteres. Nessa aplicação industrial, o SPLN *tokeniza* as chamadas textuais (como mostrado na Figura 3-12) dos arquivos em formato DXF/IGES em *substrings* para serem validadas ou não pelo léxico de *substrings* padrões.

Tipos de <i>feature</i> padrão	Chamada textual da Geometria	Estrutura de dados da <i>feature</i>
PADRÃO POLAR	<p>8Holes, φ12.5, EQUISPACED, DEPTH 17.5</p>	<p><i>Feature</i> Hole [dia, depth, access]</p> <pre>*Pattern {   Type : polar   Object : hole [H]   Number of holes:   Start Angle, End Angle   Origin : &lt;Center of the PC&gt;   Access : &lt;0, 0, -1&gt; }</pre>
PADRÃO RETANGULAR	<p>4HOLES , φ18, DEPTH 22.25</p>	<p><i>Feature</i> Hole [dia, depth, access]</p> <pre>*Pattern {   Type : rectangular   Object : hole [H]   Number of holes:   XPitch, YPitch   Origin: &lt;Flower left corner of pattern:   access : &lt;0, 0, -1&gt; }</pre>

Figura 3-12: Correlação entre geometrias e *feature* padrões (PRABHU; BISWAS; PANDE, 2001)

Depois de comparar as *substrings* das chamadas textuais com o léxico de *substrings* padrões, as *substrings* válidas precisam ser concatenadas por um AFN. A Figura 3-13 ilustra o gráfico do autômato finito não determinístico (veja Apêndice A) e os elementos constituintes da sua quintupla, AFN = (alfabeto, conjunto de estados, função de transição, estado inicial, estado final), onde o:

- (a) **Alfabeto** é composto por valores reais, atributos das *features* padrões, tipos de *features* padrões, ruídos;
- (b) **Conjunto de estado** é composto por valor, *feature* padrão, ruído, atributo e processo;
- (c) **Função de transição** é o conjunto de pares de transição [valor] {(processo, ruído), (ruído, atributo), (*feature*, atributo), (*feature*, processo), (processo, atributo), (*feature*, ruído)}, [*feature*] {(ruído, atributo)}, [processo] {(ruído, atributo)}, [atributo] {(atributo, atributo), (valor, ruído)}, [ruído] {(processo, atributo), (processo, valor), (valor, atributo)};
- (d) **Estado inicial** é o valor da quantidade de atributo da *feature* padrão;
- (e) **Estado final** é o valor do atributo da *feature* padrão.

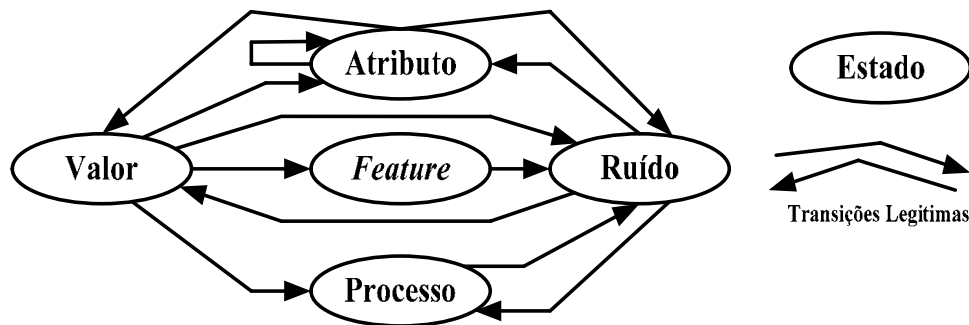


Figura 3-13: Gráfico de um autômato finito com os seus estados e transições válidas (PRABHU; BISWAS; PANDE, 2001)

A Tabela 3-9 demonstra alguns valores (palavras) válidos para os estados do finito não determinístico da Figura 3-13. A Figura 3-14 (a) ilustra o exemplo de uma seqüência de estados do AFN em relação à chamada de texto dimensional da Figura 3-14. (b). Observa-se que na Figura 3-14 (a) que há dois tipos de *string*:

- (1) *Strings* dos constituintes da chamada textual em linguagem natural (texto dimensional)
- (2) *Strings* dos elementos geométricos das estruturas bidimensionais (os círculos da peça e os círculos que representam os quatro furos).

Tabela 3-9: Alguns valores de estado válidos para o autômato finito (PRABHU; BISWAS; PANDE, 2001)

PALAVRA (valores)	ESTADO	PALAVRA (valores)	ESTADO
Profundidade	Atributo	Furo escareado	Processo
Canto	-----	Furo rebaixado	-----
Dimensão	-----		
Remover	-----	Broca	-----
Montar	-----	Domínio	-----
Furo	Feature	Vírgula, palavra não	
Lado de fora	-----	definida no dicionário.	Ruído
Lado de dentro	-----		

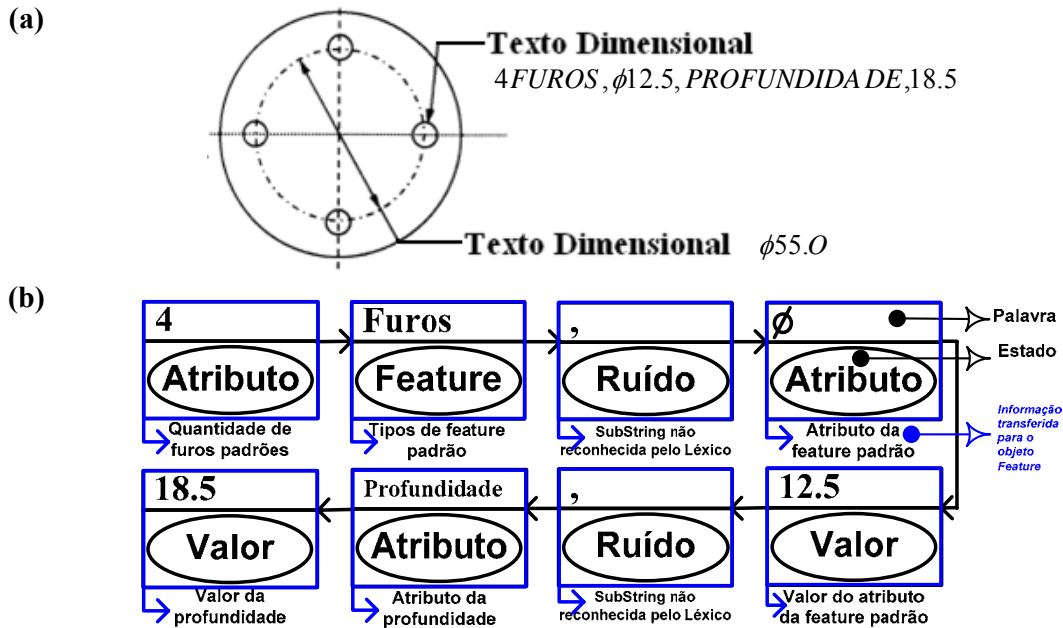


Figura 3-14: Exemplo de um processo das etapas de transições do autômato finito de um texto dimensional típico de uma *feature* padrão de um desenho de uma folha de engenharia (PRABHU; BISWAS; PANDE, 2001)

No módulo do analisador de padrões, há uma gramática de *feature* para processar e identificar as *strings* dos elementos geométricos válidas para as estruturas 2D das *features* normalmente utilizadas nos ambientes industriais. O *parser* analisador de padrões é suportado por um léxico de *features* padrões. Os autores não disponibilizaram um esquema de classificação por tipo de *features*. Entretanto, disponibilizaram dois exemplos de *features* padrão. A Figura 3-13 ilustra a seqüência de características definidoras dos dois tipos de *features* padrão, Furo com padrão polar e Furo com padrão retangular, com suas estruturas 2D e chamadas textuais em linguagem natural e a estrutura de dados da sua *feature*. Em seguida há uma descrição lógica do seqüenciamento funcional da gramática de *features* de cada uma das *features* da Figura 3-13:

(a) *Feature* padrão (Furo com padrão polar): – [Nome da *feature*] → [tipo da *feature*] → [quantidade de *features* padrões] → [diâmetro do furo] → [ângulo (entrada, saída)] → [posição do centro do furo] → [entidades abstratas (eixo, planos médios, ...)] → [processo] → [ferramenta] → [tolerâncias geométricas (tipo, valor, dados)];

(b) *Feature* padrão (Furo com padrão retangular): – [Nome da *feature*] → [tipo da *feature*] → [quantidade de *features* padrões] → [diâmetro do furo] → [montagem (x, y)] → [posição do centro do furo] → [entidades abstratas (eixo, planos médios, ...)] → [processo] → [ferramenta] → [tolerâncias geométricas (tipo, valor, dados)].

A abordagem lingüística adotada pelos autores Prabhu, Biswas e Pande é baseada no paradigma da programação orientada a objeto (POO). Assim, as *features* são desenvolvidas com diferentes classes hierárquicas através de métodos apropriados para extrair os atributos relevantes pelo *interfaceamento* com o sintetizador de dimensão e texto. Adicionalmente, as classes podem ser instanciadas pela adição de métodos para criar, manipular e examinar informações baseadas em *features*. Um modelo de estrutura informacional de um produto genérico é mostrado na Figura 3-15 e nesse modelo há três categorias de informações:

- (1) Informações sobre os dados do produto – ordem de trabalho, número da peça, tamanho do lote, material, tolerância;
- (2) Informações sobre atividades de planejamento de processos, inspeção, tecnologia de grupo e logística;
- (3) Informações sobre as *features* – tipo de *feature*, posição de determinada superfície, direção de acesso de maquina-ferramenta, tolerâncias, atributos da *feature*.

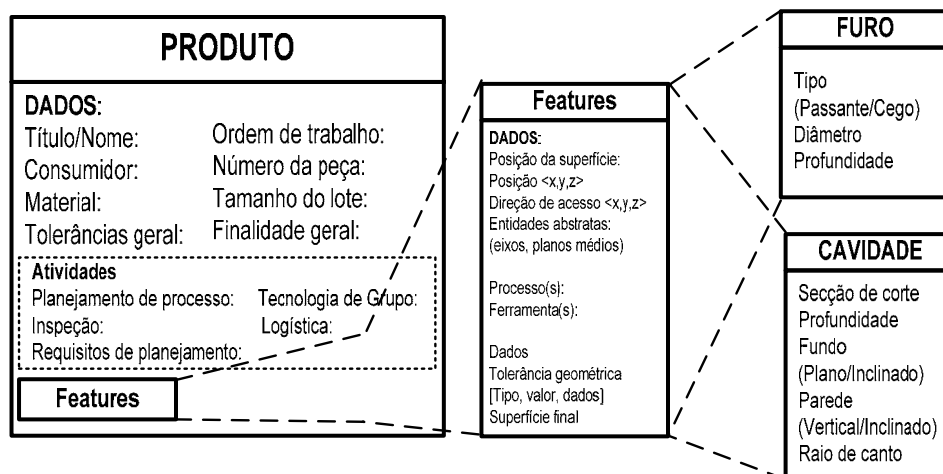


Figura 3-15: Estrutura informacional de um modelo de produto com as principais características sobre o produto, atividade de planejamento de processo e *features* (PRABHU; BISWAS; PANDE, 2001)



As informações geométricas e não-geométricas relacionadas às funções e processos de fabricação de peça/feature são processadas pelo uso das técnicas de PLN. A arquitetura modularizada do SPLN dos autores, chamado de AUTOFEAT, pode ser observada na Figura 3-16, cujos módulos são: (i) Organizador e Interpretador de dados; (ii) Produtor de vistas; (iii) Analisador de padrões - *PARSER*; (iv) Sintetizador de dados não-geométricos (dados NG); (v) Integrador de *feature*.

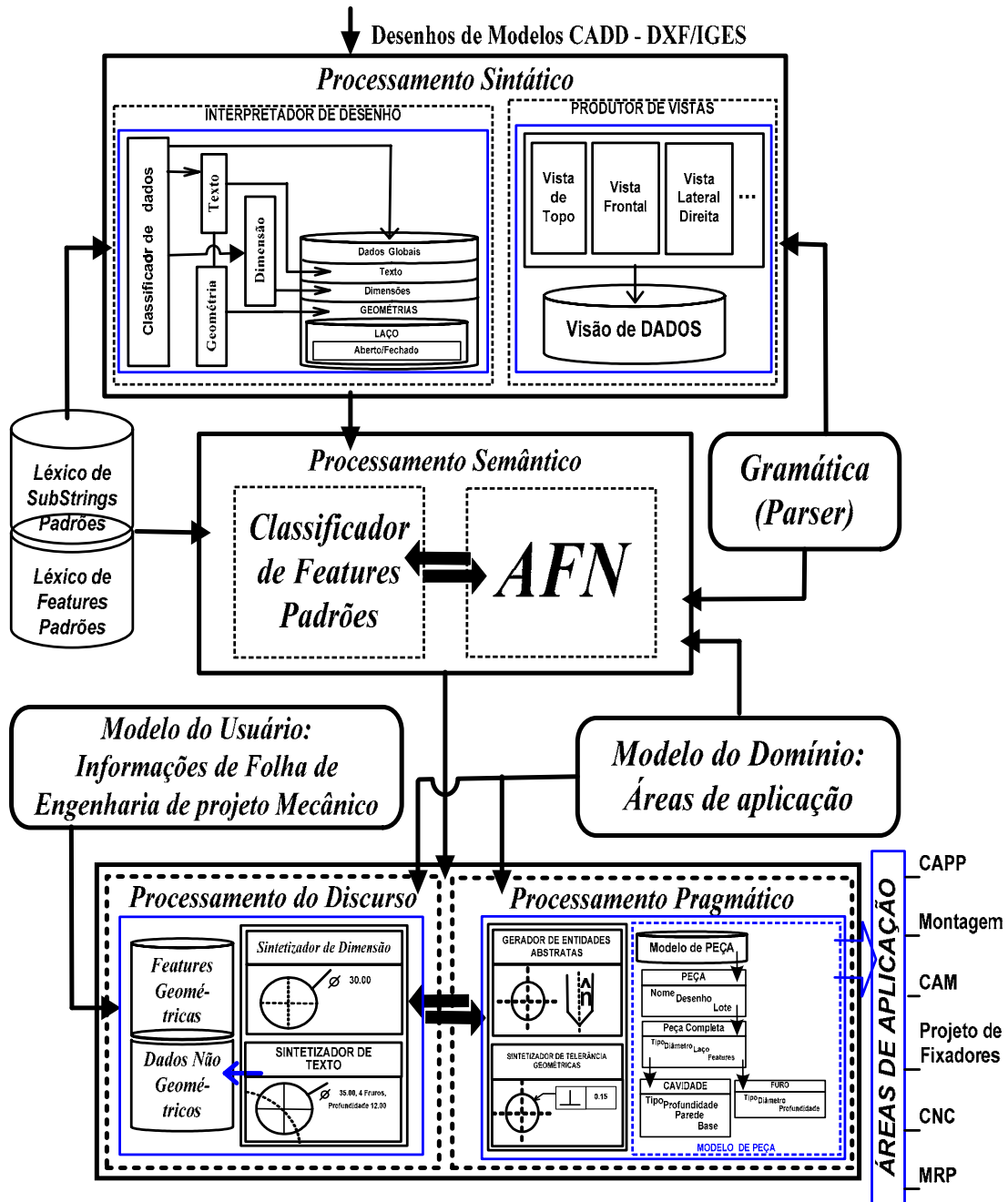


Figura 3-16: Arquitetura do AUTOFEAT (com cinco módulos) (PRABHU; BISWAS; PANDE, 2001)

O objetivo do sintetizador de dados não geométricos (dados NG) é realizar marcações às estruturas geométricas 2D através de uma seqüência de *strings* vinda do analisador de padrões – *parser* com o:

(a) Sintetizador de dimensão associando *strings* relacionadas aos atributos dos elementos geométricos das *features* padrão;

(b) Sintetizador de texto associando *strings* relacionadas aos atributos de material, processo de fabricação e funções comerciais tais como: conjuntos de dimensões e tolerâncias.

O último módulo, o integrador de *feature*, tem como principal objetivo organizar os 3 tipos de informações do módulo sintetizador de dados não-geométricos (dados NG) nos *templates* de integração tecnológica de: (i) CAPP; (ii) Montagem; (iii) CAM; (iv) Projeto de fixadores; (v) CNC; (vi) MRP.

Também, nessa aplicação industrial não é possível capturar:

(a) Conhecimento funcional relacionado a modelagem funcional das geometrias;

(b) As decisões tomadas durante o processo de desenvolvimento do produto/peça;

(c) A transformação dos propósitos funcionais do produto/peça em comportamento e estrutura;

(d) O processo de raciocínio funcional empreendido no processo de desenvolvimento do produto/peça. O SPLN não consegue estruturar ou gerar a árvore de funções de peça, bem como não consegue explicar como as regiões funcionais, as funções parciais, são obtidas de funções globais e vice-versa.

### 3.4.3 SPLN para processar características funcionais de sentenças funcionais

Santos (2002) propôs um SPLN baseado em um sistema de classificação e codificação de peças KK-3 (SCC KK-3), objetivando identificar e processar as características geométricas e de processos relacionados ao ciclo de vida do produto/peça incluídas em sentenças funcionais (SF). No SCC KK-3, o termo “classificação” significa o agrupamento de peças baseado nas suas similaridades e/ou dissimilaridades. Enquanto, o termo “código” pode ser uma combinação de números e/ou letras, que são atribuídos às peças para o armazenamento e processamento de ubIF.

O SCC KK-3 utilizado no SPLN de Santos (2002) é um método que descreve as características básicas das peças e que possibilita o agrupamento de um conjunto de ubIFs

relacionadas à estrutura geométrica, processo, material e produção de peças mecânicas. No SCC KK-3, o primeiro dígito faz uma distinção geral relativa à função principal das peças, como eixos, engrenagens, dentre outras. No segundo dígito do SCC KK-3, são descritos maiores detalhes funcionais, como o tipo da engrenagem e do eixo. Com apenas dois dígitos o SCC KK-3 possibilita a classificação de mais de cem especificações funcionais para peças rotacionais e não-rotacionais. Nos demais dígitos, obtêm-se uma completa descrição das peças (para maiores detalhes ver a Tabela 3-10).

Tabela 3-10: Estrutura do SCC KK-3 com o significado dos seus 21 códigos (SANTOS, 2002)

CÓDIGO	SIGNIFICAÇÃO GEOMÉTRICA		
1	Nome da peça	Classificação Geral do Tipo de peça	
2		Detalhe de Classificação	
3	Material da peça	Classificação Geral do Tipo de Material	
4		Detalhe de Classificação	
5	Dimensões Principais	Comprimento	
6		Diâmetro	
7	Formas Primárias e Relações das Dimensões principais		
8	Detalhe de Formas Geométricas + Tipos de Processos de Usinagem	Superfície Externa	Superfície externa e Formas principais
9			Peças com rosca concêntrica
10			Peças com rasgo funcional, tipo ranhura
11			Peças com formas especiais, tipo formas irregulares
12			Conformação
13		Superfícies Cilíndricas	
14		Superfície Interna	Formas internas primárias
15			Superfície Curva interna
16			Superfície interna plana e cilíndrica
17		Superfície Final	
18	Furos Não Concêntricos	Locação Regular de Furos	
19		Furos especiais	
20	Processo de Usinagem		
21	Precisão		

O *kernel* do SPLN de Santos (2002) foi desenvolvido e implementado com a linguagem de programação Prolog (programação em lógica), enquanto a interface foi desenvolvida em Delphi. *Kernel* é o núcleo do sistema que gerencia a memória, arquivos e dispositivos periféricos mantendo ativa a data e hora, aplicações e alocação dos recursos do sistema (Microsoft® Press, 1998).

A arquitetura do SPLN de Santos para processar as características funcionais incluídas na sentença funcional é constituída dos seguintes módulos característicos: módulo de identificação de palavras compostas; módulo de análise sintática; léxico, gramática livre de contexto; módulo de processamento semântico e banco de peças mecânicas – como mostrado

na Figura 3-17.

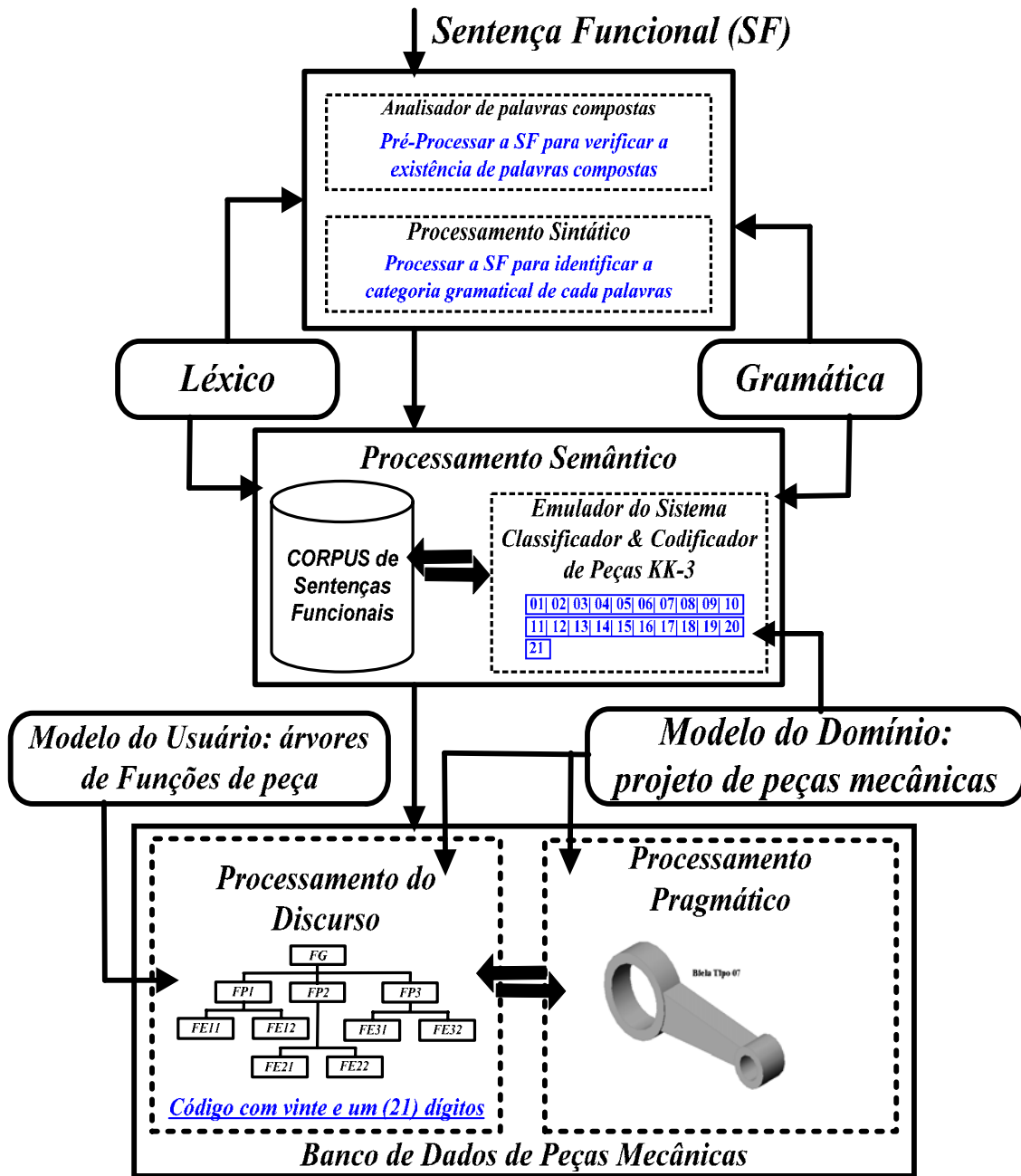


Figura 3-17: Arquitetura do modelo de SPLN proposto por Santos (2002)

(a) Módulo de processamento sintático cujos objetivos são:

(1) Identificar e validar, ou não, as palavras compostas encontradas em sentenças funcionais através de um pré-processamento sintático e com o auxílio de um léxico e uma gramática livre de contexto (GLC). As sentenças funcionais foram escritas em língua escrita do português do Brasil, por isso, as palavras compostas seguem as regras gramaticais da

língua portuguesa. Exemplos de palavras compostas são “bucha de ligação”; “anel maior”; “pino do eixo excêntrico”;

(2) Comparar e validar, ou não, as palavras simples e compostas com a ajuda de um léxico especializado para o domínio de peças mecânicas de um compressor alternativo da Embraco como, e.g.: “eixo excêntrico”; “bucha de ligação”; “biela”; “pino do pistão” e “pistão”.

(b) Módulo de processamento semântico é baseado em um: (i) sistema de conhecimento de sentenças funcionais descritos textualmente em linguagem natural; (ii) Sistema de Classificação e Codificação de peças denominado de KK-3. Assim, as características funcionais das peças incluídas na sentença funcional são inicialmente identificadas e categorizadas, de acordo com a proposta de organização de características de peça do SCC KK-3, para constituir uma linguagem controlada. A linguagem controlada obtida é usada para referenciar características geométricas de peça. Dessa forma, é possível correlacionar as características geométricas de peça do emulador com as características geométricas capturadas incluídas nas sentenças funcionais provenientes da entrada do SPLN de Santos. As características geométricas do SCC KK-3 podem ser vista na Tabela 3-10.

(c) Módulo que integra o processamento do discurso e processamento pragmático – no processamento do discurso, as características geométricas da peça impressas nas descrições textuais de função em linguagem natural pelo projetista são capturadas e organizadas em uma estrutura de dados que reflita o(s) modelo(s) mental(is) da(s) peça(s) pensada pelo projetista. No processamento pragmático, cada peça do conjunto de peças tem suas características geométricas e de processo organizadas em uma: (i) estrutura de dados; (ii) imagem da peça correspondente a um modelo de peça do domínio de aplicação. Para integrar os módulos sintático, semântico, do discurso e pragmático foi desenvolvido um sistema especialista. O sistema especialista, implementado em Prolog e baseados nas características geométricas e de processo do SCC KK-3, utiliza um conjunto de operadores booleanos para lidar com as ubIFs dos modelos mentais das peças pensadas pelos projetistas e modelos de peça do domínio de projeto de peças mecânicas.

O SPLN de Santos (2002) processa, analisa e utiliza um conjunto de operadores para tratar as características geométricas e de processo das peças a partir dos critérios de classificação e codificação das características geométricas estabelecidos pelo SCC KK-3 (como mostrado na Tabela 3-10).

A Figura 3-18 apresenta o resultado de um conjunto de operações decorrentes do processamento das descrições textuais de funções em linguagem natural da peça “biela tipo

14” com seus 21 dígitos. Para gerar o código final da(s) peça(s) a ser(em) procurada(s) no banco de dados de peças o SPLN de Santos precisa processar as seguintes informações funcionais derivadas dos: (i) Códigos das características funcionais de cada detalhe geométrico da estrutura física da peça na forma de sentença funcional; (ii) Ordem de entrada de cada sentença funcional da estrutura de funções da peça; (iii) Processamento dos itens anteriores (i) e (ii).

No SPLN, às palavras no Léxico foram aplicadas restrições de seleção a fim de restringir a explosão das possibilidades de combinações entre palavras e a estruturação das próprias palavras compostas realizadas em uma etapa de pré-processamento. As restrições constituem traços semânticos que são associados a entradas lexicais. Exemplos de restrições de seleção aplicadas ao léxico são:

- (a) Anel → substantivo [+ concreto] [+singular] [Tipo = geometria];
- (b) Anéis → substantivo [+ concreto] [-singular] [Tipo = geometria];
- (c) Montagem → substantivo [- concreto] [+ singular] [Tipo = processo];
- (d) Tensão → substantivo [- concreto] [+ singular] [Tipo = efeito];
- (e) Acoplamento → adjetivo [+ *feature* tipo furo];
- (f) Anel de acoplamento → substantivo [+ concreto] [+ singular] [+ tipo de geometria] [+ *feature* tipo furo passante].

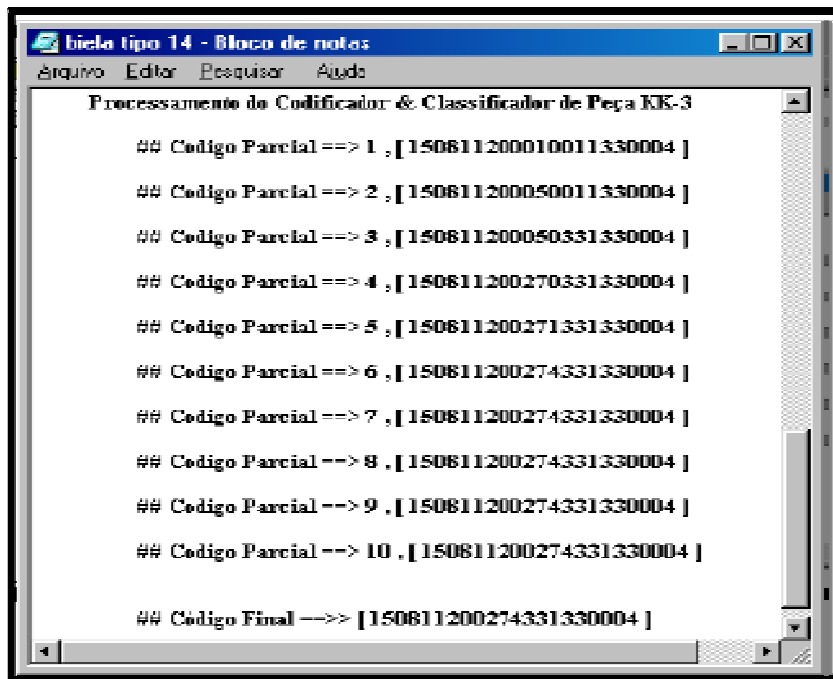


Figura 3-18: Processamento das sentenças funcionais descritoras da peça “biela tipo 14” (SANTOS, 2002)

O emulador do SCC KK-3 não é um editor de estruturas de funções de peça. O papel do

emulador SCC KK-3 é proporcionar uma forma de o *parser* simbólico inferir um código com 21 dígitos válidos, a partir da análise sintática das características funcionais encontradas nos constituintes da sentença funcional. Para que o motor de inferência, emulador do SCC KK-3, consiga inferir um código da peça válido, o usuário precisa seguir uma ordem de entrada das sentenças funcionais, segundo a hierarquia da árvore de funções da peça sendo modelada funcionalmente pelos projetistas. A ordem de entrada das SFs no SPLN é:

- (1º) Função Global da peça;
- (2º) Funções Parciais;
- (3º) Funções Elementares.

Entretanto, nesse sistema há algumas limitações tais como o uso de linguagem controlada que limita e não formaliza o uso de conhecimento funcional e o uso do SCC KK-3 que é muito generalista na caracterização geométrica das estruturas física das peças.

#### **3.4.4 Um SPLN para integrar representações funcionais e geométricas**

Mukherjee e Liu (1997) analisaram o processo de projeto de produto em Camada do produto e Camada de peça.

Os autores propuseram um SPLN para integrar a etapa do projeto conceitual à fase de projeto preliminar de peça. O SPLN é baseado em uma proposta metodológica que utiliza uma representação de conhecimento (chamada de abstração de esboço da peça) das: (i) funcionalidades essenciais; (ii) regiões (grupos) funcionais. A idéia básica da abstração de esboço é fornecer um mecanismo de ligação entre a pura representação funcional (por ser baseado em sentença funcional) e a pura representação geométrica (por ser baseado apenas em geometria como círculo, segmento, retângulo).

Assim, a abstração de esboço é uma representação mínima de um objeto de projeto composta por um conjunto de *features* funcionais, quase-ligações, quase-nodos e formação de nodos. Uma *feature* funcional é definida como uma entidade geométrica padrão bem definida que tem uma funcionalidade relevante associada com o projeto da peça – exemplos de *features* funcionais são dados na própria classificação das *features* na Figura 3-19.

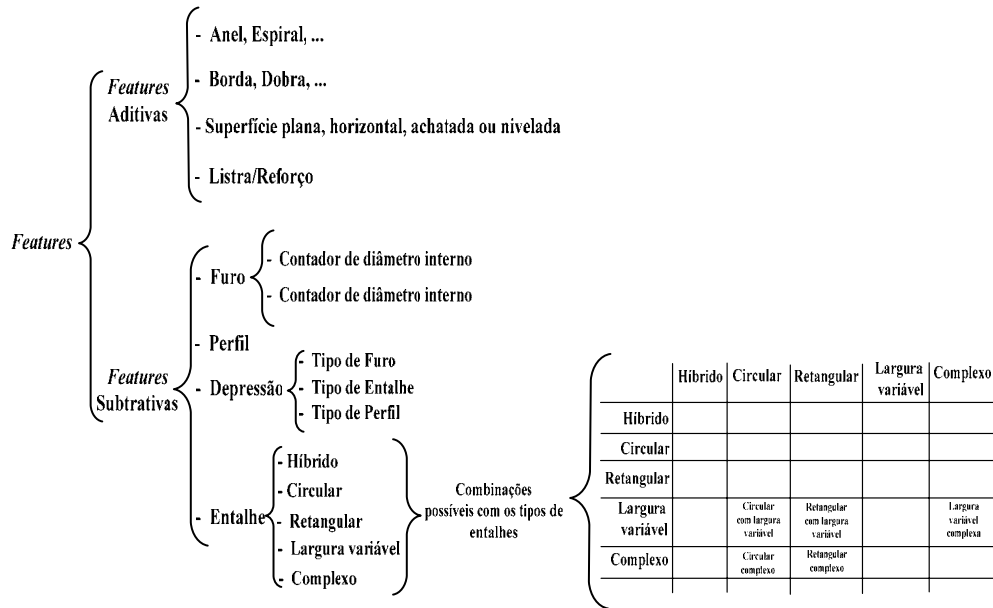


Figura 3-19: Esquema de classificação de *features* proposto por Mukherjee e Liu (1997)

Uma quase-ligação é uma abstração de ligação mínima entre os pontos de referência entre duas *features*. Nessas abstrações de ligações mínimas, dadas duas ou mais *features* funcionais, uma quase-ligação é o resultado de um teste de conexão entre qualquer duas *features* funcionais. No teste de conexão, inter-relação entre duas *features* funcionais, uma quase-ligação pode assumir uma das duas formas: (i) quase-ligação fraca; (ii) quase-ligação forte. Uma quase-ligação fraca (l) é usada para conectar duas *features* funcionais se a conexão mínima entre elas estiver sobre um sólido contínuo. Por exemplo, quase-ligação fraca (l) simplesmente mostra que duas ou mais *features* funcionais ou formação de nodos são partes do mesmo sólido contínuo e seu relacionamento denota apenas sua posição geométrica relativa. Uma quase-ligação forte (l') é usada para designar um relacionamento geométrico especial entre duas *features* funcionais como, e.g., concêntrica, angularidade, paralelismo e perpendicularismo. A quase-ligação forte (l') representa restrições geométricas possíveis entre as *features* funcionais. A formação de nodos (nf) requer o conceito de região planar. As regiões planares são basicamente uma superfície plana (2D), bidimensional, parcialmente limitada e contendo *features* subtrativas como as representações dos furos mostrados nos exemplos 1 e 2 do emulador de assinatura funcional de abstração de esboço de peça na Figura 3-24 (MUKHERJEE; LIU, 1997).

Uma abstração da visão da arquitetura do SPLN dos autores é ilustrada na Figura 3-20. O SPLN é dividido nas seguintes fases:



(a) **Módulo de processamento sintático** composto pela: entrada das funções no sistema, léxico, banco de *features* e matriz função/forma. As funções válidas, i.e., aceitas pelo sistema são da forma: Função = [<verbo> + <substantivo> + <magnitude> + <preposição/direção dos atributos> + <objetos>]<sub>LocN</sub> <palavras-chave>. LocN é uma notação usada no sistema para se distinguir os vários pontos de vistas funcionais, tipos de funcionalidades, usadas pelos projetistas quando utilizam um, ou um conjunto de, *feature(s)*. Em outras palavras, isto significa que pode existir uma *feature* na peça que desempenha múltiplas funções ou uma combinação de *features* que executam uma única função na mesma peça. O sistema tem um léxico com a função de:

(1) Validar os constituintes da função, tais como: verbo, substantivo, preposição ou palavra-chave;

(2) Disponibilizar constituintes padrões para serem utilizados pelos usuários. O sistema ainda conta com o suporte de um banco de *features* que possibilita a ligação entre:

(2.1) Funções do produto *versus* peças;

(2.2) Funções da peça *versus features*. A matriz função/forma permite que o projetista configure os relacionamentos entre funções e *features*.

Adicionalmente, o projetista precisa configurar as regiões planares das *features* – apesar dos autores não especificarem como isso acontece;

(b) **Módulo de processamento semântico** composto pelo motor de inferência e um sistema de classes de *features* baseado no paradigma da orientação a objetos. As classes de *features* são mostradas na Figura 3-19. O emulador do sistema de assinatura funcional de peça, ou motor de inferência, interage com o sistema de classes de *features*, a partir de uma gramática, para abstrair o esboço de peça utilizando instanciações de *features*;

(c) **Módulo de processamento do discurso** é composto por um esquema de geração código baseado em um sistema de classificação e codificação de peça de tecnologia de grupo (TG), os autores não especificam o nome de tal SCC, cujo objetivo é apoiar a geração da assinatura funcional da abstração do esboço de peça (veja na Figura 3-20);

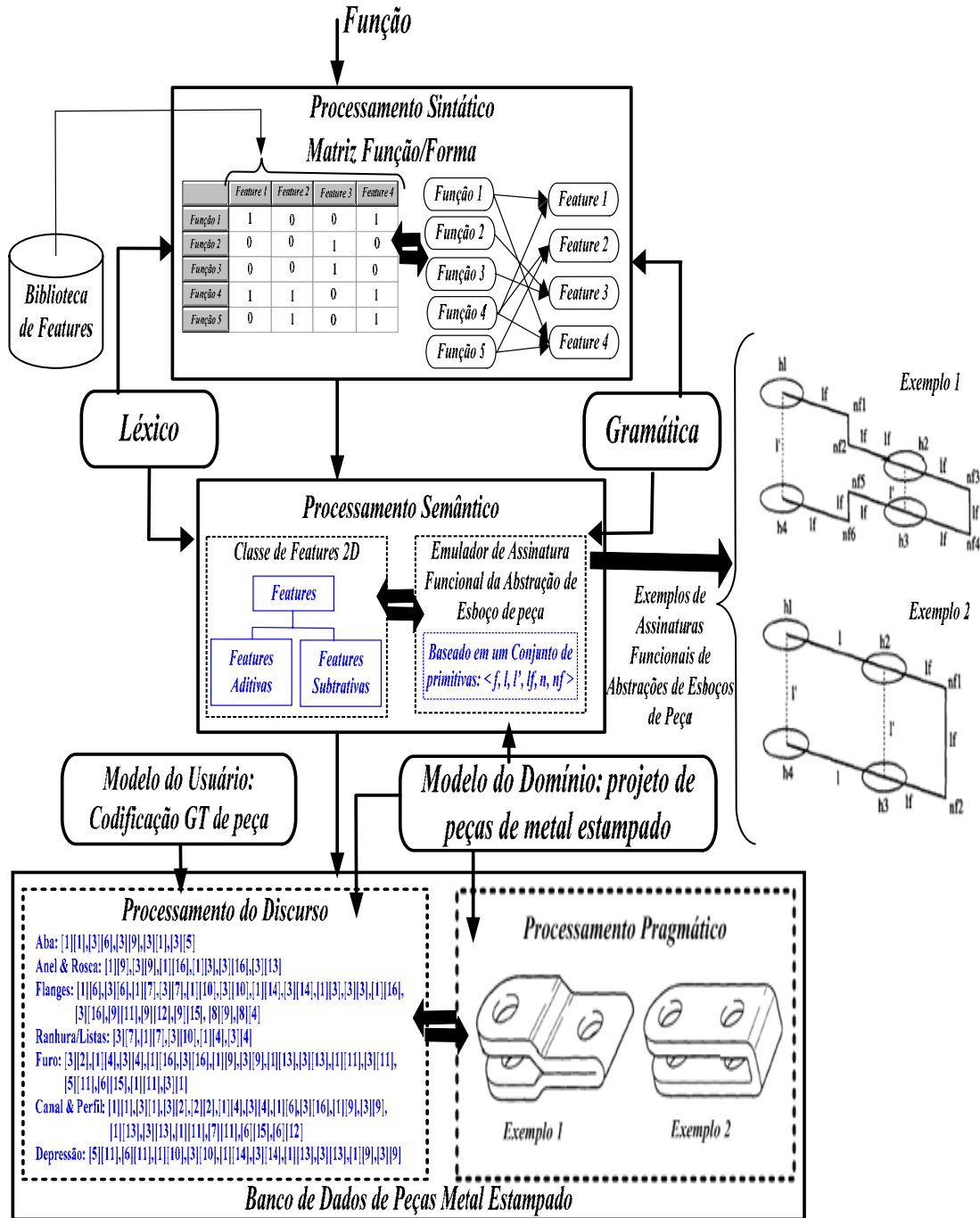


Figura 3-20: Uma abstração da visão mais detalhada da arquitetura do modelo de SPLN proposto por Mukherjee e Liu (1997)

(d) **Módulo do processamento pragmático** tem a função de gerar a estrutura geométrica da peça através de algum sistema com modelador geométrico capaz de interagir com a estrutura de dados gerada pelo esquema de codificação do SPLN de Mukherjee e Liu (1997).

A abstração de esboço é determinada pelo uso de um conjunto de primitivas e regras gramaticais que são usadas para extrair inter-relacionamentos canônicos (padrões) entre as *features* funcionais. Assim, o *parser* usado pela abstração de esboço extrair pares conhecidos de inter-relacionamentos canônicos (padrões) entre as funcionalidades essenciais (crítico, mas segundo o ponto de vista funcional dos projetistas) das geometrias da peça determinando a assinatura funcional da peça. A gramática para abstração de esboços é descrita pelo seguinte conjunto de regras: “*f*” é um de *features*, “*V*” é um conjunto de *quase-ligação forte*; “*I*” é um conjunto de *quase-ligação fraca*; “*l<sub>f</sub>*” é um conjunto de *conexões de quase-ligação*; “*n*” é um conjunto de *quase-nodo*; “*n<sub>f</sub>*” é um conjunto de *formação de nodo*. Algumas regras utilizadas pela gramática do *parser* de Mukherjee e Liu (1997) são:

$$f, l, f \Rightarrow f, l, f \quad (11) \qquad f, V, f \Rightarrow f, V, f \quad (20)$$

$$f, l_f, f \Rightarrow f, l_f, f \quad (12) \qquad n, l, n \Rightarrow n \quad (21)$$

$$f, l, n \Rightarrow f, l \quad (13) \qquad n_f, l, n \Rightarrow n_f \quad (22)$$

$$f, l_f, f \Rightarrow f, l_f \quad (14) \qquad n, l, f \Rightarrow f \quad (23)$$

$$f, l_f, n_f \Rightarrow f, l_f \quad (15) \qquad n, f \Rightarrow f \quad (24)$$

$$f, l, l \Rightarrow f, l \quad (16) \qquad f, l, f e f, V, f \Rightarrow f, V, f \quad (25)$$

$$f, l_f, f \Rightarrow f, l_f \quad (17) \qquad f, l, f_2 e f_2, V, f_3 \Rightarrow f, V, f_3 \quad (26)$$

$$f, l_f, f_f \Rightarrow f, l_f \quad (18) \qquad f, l, f_2 e f_2, l_f, f_3 \Rightarrow f, l_f, f_3 \quad (28)$$

$$f, l_f, l_f \Rightarrow f, l_f \quad (19)$$

A assinatura funcional é formada por um conjunto de relacionamentos (ligações) padrões entre *features* funcionais, onde um relacionamento canônico é composto por informações de vários tipos, tais como: requisitos/restrições de projeto. Exemplos são informações que indicam relação geométrica especial de concentricidade entre duas *features* qualquer de um mapeamento função/forma, enquanto outras relações podem indicar dimensionalidades, tolerâncias, acabamento de superfícies. Para os autores, uma questão chave resultante do:

(a) Mapeamento das funcionalidades desejadas *versus* as *features* funcionais selecionadas pelos projetistas;

(b) Interrelações entre pares conhecidos de *features* funcionais emergentes do mapeamento é a possibilidade de se determinar aspectos geométricos do projeto conceitual de peça que são estabelecidos pelas ligações padrões. Além disso, uma assinatura funcional pode ser usada para:

(i) Comparar projetos: verificando a existência ou não de funcionalidades similares ou geométricas dissimilares;

(ii) Pesquisar projetos alternativos em um banco de dados de peças e, assim, fornecer idéias para projetos de novas peças.

Apesar da proposta da idéia da abstração de esboço não conseguir:

(c) Formalizar conhecimento funcional;

(d) Organizar uma estrutura de funções de peça na decomposição funcional da funcionalidade de peça, ou função global de peça, os autores garantem que elas podem ser usadas para:

(a) Planejamento de avaliação de manutenção;

(b) Planejamento de preliminar de processos;

(c) Ser relacionadas aos modelos sólidos da peça;

(d) Integrar a pura representação funcional com a pura representação geométrica.

### 3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo proporcionou uma visão geral da organização da arquitetura de SPLN com alguns exemplos de aplicações em projeto de peças mecânicas. As responsabilidades, papéis e estrutura de cada um dos módulos morfológico, sintático, semântico, pragmático e do discurso e banco de conhecimentos da arquitetura do SPLN foram devidamente analisados.

Apesar dos esforços de pesquisa, foi observado que os SPLN não foram utilizados para analisar, formalizar e armazenar para (re)uso efetivo as ubIFs explícitas/implícitas nas sentenças funcionais. Observou-se que o foco dos SPLN, ainda, tem sido direcionado para processar, identificar e capturar características geométricas explícitas nas folhas de engenharia de sistemas CAD para integrá-las aos sistemas de manufatura. A chave do PLN das características geométricas tem sido os símbolos padrões regularmente utilizados em folha de engenharia de projetos mecânicos tais como: símbolos de dimensionamentos, diâmetro, tolerância, palavras chaves para identificar *features* e, principalmente, algarismos para identificar, e.g., quantidades relacionadas aos comprimentos, larguras, profundidades, ângulos.

Uma prática observada na análise dos SPLNs nas etapas do projeto conceitual foi o uso do conceito de *features* funcionais para tratar com informações funcionais incluídas em sentenças funcionais. Notou-se que não existem propostas metodológicas para tratar a sintaxe

e semântica das sentenças funcionais. Em nenhuma das pesquisas analisadas foi encontrado alguma proposta de sistematização das características sintáticas, semânticas e de estrutura gramatical das formas de se descrever textualmente função em linguagem natural. Além disso, não existem propostas metodológicas baseadas na análise gramatical e comportamental para formalizar ubIF explícitas/implícitas nas sentenças funcionais.

Portanto, existe a necessidade de estudos adicionais sobre as características sintáticas, semânticas e de estruturas gramaticais regularmente usadas para descrever textualmente função em linguagem natural. Tais estudos podem corroborar com o desenvolvimento de metodologias baseadas nas análises sintática e comportamental para formalizar as ubIFs explícitas/implícitas nas sentenças funcionais. Além disso, o esforço de pesquisa em tais metodologias pode promover uma proposta de modelo de função baseado na abordagem lingüística.

## **CAPÍTULO 4 - SISTEMATIZAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS SINTÁTICAS, SEMÂNTICAS E ESTRUTURAS GRAMATICAIS DAS SENTENÇAS FUNCIONAIS**

### **4.1 INTRODUÇÃO**

A etapa do projeto conceitual de produto é a fase mais crítica do processo de projeto. A criticidade é consequência do exercício da abstração em alto nível semântico que os projetistas precisam na definição do conceito do produto e das estruturas funcionais dos seus subsistemas e peças. Os conceitos funcionais utilizados para definir o produto e as funcionalidades dos seus subsistemas e peças estão explícitos/implícitos nas sentenças funcionais (também denominada neste trabalho de pesquisa como *descrições textuais de função em linguagem natural* – DTFLN) segundo as especificações de projeto trabalhadas na etapa do projeto informacional. As pesquisas relacionadas ao cumprimento da fase do projeto conceitual apontam para a necessidade da equipe de projeto/projetistas trabalharem dois conceitos dominantes, fundamentais e essenciais nesta etapa: função e comportamento (ROY; BHARADWAY, 2002; DENG, 2002; CHANDRASEKARAN, 2005).

Ciente da importância dos conceitos de função e comportamento, Roy e Bharadway (2002) acrescentaram a abordagem comportamental ao modelo de função de Pahl e Beitz (1996). O objetivo da extensão do modelo de função clássico é para integrar, ao novo modelo de função de Roy e Bharadway, a representação, modelagem e decomposição das funcionalidades de peça em termos dos seus comportamentos na etapa do projeto detalhado de peça. Contudo, o modelo de função de Roy e Bharadway não consegue formalizar para (re)uso o conhecimento funcional, explícito/implícito na sentença funcional, necessário durante todo o processo de representação, modelagem e decomposição funcional de peça. Conforme visto na seção 2.3.4 do Capítulo 2, os esforços de pesquisa estão centrados na normalização, ou busca, de conceito geral de função e comportamento. Entretanto, é preciso mais que um modelo de função baseado na abordagem funcional/comportamento ou um conceito, ou padrão geral de função e comportamento para uma representação sintática e semântica apropriada de sentença funcional (DENG, 2002).

Para entender como o conhecimento funcional pode ser estruturado em uma sentença funcional, este capítulo analisa as relações entre a sintaxe, semântica e estrutura dos

constituintes de um conjunto significativo de sentença funcional. Para isso, neste Capítulo, primeiro um *corpus* lingüístico de sentença funcional é estruturado para análise *a posteriori*. Em seguida, realiza-se a análise sistemática sobre a sintaxe e semântica de cada constituinte das sentenças funcionais, tais como: verbo, substantivo (concreto/abstrato, simples/composto), adjetivo, advérbio, locução adjetiva e suas combinações. Posteriormente, realiza-se a análise sintática e semântica do comportamento da sentença funcional, i.e., das estruturas gramaticais e semânticas características das mesmas. Assim sendo, o objetivo deste Capítulo é sistematizar as características sintáticas e semânticas dos constituintes e estruturas das descrições textuais de função do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais visando propor um modelo de função de peça baseado na abordagem lingüística.

## **4.2 CORPUS LINGÜÍSTICO**

### **4.2.1 Definição de *corpus* lingüístico em lingüística computacional**

Um *corpus* lingüístico “é um conjunto de dados lingüísticos, pertencentes ao uso oral ou escrito da língua, ou a ambos, sistematizados segundo determinados critérios, suficientemente extensos em amplitude e profundidade, de maneira que sejam representativos da totalidade do uso lingüístico ou de algum de seus âmbitos. Os dados lingüísticos também podem ser dispostos de modo a serem processados por computador, com a finalidade de propiciar resultados vários e úteis para a descrição e análise de textos em linguagem natural” (Sanchez apud BERBER SARDINHA, 2004).

### **4.2.2 Conceito de *corpus* lingüístico de sentenças funcionais**

Um *corpus* lingüístico de sentenças funcionais é um conjunto de sentenças funcionais, onde cada sentença funcional contém um conjunto de constituintes com sintaxe e semântica de uso oral e/ou escrito em linguagem natural por projetistas em ambiente de projeto. Esse conceito é abstraído da definição de *corpus* lingüístico em lingüística computacional.

### **4.2.3 Critérios para estruturação de um *corpus* lingüístico de sentenças funcionais**

Segundo Berber Sardinha (2004), os principais critérios que se deve observar na organização de um *corpus* lingüístico de sentenças funcionais são:

(a) **Origem:** os dados devem ser autênticos;

(b) **Propósito:** o *corpus* lingüístico deve ter a finalidade de ser objeto de estudo lingüístico;

O estudo lingüístico das sentenças funcionais tem como objetivo:

(1) Análise gramatical e comportamental dos objetos que cada uma referencia;

(2) Comparar as estruturas gramaticais referenciadas por cada uma das sentenças funcionais;

(3) Avaliar a estrutura sintática e semântica de cada uma das sentenças funcionais;

(4) Categorizar os papéis de cada um dos constituintes das sentenças funcionais.

(c) **Composição:** o conteúdo do *corpus* lingüístico deve ser criteriosamente escolhido;

As sentenças funcionais são funcionalidades pensadas por projetistas de projeto de produto e peças mecânicas e refletem o conhecimento funcional dos projetistas e a linguagem comumente falada nos ambientes dos escritórios ou laboratórios de projeto.

(d) **Formatação:** os dados do *corpus* lingüístico devem ser legíveis por computador;

As sentenças funcionais devem ser escritas na língua portuguesa do Brasil.

(e) **Extensão:** o *corpus* lingüístico deve ser vasto para ser representativo.

Considera-se que *mil unidades* de sentenças funcionais é uma quantidade suficientemente representativa.

#### 4.2.4 Estruturação do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais

Para a organização do *corpus* lingüístico de sentença funcional utilizou-se basicamente três formas de coleta de sentença funcional: entrevistas com engenheiros mecânicos, pesquisa bibliográfica e desenvolvimento de um Editor de Funções de Produto/peça, disponibilizado no sítio do Laboratório de CAD/CAM no endereço eletrônico “<http://www.labcadcam.ufsc.br>” escrito em linguagem de programação PHP para uso educacional. Na pesquisa bibliográfica, as principais fontes de coleta de material foram:

(1) Notas de aula do curso de projeto conceitual da UFSC;

(2) Banco de árvore de funções de peça de Santos (2002);

(3) Livros textos da área de engenharia mecânica tais como:

(a) Ullman (1992);

(b) Pahl e Beitz (1996);

(c) Pahl et al. (2005);



(d) Back et al. (2008)

Na organização do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais, o Editor de Funções de Produto/peça foi utilizado nos cursos de graduação em Engenharia Mecânica e Engenharia de Controle e Automação, na disciplina EMC 5301, no ano de 2007. O objetivo do Editor de Funções de Produto/peça era auxiliar os alunos na definição da árvore de funções de produto/peça durante a modelagem funcional do produto e peça em projeto. A interface do editor de funções de produto/peça é mostrada na Figura 4-1.

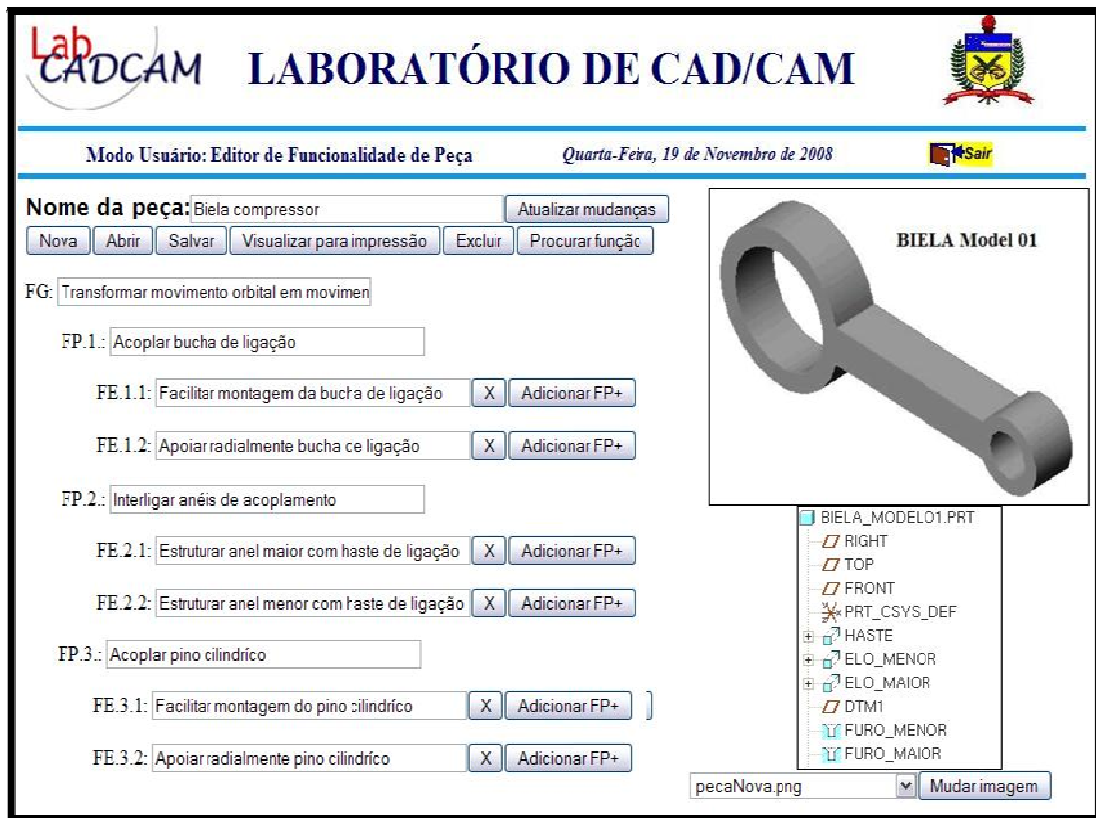


Figura 4-1 – Interface gráfica do editor de estrutura de funções de peça usada para capturar: (i) árvores de funções de peça, (ii) imagem da peça; (iii) imagem da árvore de *features* de peça.

Na Figura 4-1 mostra-se um exemplo de uma árvore de sentenças funcionais de peça, denominada de “Biela Model 01”, com sua estrutura de funções, imagem da peça e árvore de *features* da peça modelada por algum sistema CAD. O conjunto de sentenças funcionais é formado por uma descrição da função global da peça (FG); um conjunto de descrições de Funções Parciais (FP1, FP2, FP3) e outro de Funções Elementares (FE1.1, FE2.1, FE3.1). Estas descrições de funções podem ser melhor visualizadas e analisadas na Figura 4-2.

- Função Global:** Transformar movimento orbital em movimento alternativo
- Função Parcial\_1:** Acoplar radialmente a bucha de ligação ao eixo excêntrico.
- Função Elementar11:** Apoiar radialmente a bucha de ligação com anel maior estendido
- Função Elementar12:** Reforçar região de união da haste de ligação com anel maior
- Função Parcial\_2:** Interligar anéis de acoplamento com perfil regular
- Função Elementar 21:** Estruturar interligação do anel maior com perfil regular
- Função Elementar 22:** Aliviar tensões entre a haste de ligação e o anel maior
- Função Elementar 23:** Estruturar interligação do anel menor com perfil regular
- Função Elementar 24:** Aliviar tensões entre a haste de ligação e o anel menor
- Função Parcial\_3:** Acoplar radialmente o pino cilíndrico do pistão
- Função Elementar 31:** Apoiar pino do pistão com anel menor estendido radialmente
- Função Elementar 32:** Reforçar região de união da haste de ligação com anel menor

Figura 4-2 – Exemplo de uma das estruturas de sentenças funcionais capturadas pelo Editor de Funções de Produto/peça na disciplina EMC 5301

### 4.3 SISTEMATIZAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS SINTÁTICAS, SEMÂNTICAS E ESTRUTURAIS DAS DESCRIÇÕES DE FUNÇÃO DO *CORPUS* LINGÜÍSTICO DE SENTENÇAS FUNCIONAIS

Depois de organizado o *corpus* lingüístico de sentenças funcionais, duas análises são realizadas para a sistematização das características sintáticas, semânticas e estruturais das sentenças funcionais: (i) análise gramatical ou sintática; (ii) análise comportamental.

#### 4.3.1 Análise gramatical

Para entender como os projetistas incluem o conhecimento funcional na relação sintaxe/semântica de uma sentença funcional realizou-se a análise sintática dos constituintes das sentenças funcionais do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais. Primeiro, realizou-se a análise gramatical dos constituintes de cada sentença funcional do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais para organizar suas características sintáticas em categorias gramaticais como, e.g.: verbo, substantivo concreto, substantivo abstrato, adjetivo, advérbio, conjunção, locução adjetiva e suas combinações. Em seguida, as características sintáticas foram estudadas, individualmente e em grupo, à luz da gramática da língua portuguesa do Brasil. O objetivo do estudo das características sintáticas foi para descobrir como os projetistas incluem o conhecimento funcional das geometrias, *features* e outros conhecimentos relacionados aos materiais, processos de fabricação, montagem e outros relacionados ao próprio ciclo de vida

do produto nos constituintes das sentenças funcionais. Em síntese, o conhecimento do tipo de geometria e *feature* relacionado ao conhecimento do tipo de material, processo de fabricação, montagem e outros relacionados ao ciclo de vida do produto constituem as unidades básicas de *informação funcional* (ubIFs) que estruturam o próprio conhecimento funcional do processo de projeto de produto/peça.

Um resultado preliminar da análise gramatical das sentenças funcionais incluídas no *corpus* lingüístico de sentenças funcionais resultou nas seguintes caracterizações:

(a) Sentenças funcionais são do tipo “predicações verbais puras com sujeito inexistente”, por não existir sujeito na sentença funcional;

(b) Sentenças funcionais do tipo “predicações verbais puras com sujeito inexistente” são um resultado que confere com a maioria dos tipos de funcionalidades (sentenças funcionais) encontradas na literatura sobre metodologia de projeto de produto como, e.g., naquelas que usam o modelo de função tradicional proposto por Pahl e Beitz (1996) através de sentença funcional = verbo + substantivo.

Além disso, as sentenças funcionais do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais também referenciam conhecimento funcional de modo implícito e conhecimento funcional de modo explícito.

Esses dois tipos de conhecimento funcional referenciado de modo explícito ou implícito são analisados em seguida.

#### **4.3.1.1 Conhecimento funcional referenciado explicitamente**

De acordo com Houaiss (2001), Explicitar “*é explicar algo de modo nítido e definitivo; tornar algo claro e sem margem para ambigüidade; descrever algo com precisão e rigor, permitindo formalização*”. Em outras palavras, o verbo explicitar não tolera ambigüidade e requer precisão, rigor e formalização. Analogamente, o conhecimento funcional referenciado explicitamente por um, ou mais, constituintes não tolera a ambigüidade e requer precisão, rigor e formalização através de um conjunto de ubIFs. Dito de outra forma, quando a estrutura superficial (ver Glossário) de um, ou de um conjunto de constituintes de uma sentença funcional expressar uma ubIF com precisão, rigor e formalização diz-se que há conhecimento funcional representado explicitamente.

Em seguida, os principais constituintes encontrados nas sentenças funcionais do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais são estudados e exemplificados.

**(a) <Verbo>**

Verbo é a palavra variável em uma sentença funcional que exprime um fato (ação, estados ou mudanças de estados dos seres e fenômenos da natureza), situando-o temporalmente (MESQUITA, 1994, FARACO; MOURA, 1994). Assim, a ubIF representada pelos projetistas no <verbo> é definida pela ação, estados ou mudanças de estados expressa na estrutura superficial dele.

Em uma predicação verbal, os verbos podem ser *intransitivos*, *transitivos* ou de ligação:

(1) *Verbo intransitivo*: é a palavra variável em uma sentença funcional que não precisa de nenhum complemento;

(2) *Verbo transitivo*: é a palavra variável em uma sentença funcional que precisa de um termo que lhe complete o significado;

(3) *Verbo transitivo direto*: é a palavra variável em uma sentença funcional cujo sentido é completado por um termo que se liga a ele sem auxílio de preposição;

(4) *Verbo transitivo indireto*: é a palavra variável em uma sentença funcional verbo cujo sentido é completado por um termo que se liga a ele com auxílio de preposição;

(5) *Verbo transitivo direto e indireto (bitransitivo)*: é a palavra variável em uma sentença funcional verbo cujo sentido é completado por dois termos ao mesmo tempo: um que se liga ao verbo diretamente e outro que se liga ao verbo através de uma preposição.

Contudo, a análise das sentenças funcionais do *corpus* lingüístico de sentença funcional comprovou que os projetistas não seguem rigorosamente a classificação da predicação verbal como prescreve a gramática normativa da língua portuguesa do Brasil. Por exemplo, em nível de produto, na literatura sobre metodologia de projeto de produto e subsistemas e, em alguns casos, em nível de peça, quando se analisa as sentenças funcionais, verifica-se que elas são definidas apenas com o uso de <verbo>.

A prática de se usar somente verbos para expressar a funcionalidade de produto e subsistemas, e em alguns casos peças, inspirou muitos pesquisadores de metodologias de projeto de produto e peça a correlacionarem o desenvolvimento de banco de dados de verbos com banco de funções de produto/peça. Na metodologia de projeto de produto/peça muitos pesquisadores projetaram, desenvolveram e implementaram banco de dados de funções (verbos funcionais) de produto/peça (ROTH, 1982; KOLLER, 1985; HUNDAL, 1990; FIOD NETO, 1993; SCHULTE; WEBER, 1993; KITAMURA; MIZOGUCHI, 1998; OGLIARI, 1999; MIZOGUCHI; KITAMURA, 2000).

Dentre as mil sentenças funcionais do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais, foram

inseridas mais de 220 sentenças funcionais expressas apenas com os conhecidos *verbos funcionais* (ROTH, 1982; KOLLER, 1985; PAHL; BEITZ, 1996; PAHL et al., 2005) e outras da literatura da Engenharia Mecânica. O motivo da inserção dessas sentenças funcionais no *corpus* lingüístico de sentenças funcionais é porque elas são reconhecidas e aceitas como portadoras de informações funcionais e são extensamente usadas nas estruturas funcionais de produto e subsistemas, e em alguns casos de peça, na etapa do projeto conceitual em vários artigos. Na Tabela 4-1 mostram-se algumas propostas de representação de ubIF (na estrutura superficial) para alguns verbos funcionais utilizados em sentenças funcionais.

Tabela 4-1: Verbos funcionais e suas propostas de ubIFs, para a estrutura superficial, de Roth (1982), Koller (1985) e Pahl e Beitz (1996)

Pesquisadores	<Verbos Funcionais> ubIF baseada na relação entrada/saída da conversão de Energia, Material e Sinal (Informação)
<b>Roth</b>	Conduzir ( <b>lugar</b> ); armazenar ( <b>quantidade</b> ); transformar ( <b>qualidade</b> ); unir ( <b>grandezas genéricas [aditivas, distributivas]</b> ): (a) iguais e (b) diferentes);
<b>Koller</b>	Emitir/ <b>absorver</b> ; transmitir/ <b>isolar</b> ; agrupar/ <b>dispersar</b> ; guiar/ <b>não guiar</b> ; transformar/ <b>retransformar</b> ; ampliar/ <b>reduzir</b> ; mudar direção/ <b>não mudar direção</b> ; retificar/ <b>oscilar</b> ; ligar/ <b>interromper</b> ; misturar/ <b>separar</b> ; juntar/ <b>dividir</b> ; acumular/ <b>desacumular</b> ;
<b>Pahl e Beitz</b>	Transformar ( <b>qualidade</b> ), variar ( <b>magnitude</b> ), associar ( <b>número</b> ), transmitir( <b>lugar</b> ) e armazenar( <b>tempo</b> ).

Além desses verbos funcionais, no *corpus* lingüístico de sentenças funcionais, há exemplos de outros verbos que explicitam a ubIF na sua própria estrutura superficial sintática como os exemplos mostrados a seguir:

**Verbo (Estrutura superficial)                      ubIF da Estrutura superficial do <Verbo>**

Balancear: Balanceamento ou equilíbrio de cargas

Bombear: Movimentar fluido por meio de uma bomba ou dispositivo;

Comprimir: Realizar compressão

Manusear: Empregar uso das mãos

Posicionar: Pôr em posição

No *corpus* lingüístico de sentenças funcionais, também, há exemplos de uso de sentenças funcionais mais simples descritas apenas com um verbo e um substantivo (PAHL; BEITZ, 1996; PAHL et al., 2005) e há outras mais elaboradas com muitos constituintes, tais como;

- (1) Transmitir *torque*;
- (2) Converter *movimento rotativo*;
- (3) Acelerar *fluxo de óleo*.

As sentenças funcionais acima são exemplos do uso de verbos que precisam de

complemento verbal. Contudo, na estrutura superficial de cada um dos verbos funcionais, mencionados anteriormente, há ubIF que imprime uma ação da sentença funcional como um todo.

**(b) <Substantivo concreto>**

O substantivo é a palavra variável em uma sentença funcional que designa os seres em geral, sejam eles animados ou inanimados, reais ou imaginários, concretos ou abstratos (FARACO; MOURA, 1994; MESQUITA, 1994). Segundo os autores, os substantivos podem ser classificados em próprios/comuns, concretos/abstratos, simples/compostos, primitivos/derivados e coletivos. Para os autores, um substantivo concreto é o substantivo que designa o ser propriamente dito, com existência própria e independente de outros seres. Esses seres podem ter existência no mundo real ou imaginário.

Na etapa do projeto conceitual de produto/peça, os substantivos concretos são empregados na sentença funcional para expressarem a concretização de requisitos de usuários e projeto na peça/produto. Assim, a ubIF referenciada pelos projetistas na estrutura superficial do <substantivo concreto> é caracterizada por objetos com existência própria e independente de outros objetos do mundo real ou imaginário. Nas sentenças funcionais do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais, a ubIF do <*substantivo concreto*> caracteriza-se por expressar um: (i) Detalhe geométrico (DG) da peça; (ii) *Feature*; (iii) Peça em si; (iv) Produto em si. Exemplos de sentenças funcionais, extraídas do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais, que utilizam substantivos concretos são:

- (1) Adaptar *mancal* ao *bloco do sistema estacionário*;
- (2) Aplicar carga sobre o *corpo-de-prova*;
- (3) Facilitar montagem por meio de *chanfros*;
- (4) Acoplar *pino* cilíndrico ao *pistão*;
- (5) Interligar *haste* tipo *tronco piramidal* aos *anéis de acoplamento*.

Nas sentenças funcionais (1), (3), (4) e (5), existem exemplos de substantivos concretos simples (que apresentam um só elemento formador ou um só radical (FARACO; MOURA, 1994; MESQUITA, 1994): *mancal*, *chanfros*, *pino*, *pistão* e *haste*).

Nas sentenças funcionais (1), (2) e (5), existem exemplos de substantivos concretos compostos (que apresenta mais de um elemento formador, ou mais de um radical (FARACO, MOURA, 1994; MESQUITA, 1994): *bloco do sistema estacionário*, *corpo-de-prova*, *tronco piramidal* e *anéis de acoplamento*).

**(c) <Adjetivo>**

O adjetivo é a palavra variável em uma sentença funcional que modifica a compreensão do substantivo, atribuindo-lhe uma qualidade, um estado, um modo de ser, um aspecto ou uma aparência exterior (FARACO; MOURA, 1994; MESQUITA, 1994). Assim, a ubIF referenciada pelos projetistas na estrutura superficial do <adjetivo> é caracterizada por alguma qualidade, modo de ser, aspecto ou aparência geométrica do próprio detalhe geométrico da peça, da *feature* da própria peça ou produto.

Portanto, o conhecimento explícito na estrutura superficial de um <adjetivo> define um propósito intencional do projetista/equipe de projeto na concretização de um comportamento esperado da forma geométrica pretendida. Exemplos de aspectos geométricos explícitos no <adjetivo> podem ser analisados nas sentenças funcionais abaixo:

- (1) Acoplar pino *cilíndrico* ao pistão;
- (2) Acoplar pino *prismático* ao pistão;
- (3) Acoplar pino *de trava* ao pistão;
- (4) Interligar haste tipo tronco *piramidal* aos anéis de acoplamento.

Nos exemplos acima, a estrutura superficial do <adjetivo> nas sentenças funcionais acima define a forma geométrica: (1) cilíndrica; (2) prismática e (4) piramidal, enquanto na sentença funcional (3) a forma geométrica é caracterizada pela função de travamento exercido pelo papel da <locução adjetiva><sup>1</sup> “de trava”.

**(d) Combinação <verbo + substantivo concreto>**

A combinação <verbo + substantivo concreto> exprime um fato (ação, estados ou mudanças de estados dos seres e fenômenos da natureza) sobre o ser propriamente dito (um ser com existência própria e independente de outros seres). Assim, a ubIF referenciada pelos projetistas no <verbo+ substantivo concreto> é definida pela ação, processo, estados ou mudanças de estados sobre o objeto que é expresso na própria estrutura superficial dessa combinação. Exemplos da combinação <verbo + substantivo concreto> são:

- (1) *Interligar anéis de acoplamento* com perfil escalonado nos dois sentidos;
- (2) *Reforçar região de união* da haste de ligação com anel maior;
- (3) *Conduzir óleo de lubrificação*.

---

<sup>1</sup> Locução adjetiva é a estrutura do tipo *preposição +/- artigo + substantivo*, que qualifica substantivos.

Nesses exemplos, os objetos conhecidos pelos projetistas na combinação <verbo + substantivo concreto> sofrem diferentes tipos de processos em cada sentença funcional acima. Por exemplo, a meta do <verbo> “interligar” é ligar, ou conectar entre si dois ou mais objetos, enquanto o <substantivo> “anéis” define objetos circulares; “reforçar” é tornar mais forte, mais robusto, mais sólido, mais resistente, enquanto o <substantivo> “região de união” define o lugar onde se deve reforçar. Assim, a intenção dos projetistas com a estrutura superficial em: (1) é utilizar um perfil escalonado nos dois sentidos para ligar os dois anéis de acoplamento; (2) é tornar mais resistente a região de união da haste de ligação com anel maior; (3) é utilizar algum meio para conduzir o óleo de lubrificação.

#### (e) Combinação <substantivo concreto + adjetivo>

A combinação <substantivo concreto + adjetivo>, ou <substantivo concreto + locução adjetiva>, possibilita a identificação qualitativa de cada objeto do mundo real ou imaginário. Assim, a ubIF representada na estrutura superficial do <substantivo concreto+ adjetivo>, ou <substantivo concreto + locução adjetiva> é caracterizada pela identificação qualitativa dos objetos com existência própria e independente de outros objetos do mundo real ou imaginário (conhecidos apenas pelos projetistas). Portanto, a ubIF referenciada pelos projetistas na estrutura superficial do <substantivo concreto + adjetivo>, ou <substantivo concreto + locução adjetiva> é caracterizada por alguma identificação qualitativa, modo de ser, aspecto ou aparência da geométrica do próprio: detalhe geométrico da peça, *feature*, submontagem/montagem ou produto. Exemplos de identificações qualitativas explícitas no <substantivo concreto + adjetivo> ou <substantivo concreto + locução adjetiva> podem ser analisados nas sentenças funcionais abaixo:

- (1) Aliviar tensões entre haste e *anel menor*;
- (2) Interligar *anéis de acoplamento* com *perfil regular*;
- (3) Acoplar radialmente a *bucha de ligação* no *eixo excêntrico*;
- (4) Facilitar travamento do *pino do pistão* do *eixo excêntrico*.

Nos exemplos acima, as descrições com <substantivo concreto + adjetivo> identificadas qualitativamente são *anel menor*, *perfil regular* e *eixo excêntrico*. Enquanto as descrições com <substantivo concreto + locução adjetiva> são *anéis de acoplamento*, *bucha de ligação* e *pino do pistão*.

Uma sistematização das características sintáticas e semânticas dos constituintes das sentenças funcionais pode ser organizada a partir do conhecimento funcional explícito na



estrutura superficial das sentenças funcionais do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais. Assim, uma síntese das características sintáticas e semânticas dos constituintes das descrições textuais de função do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais é mostrada na Tabela 4-2. Na Tabela 4-2, deve-se observar que as ubIFs representadas na estrutura superficial expressam as características semânticas dos constituintes de uma sentença funcional (SF).

Tabela 4-2: Sistematização das características sintáticas e semânticas dos constituintes das descrições textuais de função do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais<sup>2</sup>

<b>Características sintáticas de uma SF</b>	<b>Características semânticas dos constituintes de uma SF</b>
<b>Verbo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Exprime formalmente um fato, ação, processo, estados ou mudanças de estados dos seres e fenômenos da natureza</li> <li>– Possui qualificadores semânticos relacionado a meta (objetivo, propósito funcional) da SF</li> <li>– Pode ser lexicalizado (com sentido expresso na estrutura superficial – ver Glossário)</li> <li>– Concentra o significado da SF (por ser predicação pura)</li> </ul>
<b>Substantivo concreto</b>	– Denomina os tipos de detalhe geométrico (DG) da peça, tipo de <i>feature</i> , tipo de peça ou tipo de produto.
<b>Adjetivo</b>	– Qualifica o tipo do detalhe geométrico (DG) da peça, tipo de <i>feature</i> , tipo de peça, tipo de produto.
<b>Combinação verbo + Substantivo concreto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Expressa uma ação, processo, estado ou mudança de estado do objeto;</li> <li>– Qualifica o(s) requisito(s) de projeto, e.g., em uma localização ou orientação pré-definida de um objeto de projeto.</li> </ul>
<b>Combinação Substantivo concreto + Adjetivo</b>	– Identificação qualitativa da geometria do detalhe da peça, da geometria da peça, da geometria <i>feature</i> ou da geometria do produto

#### 4.3.1.2 – Conhecimento funcional referenciado implicitamente

De acordo com Houaiss (2001), o adjetivo *implícito* “*é um qualificador expresso por proposição e que não pode ser formalizado; que se manifesta mais por atos que por palavras; que não se manifesta por declaração; que é subentendido, tácito; derivado de crenças que se tem sem prévio exame*”. Em outras palavras, o adjetivo implícito diz respeito ao conhecimento manifestado por atos, crenças e experiências pessoais. Porém, tal conhecimento tácito é difícil de ser expresso ou declarado por palavras e de ser verificado previamente. Analogamente, o conhecimento funcional referenciado implicitamente por um, ou mais, constituinte diz respeito ao conhecimento manifestado por atos, crenças e experiências pessoais e, por isso,

<sup>2</sup> Elaborado por Santos e Dias

ele é difícil de ser expresso ou declarado por palavras e de ser verificado previamente. Ou seja, quando a estrutura superficial de um, ou de um conjunto de constituintes, da sentença funcional não expressam formalmente uma ubIF com precisão e rigor diz-se que há conhecimento funcional referenciado implicitamente. Conseqüentemente, deve-se procurar a ubIF na *estrutura profunda* (ver Glossário) desse constituinte, ou conjunto de constituintes, da sentença funcional para formalizar tal conhecimento funcional.

#### a) <Verbo>

Quando a ubIF não estiver formalmente expressa na estrutura superficial do <verbo> é necessário procurá-la na estrutura profunda (ver Glossário) da sua ação, processo, estados ou mudanças de estado intencionais. Assim, a ubIF é representada por uma taxonomia idiossincrática e própria dos projetistas para referenciar conhecimento funcional. Exemplos de <verbos>, da taxonomia idiossincrática dos projetistas, usados nas sentenças funcionais do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais são:

- (1) *Customizar* a lubrificação na região inferior da bucha
- (2) *Prover* balanceamento excêntrico
- (3) *Permitir* lubrificação inferior
- (4) *Gerar* deslocamento volumétrico positivo do gás refrigerante

O conhecimento funcional implícito na estrutura profunda do <verbo>, da taxonomia idiossincrática dos projetistas, é decorrente dos atos, crenças e experiências pessoais dos projetistas nos seus ambientes de trabalho. Por exemplo, como visto anteriormente, os <verbos> *customizar*, *prover*, *permitir* e *gerar* não se enquadram em nenhum dos esquemas de classificação de verbo funcional (das funções) propostos por muitos pesquisadores (ROTH, 1982; KOLLER, 1985; PAHL; BEITZ, 1996; KIRSCHMAN; FADEL, 1998). Lembrando que a classificação (ou taxonomia) das funções de Kirschman e Fadel (1998) é baseada em quatro grupos de funções relacionadas ao: (i) movimento; (ii) controle; (iii) energia/ matéria; (iv) enclausuramento.

Além disso, a taxonomia idiossincrática dos projetistas também não se enquadra no esquema de tipificação (propósito funcional) para a sentença funcional pesquisada por Keuneke, Franke, Chandrasekaran, Umeda, Iwasaki e Kitamura (ver a secção 2.4.6 do Capítulo 2).

Uma conseqüência da taxonomia idiossincrática dos projetistas é a impossibilidade da compreensão do conhecimento funcional incluído nas entrelinhas das funções (com os verbos

funcionais deles) descritas textualmente em linguagem natural.

### b) <Substantivo abstrato>

<Substantivo abstrato> é o substantivo que designa não propriamente os seres, mas sensações, estados, ações ou qualidades dos seres. Os processos subjetivos (qualitativos) dos seres designados pelos <substantivos abstratos> têm existência dependente de outros seres (MESQUITA, 1994; FARACO, MOURA, 1994). Assim, a ubIF referenciada pelos projetistas na estrutura profunda do <substantivo abstrato> caracteriza-se por algum processo qualitativo relacionado ao ciclo de vida do produto, tais como os processos de projeto, fabricação, montagem, armazenamento, uso, transporte, venda, compra, função, manutenção, reciclagem ou descarte.

Portanto, a ubIF derivada da estrutura profunda do <substantivo abstrato> caracteriza-se por descrever conhecimento funcional de processos qualitativos relacionados aos:

(1) Conceitos de leis físicas como movimento, força, torque, rotação, compressão, superfícies, região (área), fluxo, região (volume);

(2) Conceitos de processo, tais como aspectos de montagem, manuseio, excaixe, acoplamento, deslocamento;

(3) Conceitos de segurança, como travamento, resistência (esforço), enclausuramento, lubrificação (evitar desgaste por aquecimento, atrito, dentre outros);

(4) Determinação de orientação, direcionamento, como entrada, saída, partida, passagem;

(5) Conceito de controle, tais como controle, regulagem;

(6) Processo de fabricação como soldagem.

Exemplos de ubIF representada pelos projetistas na estrutura profunda do <substantivo abstrato> são:

- (a) Aliviar *tensões* entre a haste e o anel maior;
- (b) Permitir *encaixe* do anel menor da biela para montagem de acoplamento;
- (c) Fornecer *enclausuramento* do compressor;
- (d) Facilitar *entrada* do rotor na montagem;
- (e) Apoiar *fixação* do eixo de entrada e do elemento de transição;
- (f) Permitir *regulagem* de elemento de acoplamento;
- (g) Permitir *soldagem* em ângulo.

Em (a), as tensões mencionadas aqui são as forças, <substantivo abstrato>, existentes na

junção referenciada explicitamente na interação entre os objetos concretos ‘haste’ e ‘anel maior’. Enquanto em (b), (c), (d), (e), (f) e (g), o ‘encaixe’, ‘enclausuramento’, ‘entrada’, ‘fixação’, ‘regulagem’ e ‘soldagem’ mencionados são, respectivamente, os <substantivos abstratos>, ‘montagem’, ‘fechamento’, ‘montagem’, ‘fixação’, ‘ajuste’ e ‘fixação’, referenciados implicitamente na interação entre objetos concretos mencionados parcialmente nas próprias sentenças funcionais.

### c) <Adjetivo>

A ubIF referenciada pelos projetistas na estrutura profunda do <adjetivo> referencia alguma qualidade, modo de ser, aspecto ou aparência interior da inter-relação entre (i) detalhes geométricos (DGs) da peça, (ii) *features* da peça, (iii) peças do produto ou (iv) Submontagens/montagens do produto. A análise das sentenças funcionais do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais resultou na identificação de ubIF que geralmente referencia, e.g., quantidade, posição, localização e, algumas vezes, também referenciou comportamento associado a lei física, dentre outras associações, aplicada à própria peça. Exemplos de ubIF referenciada na estrutura profunda do <adjetivo> de sentenças funcionais do ‘*corpus* lingüístico de sentenças funcionais são:

- (1) Apoiar radialmente a bucha de ligação com anel maior *estendido*;
- (2) Reter axialmente o mancal de rolamento *anterior*;
- (3) Direcionar *óleo de lubrificação* no início do canal helicoidal *externo*;
- (4) Converter energia elétrica em energia mecânica *rotacional*.

Assim, a ubIF representada na estrutura profunda do <adjetivo> na sentença funcional: (1) *estendido* – indica a noção de comprimento, quantidade; (2) *anterior* – indica a noção de posição; (3) *externo* – indica a noção de localização; (4) *rotacional* – indica a noção do conceito de movimento circular (lei física).

### d) Combinação <verbo + substantivo abstrato>

A combinação <verbo + substantivo abstrato> exprime um fato (ação, estados ou mudança de estados dos seres e fenômenos da natureza) sobre algum processo qualitativo dos conceitos sobre: (i) leis físicas; (ii) processos de (sub)montagem, manuseio, encaixe; (iii) segurança; (iv) orientações, direcionamento; (v) controle; (vi) fabricação. Assim, a ubIF referenciada pelos projetistas na estrutura profunda da combinação <verbo + substantivo abstrato> caracteriza-se por descrever conhecimento funcional sobre processos qualitativos

relacionados ao ciclo de vida do produto, tais como os processos de projeto, fabricação, montagem, armazenamento, uso, transporte, venda, compra, função, manutenção, reciclagem e descarte. Exemplos de ubIF representada pelos projetistas na estrutura profunda da combinação <verbo + substantivo abstrato> são:

- (1) *Facilitar a montagem* do pino do eixo excêntrico;
- (2) *Orientar travamento* do pino do pistão;
- (3) *Acoplar pino* cilíndrico ao pistão.

Nos exemplos das sentenças funcionais acima, há conhecimento funcional referenciado na estrutura profunda da combinação <verbo + substantivo abstrato> sobre a necessidade de: (1) Processos de fabricação, e.g., de usinagem na produção de (*feature*) chanfro, visando a operação de montagem da peça com o ‘pino do eixo excêntrico’; (2) Processo de montagem das peças ‘pino do pistão’ e ‘pistão’ visando a operação de travamento; (3) Processo de montagem das peças ‘pino cilíndrico’ e ‘pistão’ visando a operação de acoplamento entre elas.

#### e) Combinação <substantivo abstrato + Adjetivo>

A combinação <substantivo abstrato + adjetivo>, ou <substantivo abstrato + locução adjetiva> possibilita a identificação qualitativa de algum processo relacionado aos conceitos sobre: (i) leis físicas; (ii) processos de (sub)montagem, manuseio, encaixe; (iii) segurança; (iv) orientações, direcionamento; (v) controle; (vi) fabricação. Assim, as ubIFs referenciadas pelos projetistas na estrutura profunda da <substantivo abstrato + adjetivo>, ou <substantivo abstrato + locução adjetiva>, é caracterizada por identificar qualitativamente algum processo relacionado ao ciclo de vida do produto, tais como os processos de projeto, fabricação, montagem, armazenamento, uso, transporte, venda, compra, função, manutenção, reciclagem e descarte. Exemplos de ubIF referenciada pelos projetistas na estrutura profunda da combinação <substantivo abstrato + adjetivo> ou <substantivo abstrato + locução adjetiva> são:

- (1) Permitir *manuseio ergonômico*;
- (2) Transmitir *movimento orbital* para a biela;
- (3) Permitir *soldagem em ângulo*.
- (4) Isolar ruídos e vibrações gerados no *processo de compressão*.

Nas sentenças funcionais acima, há conhecimento funcional referenciado na estrutura profunda da combinação <substantivo abstrato + adjetivo> que possibilita a identificação

qualitativa de: (1) processos de montagem, e.g., pelo uso de *feature* ou geometria que operacionalize a montagem ergonômica de peça; (2) processo de projeto. Por exemplo, pelo uso de *feature* ou geometria que operacionalize a transmissão de movimento orbital, ou circular para a ‘peça biela’.

As sentenças funcionais acima que referenciam conhecimento funcional na estrutura profunda da combinação <substantivo abstrato + locução adjetiva> e que possibilita a identificação qualitativa de: (3) Processo de fabricação, e.g., pelo uso do ‘processo de soldagem em ângulo’ que operacionaliza a junção em duas ou mais peças entre si; (4) processo de projeto. Por exemplo, pelo uso de *features* ou geometrias que operacionalizem o isolamento de ruídos e vibrações durante o processo de compressão.

#### f) Combinação <verbo + advérbio>

Segundo Mesquita (1994) e Faraco e Moura (1994), o advérbio é a palavra que modifica um verbo, um adjetivo, outro advérbio ou, mesmo, toda uma oração, ou sentença funcional. Ainda segundo os autores, os advérbios e as locuções adverbiais podem ser classificados de acordo com as circunstâncias que expressam: tempo, modo, negação, afirmação, dúvida, “lugar”, intensidade. Os tipos de advérbios encontrados análise das sentenças funcionais do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais foram o de: (i) modo (e.g., axialmente, radialmente, internamente, externamente, inferiormente, superiormente); (ii) lugar (e.g., no final, no início, anterior e posterior).

A ubIF representada pelos projetistas na estrutura profunda da combinação <verbo + advérbio> caracteriza-se por identificar qualitativamente o modo ou o lugar de ação, processo ou mudança de estados da inter-relação entre: (i) detalhes geométricos (DGs) da peça; (ii) *features* da peça; (iii) peças do produto; (iv) submontagens/montagens do produto; (v) produtos.

Exemplos de ubIF referenciada pelos projetistas na estrutura profunda da combinação <verbo + advérbio> são:

- (1) *Acoplar radialmente* a bucha de ligação no pino do eixo excêntrico;
- (2) *Captar na parte de baixo* óleo lubrificante;
- (3) *Apoiar radialmente* o anel menor da biela ao pistão.

Na sentença funcional em (1), sob o ponto de vista do processo de (sub)montagem, há orientação do tipo de interação entre as peças bucha de ligação e pino do eixo excêntrico. Na sentença funcional em (3), sobre o ponto de vista do processo de projeto, há orientação sobre

o modo de interação entre a *feature* (DG) ‘anel menor da biela’ e a peça ‘pistão’. Enquanto na sentença funcional em (2), sob o ponto de vista do processo de projeto, há orientação sobre o lugar de captação da interação entre o produto óleo de lubrificação no produto em projeto.

Na Tabela 4-3, tem-se uma síntese das características sintáticas e semânticas das ubIF incluídas nos constituintes de uma sentença funcional, mas em nível da estrutura profunda.

Tabela 4-3: Síntese do conhecimento referenciado implicitamente nas características sintáticas e semânticas dos constituintes de uma sentença funcional pelas unidades básicas de informações funcionais (ubIFs)<sup>2</sup>

<b>Características sintáticas de uma SF</b>	<b>Características semânticas dos constituintes de uma sentença funcional (SF)</b>
<b>Verbo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Utiliza taxonomia idiossincrática para expressar: ação, processo, estado ou mudanças de estados intencionais;</li> <li>– Sua ubIF é expressa na estrutura profunda do &lt;verbo&gt;;</li> <li>– Conhecimento funcional implícito na estrutura profunda do &lt;verbo&gt; é decorrente dos atos, crenças e experiências pessoais;</li> <li>– Para compreender o conhecimento funcional que ele referencia implicitamente é necessário informação funcional adicional.</li> </ul>
<b>Substantivo abstrato</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Designa processos subjetivos tais como percepções, sensações, qualidades, estados ou ações dos seres;</li> <li>– Sua ubIF referencia processos qualitativos relacionados ao ciclo de vida do produto tais como processos de projeto, fabricação, montagem, armazenamento, uso, transporte, venda, compra, função, manutenção, reciclagem ou descarte;</li> <li>– Há um conhecimento funcional implícito na sua estrutura profunda que é descrito por conceitos como, e.g., de leis físicas.</li> </ul>
<b>Adjetivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sua ubIF referencia alguma qualidade, modo de ser, aspecto ou aparência interior da interação entre: (i) DGs de peça; (ii) <i>features</i> de peça; (iii) peças de produto; (iv) (sub)montagem de produto;</li> <li>– Há um conhecimento funcional implícito na sua estrutura profunda que referencia quantidade, posição e localização e algumas vezes, também, referencia comportamento associado a lei física.</li> </ul>
<b>Combinação verbo + Substantivo abstrato</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Há um conhecimento funcional implícito na sua estrutura profunda sobre algum processo qualitativo dos conceitos sobre leis físicas, orientações, direcionamentos, processo de fabricação, (sub)montagem, segurança, dentre outros.</li> </ul>
<b>Combinação Substantivo abstrato + Adjetivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Há um conhecimento funcional implícito na sua estrutura profunda que pode identificar qualitativamente algum processo relacionado aos conceitos de leis físicas, orientações, direcionamentos; processo de fabricação, (sub)montagem, segurança, dentre outros.</li> <li>– Sua ubIF pode ser usada para identificar processos qualitativos relacionados ao ciclo de vida do produto</li> </ul>
<b>Combinação Substantivo abstrato + Advérbio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sua ubIF possibilita a identificação qualitativa do modo ou lugar de ação, processo ou mudança de estados da inter-relação entre: (i) DGs de peça; (ii) <i>features</i> de peça; (iii) peças de produto; (iv) (sub)montagem de produto; (v) produtos .</li> </ul>

Na Tabela 4-3, deve-se observar que as ubIF expressa na estrutura profunda referenciam as características semânticas dos constituintes da sentença funcional.

#### 4.3.2 – Análise comportamental


Para compreender como os projetistas utilizam as sentenças funcionais para referenciar conhecimento de relacionamentos funcionais realizou-se a análise comportamental de cada estrutura gramatical da sentença funcional do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais. Primeiro, as estruturas gramaticais de cada sentença funcional foram organizadas em grupos de estruturas gramaticais similares. Um resultado preliminar mostrou que as sentenças funcionais variam desde agrupamento unitário de constituinte gramatical, os mais simples, dado por um <verbo> até agrupamentos com muitos constituintes gramaticais, estes mais elaborados, como, dentre outros agrupamentos sintáticos ainda mais elaborados:

- (a) <verbo>;
- (b) <verbo + substantivo concreto simples>;
- (c) <verbo + substantivo abstrato composto>;
- (d) <verbo + substantivo concreto composto + adjetivo>;
- (e) <verbo + advérbio + substantivo abstrato simples + locução adjetiva >;
- (f) <verbo + substantivo concreto simples + substantivo abstrato composto>;
- (g) <verbo + advérbio + substantivo concreto composto + adjetivo + substantivo abstrato composto+ adjetivo>.

Em seguida, cada um dos agrupamentos de estrutura gramatical das sentenças funcionais categorizadas anteriormente foi estudado em relação à maneira como eles referenciam informações funcionais dos aspectos geométricos e de processo a partir das restrições de projeto e restrições espaciais. O objetivo da análise comportamental das sentenças funcionais do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais foi sistematizar os tipos de estruturas gramaticais em função das ubIFs relacionadas às restrições de projeto e espaciais. Na análise comportamental das estruturas gramaticais das sentenças funcionais foi observado que os agrupamentos de constituintes gramaticais mais simples tendem a referenciar ubIFs incompletas, vagas e incertas e agrupamentos de constituintes gramaticais mais elaborados tendem a referenciar ubIFs mais completas, claras e objetivas – ver Tabela 4-4. A essa forma de referenciar o conhecimento funcional através da ubIFs denominou-se neste trabalho de pesquisa de grau de incompletude, vagueza e incerteza –  $G(I_C, V_G, I_Z)$ .



Tabela 4-4: Grau (I<sub>C</sub>, V<sub>G</sub>, I<sub>Z</sub>) das estruturas sintáticas das descrições textuais de função do *corpus* linguístico de sentenças funcionais em função da ubIFs<sup>2</sup>

G (I <sub>C</sub> , V <sub>G</sub> , I <sub>Z</sub> )	<b>Estruturas Gramaticais das sentenças funcionais</b> <i>(sem o uso das preposições e artigos, também, característicos)</i>
<i>ubIFs</i> mais incompletas, vagas e incertas (mais abstratas ou subjetivas)	
 <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>Grau de Incompleteza, Vagueza, Incerteza de Conhecimento Funcional - G(I<sub>C</sub>, V<sub>G</sub>, I<sub>Z</sub>)</b></p>	<i>Verbo</i>
	<i>Verbo + Substantivo</i>
	<i>Verbo + Substantivo + Adjetivo</i>
	<i>Verbo + Advérbio + Substantivo</i>
	<i>Verbo + Advérbio + Substantivo + Adjetivo</i>
	<i>Verbo + Substantivo + Substantivo</i>
	<i>Verbo + Substantivo + Adjetivo + Substantivo + Adjetivo</i>
	<i>Verbo + Advérbio + Substantivo + Adjetivo + Substantivo + Adjetivo</i>
<i>Agrupamentos sintáticos ainda mais elaborados...</i>	
<i>ubIFs</i> mais completas, sem ambigüidade e precisas (mais concretas ou objetivas)	

A análise das estruturas gramaticais do *corpus* linguístico de sentenças funcionais na Tabela 4-4 sugere a:

- (a) Impossibilidade de uma estrutura gramatical estanque e padrão para expressar de modo único o conhecimento funcional para produto, (sub)sistema ou peça;
- (b) Possibilidade de uso de vários modos de se expressar o conhecimento funcional para produto, subsistemas ou peças;
- (c) Uma métrica para o Grau (I<sub>C</sub>, V<sub>G</sub>, I<sub>Z</sub>) das sentenças funcionais relacionadas às suas restrições de projeto e espaciais expressas de modo explícito/implícito para produto, (sub)sistema ou peça.

A métrica para o Grau (I<sub>C</sub>, V<sub>G</sub>, I<sub>Z</sub>) das sentenças funcionais, relacionadas ao conhecimento dos inter-relacionamentos funcionais explícito/implícito nas sentenças funcionais, implica apenas na quantidade de informações que deve ser formalizada. Assim, o altíssimo Grau (I<sub>C</sub>, V<sub>G</sub>, I<sub>Z</sub>) das sentenças funcionais relacionadas ao conhecimento das interações funcionais explícito/implícito nas sentenças funcionais em nível de produto é devido ao nível de abstração ser também muito alto. Isso acontece porque na etapa do projeto conceitual de produto há a necessidade de muito conhecimento funcional para o

estabelecimento do conceito de produto e da sua própria função global. Portanto, o baixo  $G(I_C, V_G, I_Z)$  das sentenças funcionais sugere a necessidade de um conjunto de propósitos funcionais específicos para os verbos (KEUNEKE, 1991) como auxílio à realização das especificações de projeto de produto.

Ao contrário do produto, em nível de peça, o  $G(I_C, V_G, I_Z)$  das sentenças funcionais varia para baixo, pois há uma maior concretude na sentença funcional, mesmo que ainda haja muita informação funcional que precise ser formalizada. Apesar do  $G(I_C, V_G, I_Z)$  das sentenças funcionais baixarem muito, na etapa do projeto conceitual de peça o conjunto de propósitos funcionais específicos para os verbos faz-se necessário para direcionar as funcionalidades pensadas para a estrutura de funções de cada peça.

Ainda na Tabela 4-4, embora as estruturas gramaticais sejam formalmente dispostas, um desafio de pesquisa é achar uma sentença funcional que seja suficientemente genérica e não seja limitada pela quantidade de constituintes. Além disso, e em relação ao conhecimento das interações funcionais, é necessário encontrar qual a relação entre sentença funcional, comportamento e geometria entre DGs de peça.

Para entender a relação entre sentença funcional, comportamento e geometria entre DGs de peça, inicialmente propõe-se o conceito de comportamento de DG de peça. O conceito de comportamento de DG de peça adotado para a análise das sentenças funcionais do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais nesta tese é similar ao proposto por Roy e Bharadway (2001) e Deng (2002). Assim, o

*“Conhecimento comportamental de um detalhe geométrico de peça, ou de uma geometria de peça, é o resultado do conhecimento das interações funcionais entre faces funcionais de diferentes detalhes geométricos em uma mesma peça, ou entre peças diferentes, sob as restrições espaciais e de projeto associadas com a transformação das entidades físicas de entrada/saída de energia, material e sinal (informação)” (Santos e Dias);*

Exemplos da relação entre sentença funcional, comportamento e geometria de DGs de peça são analisados em seguida. Em cada um dos casos a seguir, o comportamento das estruturas sintáticas das sentenças funcionais dos DGs de peça é obtido a partir da análise da relação geometria *versus* restrições de projeto/espaciais das mesmas.

**Exemplo 1:** Neste exemplo, mostra-se como uma mesma estrutura gramatical (um mesmo agrupamento de sintaxe) de sentença funcional pode ser realizada por diferentes formas geométricas de DGs, ou *features*, para se obter diferentes comportamentos de peças – como ilustrado na Figura 4-2.

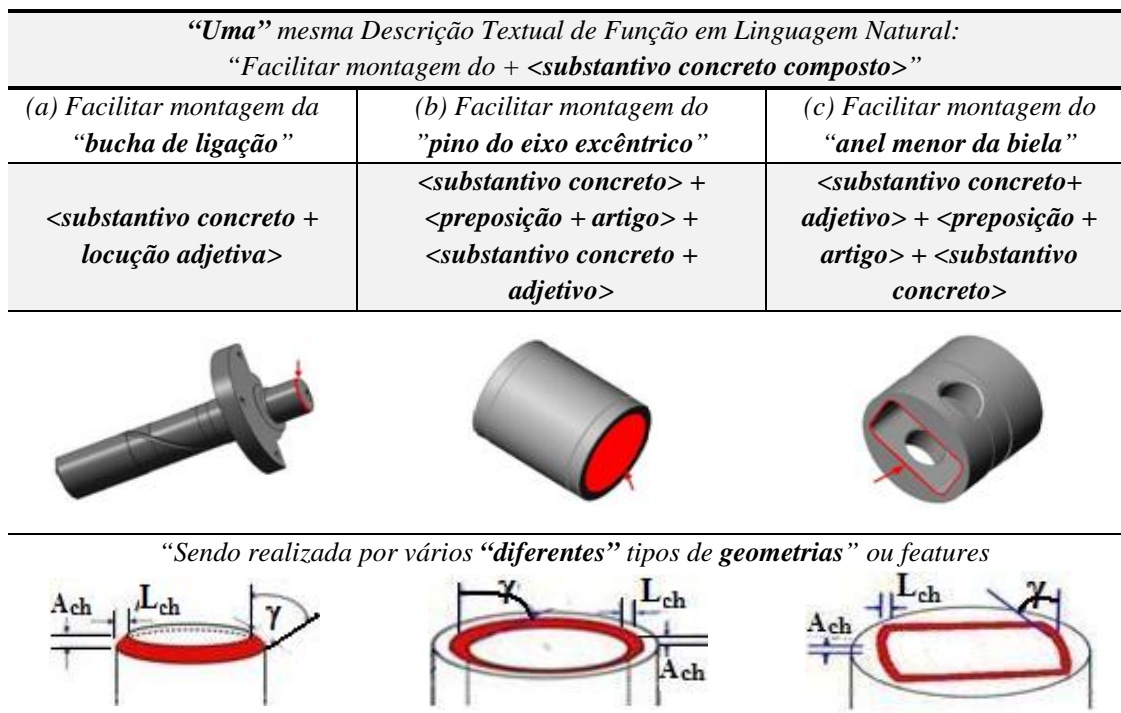


Figura 4-2: Exemplo de como uma mesma sentença funcional pode ser realizada por diferentes formas geométricas de DGs, ou *features*, para se obter diferentes comportamentos de peças<sup>2</sup>

Analisando as três sentenças funcionais similares das peças deste exemplo, observa-se que todas elas são definidas com um substantivo concreto composto (elas poderiam ser definidas apenas com um simples substantivo). Na Tabela 4-5, cada substantivo concreto composto é relacionado com a decomposição sintática da sua respectiva estrutura sintática funcional (ver Glossário) correspondente:

Tabela 4-5: Correlação entre a denominação da peça e a decomposição da sua estrutura gramatical

Denominação da Peça	Decomposição da estrutura sintática funcional que define a peça
(a) “bucha de ligação”	<substantivo concreto + locução adjetiva>
(b) “pino do eixo excêntrico”	<substantivo concreto> + <preposição + artigo> + <substantivo concreto + adjetivo>
(c) “anel menor da biela”	<substantivo concreto+ adjetivo> + <preposição + artigo> + <substantivo concreto>

Comparando as três colunas da Figura 4-2, observa-se que

- (a) Uma mesma funcionalidade pode ser realizada por diferentes geometrias;
- (b) As três geometrias possuem as mesmas variáveis:
  - (b.1) Largura do chanfro ( $L_{Ch}$ );
  - (b.2) Altura do chanfro ( $A_{Ch}$ );

- (b.3) Comprimento da aresta chanfrada ( $C_{Ch}$ );
- (b.4) Ângulo da superfície chanfrada ( $\gamma$ );
- (b.5) Superfície chanfrada.
- (c) Apesar de possuírem as mesmas variáveis espaciais, essas variáveis geram restrições espaciais diferentes;
- (d) Por causa das restrições espaciais, as geometrias têm formas de interagir diferenciadas;
- (e) Observa-se que nenhuma das três sentenças funcionais dadas possui informação adicional sobre o qualificador semântico do verbo.

Observando as peças da Figura 4-2, conclui-se que a relação entre função e forma geométrica é do tipo “1:muitos” (Lê-se: tipo um para muitos ou uma mesma função para muitas formas geométricas). Essa relação sugere que uma mesma sentença funcional pode gerar diferentes comportamentos de uma peça, a partir de diferentes interações entre as formas geométricas dos seus DGs, ou *features* (*sentenças funcionais iguais, diferentes comportamentos de peça, diferentes formas geométricas de DGs*).

Porém, a obtenção dos diversos comportamentos que uma mesma sentença funcional pode realizar depende de conhecimento dos inter-relacionamentos de interação entre DGs de peça, ou entre peças, conhecidos (ou de propriedade) dos projetistas. Um importante problema de pesquisa em aberto é: *Como capturar o conhecimento das interações funcionais para se obter os diversos comportamentos que uma mesma sentença funcional pode realizar?*

**Exemplo 2:** neste segundo exemplo, mostram-se como diferentes estruturas gramaticais (diferentes agrupamentos sintáticos) de sentença funcional podem ser realizadas por uma mesma forma geométrica de DG, ou *feature*, para se obter o mesmo comportamento de peças – como ilustrado na Figura 4-3.

Neste exemplo, analisam-se três diferentes sentenças funcionais, com diferentes estruturas gramaticais, para peças que utilizam o mesmo tipo de forma geométrica. Na Figura 4-3 tem-se uma comparação entre as sentenças funcionais, suas decomposições em conjuntos de constituintes, imagem das peças e a forma geométrica usada por elas.

Comparando as três colunas da Figura 4-3, observa-se que

- (a) Três diferentes funcionalidades podem ser realizadas por uma mesma geometria ou *feature*;
- (b) A geometria usada para as três funcionalidades tem duas variáveis: raio e altura;
- (c) Como a geometria usada foi a mesma, as variáveis são as mesmas;

- (d) Portanto, as diferentes funcionalidades estão sujeitas as mesmas restrições espaciais e interagem da mesma forma;
- (e) Observa-se que nenhuma das três sentenças funcionais dadas possui informação adicional sobre o qualificador semântico do verbo.

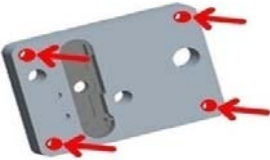
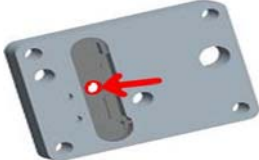
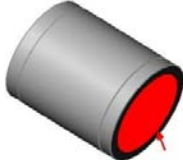
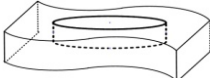
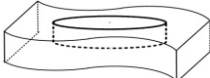
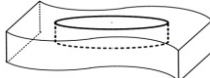
<i>“Diferentes” Descrições Textuais de Função em Linguagem Natural:</i>		
(a) Fixar placa da válvula no bloco do compressor.	(b) Permitir entrada de gás refrigerante da câmara de compressão para a placa da válvula.	(c) Acoplar radialmente o anel maior da biela.
(a) <Verbo> + <substantivo concreto> + <preposição + artigo> + <substantivo concreto> + <preposição + artigo> + <substantivo concreto> + <preposição + artigo> + <substantivo concreto>	(b) <Verbo> + <substantivo abstrato> + <preposição> + <substantivo concreto> + <adjetivo> + <preposição + artigo> + <substantivo concreto + locução adjetiva> + <preposição + artigo> + <substantivo concreto> + <preposição + artigo> + <substantivo concreto>	(c) <Verbo> + <advérbio> + <artigo> + <substantivo concreto> + <adjetivo> + <preposição + artigo> + <substantivo concreto>
		
<i>“Sendo realizadas pelo mesmo tipo de Geometria com forma cilíndrica ou Feature tipo “Furo cilíndrico passante”</i>		
		

Figura 4-3 – Exemplos de como diferentes sentenças funcionais podem ser realizadas pela mesma forma geométrica para se obter o mesmo comportamento de peças<sup>2</sup>

Observando as peças da Figura 4-3, conclui-se que a relação entre função e forma geométrica é do tipo “muitos:1” (Lê-se: muitos tipos para um ou muitos tipos de funções para uma mesma forma geométrica). Esta relação sugere que diferentes sentenças funcionais podem gerar um mesmo comportamento de peça, a partir de diferentes formas geométricas de DG, ou *features* (*diferentes sentenças funcionais, mesmo comportamento de peça, diferentes formas geométricas de DGs*).

Porém, a obtenção das diversas sentenças funcionais que realizam o mesmo comportamento depende de conhecimento dos inter-relacionamentos de interação entre DGs de peça, ou entre peças, conhecidos (ou de propriedade) dos projetistas. Um importante problema de pesquisa em aberto é “*Como capturar o conhecimento das interações funcionais para se obter as diversas sentenças funcionais que podem ser realizadas por um mesmo comportamento?*”

Esses dois exemplos anteriores são prova de que o mapeamento da função para forma geométrica não obedece a uma visão ingênua e linear da correlação entre sentença funcional e forma. Em outras palavras, os dois exemplos não sugerem um padrão de sentença funcional, com um agrupamento de constituintes comuns, para todas as funcionalidades de projeto de produto/peça.

Contudo, também demonstram a necessidade de metodologias de projeto baseadas na abordagem lingüística, análise sintática, dos constituintes das sentenças funcionais para extração/definição das ubIFs relacionadas ao conhecimento das interações dos DGs utilizados na peça, ou entre peças, durante a sua modelagem funcional na etapa de projeto conceitual de peça. Entretanto, para se implementar metodologias de projeto baseadas na abordagem lingüística, faz-se necessário um modelo de função baseado na abordagem lingüística para tratar os agrupamentos de sintaxes e semânticas normalmente encontrados nas sentenças funcionais. Assim, uma síntese da análise sintática, semântica e das estruturas gramaticais das sentenças funcionais do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais é mostrada na Tabela 4-6.

Tabela 4-6: Síntese das estruturas sintáticas e semânticas encontradas no *corpus* lingüístico de SF<sup>2</sup>

Estruturas Gramaticais características das SF	Semânticas características das interações entre as superfícies funcionais das SF	
	Restrições espaciais	Restrições de projeto
<b>Verbo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Estão no nível muito abstrato, ou subjetivo;</li> <li>– Não há ubIF sobre quaisquer aspectos geométrico, processo, efeitos causais, material e nem de quaisquer de seus atributos dos subsistemas e/ou peças.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dependem de ubIF adicional e da formalização das mesmas na transformação entre as entidades físicas de entrada/ saída de energia, material e sinal. Exemplos: propósitos funcionais, tipificação das entidades físicas, tipificação dos efeitos causais.</li> </ul>
<b>Verbo + Substantivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Estão no nível abstrato</li> <li>– Há ubIF sobre algum aspecto de processo, objeto de projeto ou efeito causal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dependem de ubIF adicional e da formalização das ubIFs explícitas/implícitas na transformação entre as entidades físicas de entrada/ saída de energia, material e sinal. Exemplos: propósitos funcionais, tipificação das entidades físicas, tipificação dos efeitos causais.</li> </ul>
<b>Verbo + Advérbio + Substantivo + Adjetivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Estão no nível de menor abstração</li> <li>– Há ubIF sobre algum tipo de processo, tipo de geometria ou tipo de efeito causal;</li> <li>– Há ubIF funcional sobre posicionamento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Idem</li> </ul>
<b>Verbo + Substantivo Abstrato + Substantivo concreto + Adjetivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Estão no nível mais concreto</li> <li>– Há ubIF mais específicas sobre algum tipo de processo, tipo de efeito causal ou tipo de geometria;</li> <li>– Há ubIF sobre dimensionamentos específicos de geometrias, material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Idem</li> </ul>

#### 4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sistematização das características sintáticas e semânticas dos constituintes e das estruturas gramaticais de cada sentença funcional do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais sugere que há muita ubIF relacionada ao conhecimento de interações entre as interfaces funcionais de DGs de (entre) peça(s) que precisa ser formalizada para (re)uso posterior. A análise sintática mostrou que há muita ubIF explícita nas descrições textuais de função em linguagem natural dos projetistas. Tais ubIFs só precisam ser extraídas das sentenças funcionais, durante a modelagem funcional das árvores de sentenças funcionais de peça, para em seguida serem formalizadas e armazenadas para (re)uso posterior. Também, a análise gramatical demonstrou que há muita ubIFs implícitas nas estruturas gramaticais das sentenças funcionais que precisam ser explicadas, formalizadas [e em seguida armazenadas para (re)uso] pelos projetistas.

A sistematização das características sintáticas e semânticas dos constituintes e das estruturas gramaticais de cada sentença funcional do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais sugere que o modelo de função de Pahl e Beitz e o Modelo de Função de Roy e Bharadway não são adequados para a tarefa de formalização do conhecimento funcional explícito/implícito em uma sentença funcional. O motivo da inadequação é que em nenhum dos modelos há suporte para a análise sintática dos constituintes da sentença funcional. Além disso, o modelo de função de Pahl e Beitz limita a quantidade de constituintes na sentença funcional, enquanto o modelo de função de Roy e Bharadway (direcionado para a etapa do projeto detalhado de peça) limita a quantidade de sintaxe/semântica na análise comportamental dos constituintes de uma sentença funcional.

A sistematização das características sintáticas e semânticas dos constituintes e das estruturas gramaticais de cada sentença funcional do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais sugere a necessidade de um Modelo de Função baseado na abordagem lingüística. O modelo de função baseado na abordagem lingüística precisa suportar a análise gramatical e comportamental. Em ambos os casos tal modelo de função precisa apoiar a formalização das ubIFs explícitas/implícitas nos constituintes e estruturas gramaticais das sentenças funcionais. Na análise gramatical, tal modelo de função precisa suportar os níveis sintáticos e semânticos dos constituintes da sentença funcional. Na análise comportamental, tal modelo de função necessita apoiar as interações funcionais, e suas restrições de projeto e espaciais, derivadas das geometrias e processos causais.

Em outros termos, sem um modelo de função baseado na abordagem lingüística não há

como desenvolver ferramentas para formalização de conhecimento funcional explícito/implícito em uma sentença funcional. Tais ferramentas podem auxiliar os projetistas durante a modelagem funcional, principalmente, no (re)uso efetivo de ubIFs relacionadas ao conhecimento das interações dos DGs utilizados na peça, ou entre peças. Além disso, a sistematização das características sintáticas, semânticas e das estruturas gramaticais das sentenças funcionais também sugere a:

(1) Falta de uma representação genérica de função que não limite a quantidade de constituintes em uma sentença funcional, i.e., uma sentença funcional genérica o suficiente para suportar qualquer tipo de estrutura gramatical;

(2) Faltam pesquisas com projeto de peça com modelo de função baseado na abordagem lingüística para se estudar mais detidamente um conjunto significativo de propósitos funcionais e, assim, propor uma taxonomia para os verbos funcionais e um esquema de classificação dos mesmos. Além disso, tais pesquisas poderiam discorrer sobre o papel da classificação dos verbos em relação ao objeto direto e/ou indireto;

(3) Falta uma proposta para tipificar os substantivos, em relação aos: (i) aspectos de projeto tais como tipos de geometria e suas características, posições e outras referências, materiais e suas propriedades; (ii) aspectos de processo como, e.g., tipo de *features* e suas características, processo de fabricação, montagem, ou outros processos relacionados ao ciclo de vida do produto como, e.g., tipo de máquina/ferramenta, operação de fabricação;

(4) Falta conceituar “estrutura sintática funcional” e definir seu papel em uma sentença funcional;

(5) Falta uma proposta de classificação dos tipos de conhecimento incluído em uma sentença funcional. Adicionalmente, é necessário definir e discriminar o papel do conceito funcional na sentença funcional;

(6) Falta uma definição do que vem a ser exatamente a formalização de conhecimento funcional e como essa definição pode auxiliar na certificação da formalização proposta pelos projetistas.



## **CAPÍTULO 5 - MODELO DE FUNÇÃO BASEADA NA ABORDAGEM LINGÜÍSTICA PARA O PROJETO CONCEITUAL DE PEÇA**

### **5.1 INTRODUÇÃO**

No Capítulo 2, verificou-se, em linhas gerais, que as metodologias de projeto de produto, subsistema e peça não utilizam um modelo de função adequado para formalizar conhecimento funcional (denominado, nesta tese, de conjunto de ubIF) explícito/implícito nas sentenças funcionais. Por exemplo, verificou-se que os modelos de função utilizados atualmente nas metodologias de projeto não conseguem tratar, simultaneamente, com os dois tipos de conhecimento relacionados às sentenças funcionais: (i) conhecimento teleológico; (ii) conhecimento funcional.

Ainda no Capítulo 2, verificou-se a tendência dos esforços de pesquisas em subdividir as metodologias de projeto de subsistema e peça em etapas de projeto conceitual, preliminar e detalhado. Assim, sob o enfoque do modelo de fases, a metodologia de projeto de produto geralmente é subdivida em quatro etapas: (i) Projeto Informacional, (ii) Projeto Conceitual, (iii) Projeto Preliminar; (iv) Projeto Detalhado. Enquanto a metodologia de projeto de peça é subdivida em três etapas: (i) Projeto Conceitual, (ii) Projeto Preliminar; (iii) Projeto Detalhado.

Em outras palavras, no Capítulo 2, verificou-se que a aplicação do modelo de fases nas metodologias de projeto de subsistema e peça ajudou a entender o processo de transformação do conhecimento funcional em função das grandezas de energia, material e sinal (informação) na relação entrada/saída. Contudo, como o conhecimento funcional é explícito/implícito na *funcionalidade em linguagem natural*, o problema atual é formalizar tal conhecimento para efetivo (re)uso no mesmo, ou em outros, projetos.

No Capítulo 3 apresentou-se, de modo sistematizado, a arquitetura e principais módulos e conceitos empregados nos SPLNs. Nesse capítulo, demonstrou-se a diferença entre um *parser* (analisador sintático) e um SPLN. Em relação às metodologias de projeto, subsistema e peça, nesse capítulo, apresentaram-se em quais etapas são utilizadas as técnicas e tecnologias para processar, extrair, reconhecer e integrar as ubIFs incluídas nos desenhos técnicos das folhas de engenharia. Entretanto, sob o enfoque das pesquisas sobre metodologia de projeto, a análise dos SPLNs ratificou a necessidade de esforços de pesquisa direcionados para o

processamento, formalização e armazenamento para efetivo (re)uso de informações não-geométricas incluídas nas sentenças funcionais, através das ubIFs.

No Capítulo 4 verificou-se, em síntese, que há muita ubIF incluída nos constituintes de uma sentença funcional representados no: verbo, substantivo concreto, substantivo abstrato, adjetivo, advérbio, locução adjetiva e suas combinações. Constatou-se que as ubIFs incluídas nos constituintes de uma sentença funcional podem aparecer na: (i) estrutura superficial, de modo explícito ou (ii) estrutura profunda, de modo implícito. Todavia, em qualquer dos modos é necessário mais que um analisador sintático, ou gramatical (*parser*), para formalizar o conhecimento funcional incluído na estrutura superficial ou profunda de um constituinte, ou mesmo de uma sentença funcional.

Também, no Capítulo 4, verificou-se que existe uma diversidade de conhecimento sobre o inter-relacionamento entre DGs de peças, ou *features*, explícito/implícito em uma sentença funcional, e que a única maneira de formalizar tal conhecimento é através da análise comportamental da estrutura gramatical da sentença funcional. Foi verificado que toda estrutura gramatical de uma sentença funcional referencia um conjunto de ubIFs de acordo com um grau de incompletude, vagueza e incerteza – denominado neste trabalho de pesquisa como  $G(I_C, V_G, I_Z)$ . Também, verificou-se que o  $G(I_C, V_G, I_Z)$  é menor em uma estrutura gramatical de sentença funcional no processo de projeto de peça do que no processo de projeto de produto. Além disso, ainda no Capítulo 4, foi verificado que em uma mesma peça: (i) uma mesma sentença funcional pode gerar diferentes comportamentos, a partir de diferentes interações entre as formas geométricas de seus DGs, ou *features*; (ii) diferentes *sentenças funcionais* podem gerar um mesmo comportamento, a partir de diferentes formas geométricas de DGs, ou *features*.

As constatações anteriores formam uma base teórica para orientar as propostas deste trabalho. Nesse sentido, a principal contribuição desta tese é o desenvolvimento de um modelo de função para formalizar o conhecimento funcional incluído de modo explícito/implícito em qualquer descrição textual de função em linguagem natural. Para tal, verifica-se que o modelo de função a ser desenvolvido encontra-se na intersecção de três dimensões: (i) dimensão das metodologias de projeto, (ii) dimensão da lingüística computacional; (iii) dimensão informática.

Na dimensão das metodologias de projeto, esta tese centra-se na etapa de projeto conceitual de peça. Primeiro propõe-se uma organização em camadas metodológicas de produto, subsistema e peça, conforme tendência dos esforços das pesquisas revisadas no

Capítulo 2. Em seguida, propõe-se uma sistemática para formalizar o conhecimento funcional incluídos nos constituintes de uma sentença funcional, durante a modelagem funcional da estrutura física de peça na primeira atividade de análise da etapa do projeto conceitual de peça.

Na dimensão da lingüística, propõe-se uma metodologia de suporte à formalização das ubIFs incluída de modo explícito/implícito nos constituintes de cada sentença funcional durante a modelagem funcional de peça. A proposta metodológica constitui-se de dois principais métodos: (i) método da análise sintática; (ii) método da análise comportamental. O método da análise sintática será utilizado para formalizar o conjunto de ubIFs explícito na estrutura superficial de cada constituinte da sentença funcional. Enquanto, o método da análise comportamental será utilizado para formalizar o conjunto de ubIFs implícito na estrutura profunda dos constituintes da sentença funcional.

Finalmente, na dimensão da informática, há a necessidade de um SPLN para realizar a análise gramatical e, principalmente, a análise comportamental da estrutura gramatical de cada sentença funcional da estrutura física da peça. Porém, para que o SPLN possibilite o (re)uso efetivo de ubIF, é necessário um paradigma de programação que disponibilize, em tempo real, o conjunto de ubIF formalizado pelos projetistas. Para isso, propõe-se a utilização efetiva da programação orientada a objeto (POO) tanto para a linguagem de programação do sistema quanto para o sistema de gerenciamento de banco de dados orientado a objeto (SGBDOO). O sistema de suporte a formalização de conhecimento funcional incluído nas sentenças funcional, e sua implementação, serão discutidos e apresentados no Capítulo 6.

Portanto, as contribuições particulares pretendidas na presente tese concentram-se, nesse capítulo, no desenvolvimento de uma modelo de função baseado na abordagem lingüística para formalizar o conhecimento funcional incluído na sentença funcional durante a modelagem funcional de peça. Decorrente dessa contribuição particular inclui-se a definição e inter-relacionamento dos diversos tipos de conhecimento incluídos em uma sentença funcional.

## 5.2 HIPÓTESES

Para formalizar o conjunto de ubIFs representadas nos constituintes de uma sentença funcional, esta tese centrou-se na própria descrição textual de função em linguagem natural, ao invés da transição função *versus* geometria como sugeriram Roozenburg e Eekels (1995). Assim, para o desenvolvimento do modelo de função baseado na abordagem lingüística

supõe-se que:

### **Hipótese 1:**

Uma sentença funcional é composta por um conjunto de constituinte, tais como: verbo, substantivo concreto ou abstrato (simples ou composto), advérbio, adjetivo, locução adjetiva, preposições, artigos, conjunções e suas combinações. Assim, em cada constituinte da sentença funcional há uma ubIF que representa um conhecimento funcional específico que é baseado em um: (i) ponto de vista funcional; (ii) domínio de aplicação.

### **Hipótese 2:**

O conhecimento funcional é formado pelo conjunto dos pares de constituinte/ubIF, ou pares de sintaxe/semântica, que integram a sentença funcional e, onde a ubIF pode ser representada de forma explícita ou implícita. Além disso, todo conhecimento funcional é dependente de um: (i) ponto de vista funcional; (ii) domínio de aplicação.

### **Hipótese 3:**

As ubIFs possibilitam a formalização do conhecimento funcional incluído nas sentenças funcionais. Adicionalmente, o conjunto de ubIFs referenciam conhecimento funcional relacionado aos aspectos de: (i) funcionalidade; (ii) processo; (iii) material.

### **Hipótese 4:**

O conjunto de ubIFs incluído em uma sentença funcional define e inter-relaciona os seguintes tipos de conhecimento: (i) conhecimento teleológico; (ii) conhecimento comportamental; (iii) conceito funcional; (iv) ponto de vista funcional; (v) conhecimento funcional.

As hipóteses sugerem que o modelo de função procurado precisará dar suporte à relação sintaxe-semântica de cada constituinte das sentenças funcionais. Em outras palavras, o modelo de função procurado precisará ser baseado na abordagem lingüística para possibilitar a descrição textual da relação sintaxe-semântica dos constituintes das sentenças funcionais pelos projetistas.

### 5.3 PROPOSTA DAS CAMADAS METODOLÓGICAS DO PROJETO DE PRODUTO, SUBSISTEMA E PEÇA

A aplicação do modelo de fase no projeto de produto ajuda a entender o fluxo de informação para os processos de transformação dessas informações segundo suas categorias. Assim, em relação ao modelo de consenso de processo de produto do NeDIP/UFSC (BACK; OGLIARI, 2000), as informações inerentes às necessidades de clientes, pessoas ou organizações que se relacionam direta ou indiretamente ao projeto ou produto constituem a categoria de informações da etapa do projeto informacional. Na etapa do projeto conceitual tem-se a categoria das informações inerentes às soluções conceituais do produto decorrentes das especificações de projeto do produto, ou seja, dos requisitos e restrições qualitativamente e quantificados que se referem aos principais problemas técnicos, econômicos ou de manufatura a serem resolvidos. Enquanto na etapa do projeto preliminar, as informações referentes aos parâmetros de projeto, como a seleção da melhor solução conceitual, formulação de modelos de análise, análise de sensibilidade e compatibilidade das variáveis de projeto, otimização dos parâmetros de projeto, testes e simplificação do projeto, constituem a categoria de informações que configuram e caracterizam o produto final. Finalmente, na etapa do projeto detalhado, têm-se as informações inerentes à estrutura de construção do produto, como as informações para a especificação de materiais, processos de produção e documentação final do produto. Essas informações constituem a categoria de informações da especificação da produção do produto.

A percepção do projeto de produto em categorias de informações segundo sua etapa de projeto sugere a existência de fluxo de informação da camada da metodologia de projeto de produto para as subseqüentes: (i) Camadas metodológicas de subsistema; (ii) Camadas metodológicas de peça (ROSA et al., 1995; MUKHERJEE; LIU, 1997; LINHARES, 2000; ROY; BHARADWAY, 2002) – como demonstrado na Figura 5-1.

A Figura 5-1 mostra como as categorias de informações de cada uma das etapas podem ser estruturas para denotar o fluxo de informações, para o entendimento dos processos de transformação de informação, no processo de projeto de produto, subsistema e peça. Além das informações inerentes ao problema de projeto, há também um fluxo de informação funcional adicional derivada de experiências de projetos anteriores pelos projetistas para cada uma das categorias de informações, i.e., para cada etapa das camadas metodológicas do produto, subsistema e peça (FRANKE, 1991; McGINNIS; ULLMAN, 1992; SCHULTE; WEBER,

1993; MUKHERJEE; LIU, 1997; YOSHIOKA, SEKIYA; TOMIYAMA, 2002).

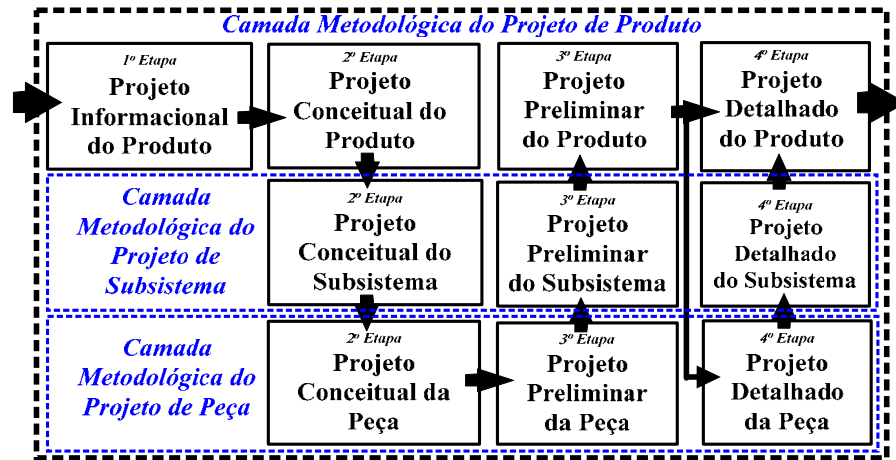


Figura 5-1: Proposta da estrutura em camadas metodológicas do projeto de produto, subsistema e peça<sup>1</sup>

Além disso, a Figura 5-1 ajuda a entender como as ubIFs sobre o problema de projeto da camada metodológica de produto e as subseqüentes ubIFs adicionadas pelos projetistas podem ser herdadas pelas camadas de subsistema e peça.

Conseqüentemente, estruturar o projeto do produto em camadas metodológicas possibilita a organização das ubIFs nas suas respectivas categorias de informações. Assim, a organização do projeto em camadas metodológicas pode ajudar no inventário do conhecimento funcional, de cada etapa de projeto, relacionado tanto ao produto quanto aos seus subsistemas e peças. Contudo, nesta tese, está-se interessado especificamente em inventariar o conhecimento funcional inerente à categoria de informações das soluções conceituais na etapa do projeto conceitual de peça. Em outras palavras, está-se interessado em inventariar o conjunto de ubIFs explícito/implícito nas funcionalidades descritas em linguagem natural durante a modelagem funcional de peça na etapa do projeto conceitual.

#### 5.4 PROPOSTA DA ESTRUTURA DAS ATIVIDADES BÁSICAS DA ETAPA DE PROJETO CONCEITUAL DE PRODUTO, SUBSISTEMA E PEÇA

Na etapa de projeto conceitual, segundo a literatura sobre metodologia de projeto, consensualmente, há três tarefas básicas a serem realizadas pelos projetistas: (i) Estabelecer a estrutura de funções; (ii) Combinar os componentes que possibilitem a realização das funções e subfunções estabelecidas na estrutura de funcionalidades; (iii) Selecionar as soluções conceituais executável, econômicas e manufaturáveis.

Portanto, também é consensual que essas atividades básicas devem ser executadas na etapa do projeto conceitual, tanto na camada metodológica do projeto do produto quanto nas camadas metodológicas do projeto de subsistemas e peças. A categoria das informações inerentes às soluções conceituais abrange as três camadas metodológicas do projeto do produto, subsistema e peça, como mostrado na Figura 5-2.

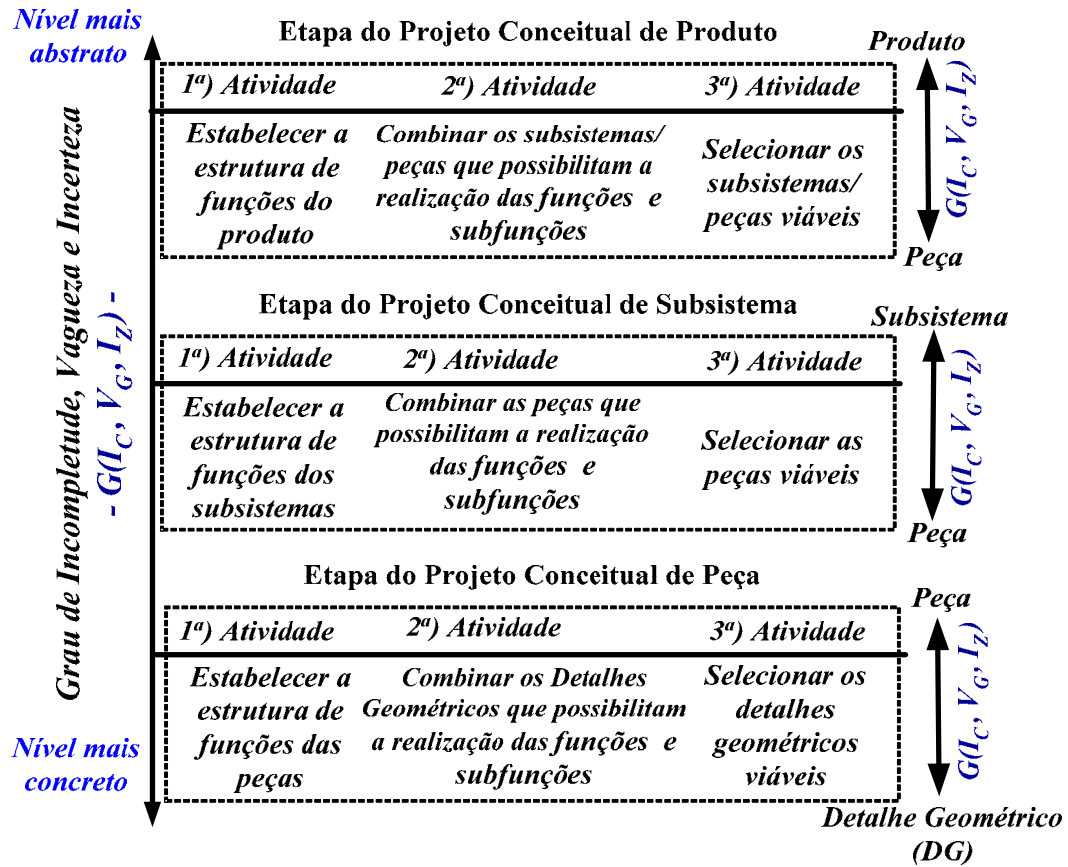


Figura 5-2: Proposta da estrutura das atividades básicas da etapa do projeto conceitual do produto, subsistema e peça<sup>1</sup>

Nesta tese, a maneira como os projetistas comunicam as ubIFs e os significados sobre suas soluções conceituais, segundo o seus pontos de vista funcional e o domínio do contexto de aplicação, na sentença funcional foi denominado de grau de incompletude, vagueza e incerteza, ou simplesmente Grau ( $I_C, V_G, I_Z$ ). O conceito de Grau ( $I_C, V_G, I_Z$ ) foi resultado da análise das descrições textuais de funções do *corpus* linguístico de sentenças funcionais. Na análise das descrições textuais de funções do *corpus* linguístico de sentenças funcionais verificou-se que na:

- (a) *Camada metodológica do projeto de produto*, as sentenças funcionais eram

geralmente representadas apenas pelo verbo e não havia informação sobre seu propósito funcional (relacionado ao conhecimento teleológico – ver Glossário), restrição espacial, restrição de projeto, forma geométrica, processo causal, dentre outros;

(b) *Camada metodológica de subsistema*, as sentenças funcionais eram normalmente representadas apenas com verbo e substantivo e, mesmo assim, não havia informação sobre seu propósito funcional, restrição espacial, restrição de projeto, forma geométrica, processo causal, dentre outros;

(c) *Camada metodológica de peça*, as sentenças funcionais eram representadas com mais quantidades de constituintes, tais como verbo, substantivo simples/composto abstrato/concreto, adjetivo, advérbio e suas combinações. Entretanto, ainda faltava informação sobre o seu propósito funcional.

Nesse sentido, na etapa do projeto conceitual, foi possível perceber três principais níveis de abstração existentes na proposta da estrutura em camadas metodológicas do projeto de produto, subsistema e peça – veja Figura 5-2. Assim, o Grau( $I_C$ ,  $V_G$ ,  $I_Z$ ) das ubIFs explícitas/implícitas nos constituintes da sentença funcional, ou na sua estrutura gramatical, segundo o ponto de vista funcional dos projetistas, varia no:

(a) Primeiro nível de abstração, de um conhecimento funcional mais abstrato ou subjetivo para um conhecimento funcional mais concreto ou objetivo, i.e., da camada metodológica do projeto de produto para a camada metodológica do projeto de peça. Observe-se a seta vertical ilustrada no lado esquerdo da Figura 5-2;

(b) Segundo nível de abstração, de conceitos funcionais mais gerais (como o conceito funcional do produto) para conceitos funcionais mais específicos e detalhados (como o conceito funcional da uma peça). Observem-se as setas verticais ilustradas no lado direito de cada camada metodológica de projeto do produto, subsistema e peça na Figura 5-2;

(c) Terceiro nível de abstração da análise das sentenças funcionais, para determinar a estrutura de funções para a valoração da semântica dos constituintes de cada sentença funcional, objetivando selecionar os componentes tecnicamente viáveis, econômicos e manufaturáveis, como ilustrado na Figura 5-2.

Nesse sentido, a proposta da estrutura em camadas metodológicas do projeto de produto, subsistema e peça, mostrada na Figura 5-2, possibilita o entendimento do fluxo de informação entre as camadas metodológicas supramencionadas, segundo os principais níveis de abstração apontados anteriormente. Uma consequência da proposta da estrutura em camadas metodológicas do projeto de produto, subsistema e peça é a estruturação das subcategorias de



informações relacionadas às soluções conceituais para cada camada metodológica da etapa do projeto conceitual. Essa forma de organizar as ubIFs sobre as soluções conceituais em camada metodológica ajuda a entender o processo de propagação e transformação do fluxo de informação no processo de projeto do produto, subsistema e peça.

Na proposta da estrutura em camadas metodológicas do projeto de produto, subsistema e peça o Grau( $I_C$ ,  $V_G$ ,  $I_Z$ ) ratifica a necessidade de um modelo de função para tratar o conhecimento funcional explícito/implícito na sentença funcional. Como o conhecimento funcional está incluído na funcionalidade descrita em linguagem natural, há a necessidade de metodologia baseada na análise gramatical dos constituintes e/ou da própria estrutura gramatical das sentenças funcionais. Assim sendo, o inventário do conhecimento funcional implícito/explicito nas sentenças funcionais, inerente à categoria das ubIFs das soluções conceituais na etapa do projeto conceitual de peça, requer um modelo de função baseado na abordagem lingüística, na análise sintática da sentença funcional. Nesse sentido, propõem-se duas principais tarefas para a formalização do conhecimento funcional explícito/implícito nas sentenças funcionais durante a primeira atividade básica da etapa do projeto conceitual de peça – como mostrado na Figura 5-3: (i) proporcionar o esclarecimento, significação ou interpretação do papel dos constituintes e/ou estrutura gramatical da sentença funcional; (ii) possibilitar a extração ou valoração semântica de cada constituinte da sentença funcional.

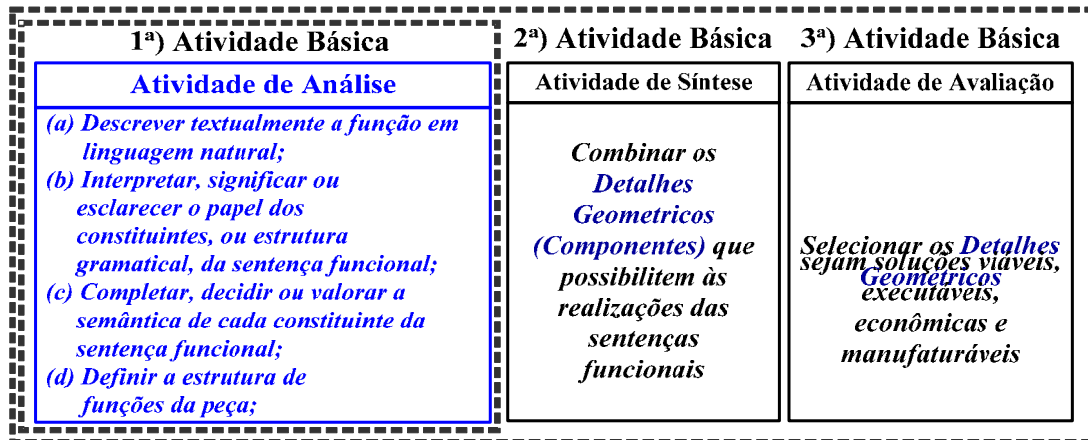


Figura 5-3: Proposta das tarefas para formalização de conhecimento funcional incluído na sentença funcional durante a modelagem funcional de peça<sup>1</sup>

A realização dessas duas tarefas implica estender o (i) modelo de função de Pahl e Beitz para além do uso de apenas verbo + substantivo baseado em conhecimento subjetivo; (ii) modelo de função de Roy e Bharadway para além do conceito de comportamento baseado em um vocabulário controlado sobre as restrições de projeto e espaciais. Necessita-se de um

modelo de função que suporte qualquer forma de sentença funcional e que seja orientado pelo próprio conhecimento comportamental das semânticas dos constituintes, estrutura gramatical, da sentença funcional dos projetistas.

Assim sendo, nesta tese, define-se conhecimento comportamental como “o conjunto de significações, sob determinado ponto de vista funcional e domínio do contexto de aplicação, dos constituintes, ou estrutura gramatical, da sentença funcional sobre os requisitos/restrições de projeto e espaciais da relação entrada/saída de energia, material e sinal (informação)”<sup>1</sup>.

O esquema em UML da Figura 5-4 foi estruturado para realizar as tarefas necessárias a formalização do conhecimento funcional incluído em uma sentença funcional, propostas na Figura 5-3. Assim, na Figura 5-4, a definição da estrutura de funções de qualquer peça é orientada pelo modelo de função baseado na abordagem lingüística. O cerne do modelo proposto é a sentença funcional genérica (abordagem funcional). Desta forma, nada acontece enquanto o projetista não descrever textualmente a função em linguagem natural.

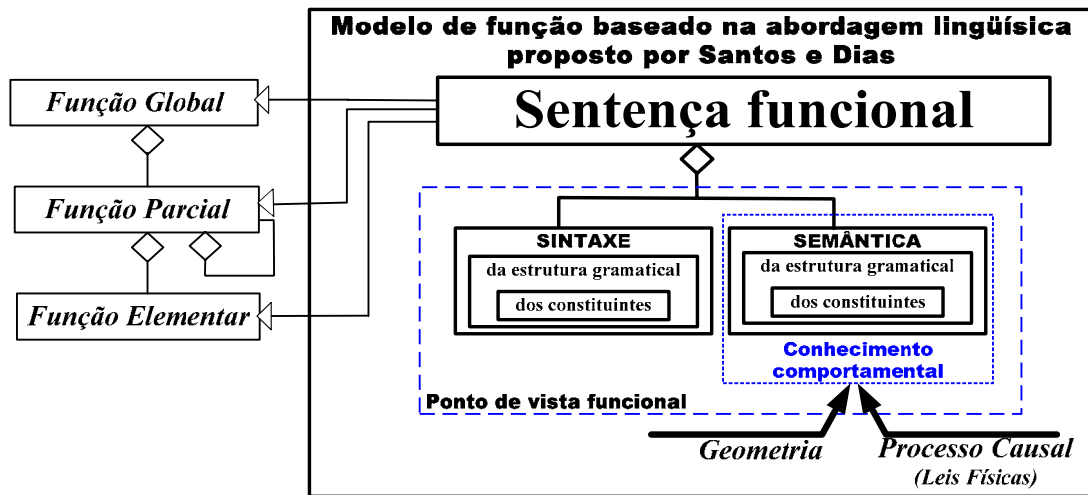


Figura 5-4: Proposta da sistematização do conhecimento funcional explícito/implícito na sentença funcional durante a primeira atividade básica da etapa do projeto conceitual de peça<sup>2</sup>

Depois de descrever a sentença funcional, necessita-se realizar a análise sintática dos seus constituintes e análise da sua estrutura gramatical (abordagem lingüística) para se determinar um *Frame* que suporte as entidades, geométricas e de processo causal, mínimas (abordagem comportamental). Em seguida, os projetistas poderão reconfigurar a estrutura do *Frame* utilizando as entidades sugeridas por: (i) Ullman (1992): material, forma geométrica, montagem, ferramenta, operações de ferramenta; (ii) Fonseca (2000): atributos gerais,

<sup>1</sup> Proposta conceitual de Santos e Dias

atributos específicos.

A árvore de funções da peça pode ser organizada por três principais camadas funcionais, ou de sentença funcional, (LINHARES, 2000) – como pode ser visto na Figura 5-4:

- (1) Camada da Função Global de peça;
- (2) Camada das Funções Parciais de peça;
- (3) Camada das Funções Elementares de peça.

Na Figura 5-4, as camadas das sentenças funcionais sentença funcional da estrutura funcional de peça estão representadas em UML. Essa forma de representar a árvore de funções de peça, com a UML, ajuda a entender o fluxo das derivações (ou herança em POO) funcionais e informacionais entre as: (i) Funções parciais da função global; (ii) Funções elementares de cada função parcial. Porém, a representação da estrutura física da peça em camadas funcionais com a UML só tem sentido na dimensão informática com aplicação efetiva da POO, i.e., esse modo de representação só tem importância no momento do desenvolvimento do editor de funções de peça, baseado efetivamente no paradigma da POO. Exemplo dessa aplicação é o módulo do editor de sentença funcional de peça projetado, desenvolvido e implementado no SISFCO (AL) do capítulo 6.

## 5.5 MODELO DE FUNÇÃO BASEADO NA ABORDAGEM LINGÜÍSTICA

Observando a estrutura básica do modelo de função baseado na abordagem lingüística da Figura 5-4, percebe-se que o cerne do modelo encontra-se na própria inter-relação sintático-semântica dos constituintes ou estrutura gramatical da sentença funcional genérica. Nesse sentido, o inventário do conhecimento funcional passa pela formalização dos significados, segundo o ponto de vista funcional e domínio do contexto de aplicação, dos constituintes ou estrutura gramatical da sentença funcional.

Na etapa do projeto conceitual de peça, o conjunto de ubIFs explícito/implícito nos constituintes ou estrutura gramatical da sentença funcional constitui o próprio conhecimento comportamental intencionado pelos projetistas para a peça. Portanto, necessita-se de um modelo de função que explicita a inter-relação entre os níveis sintático e semântico e abordagens funcional e comportamental inerentes aos requisitos/restrições de projeto

(relacionadas aos efeitos físicos, químicos ou biológicos desejados) e requisitos/restrições espaciais (relacionadas às formas geométricas) sob a relação entrada/saída de energia, material e sinal (informação) – conforme mostrado na Figura 5-5.

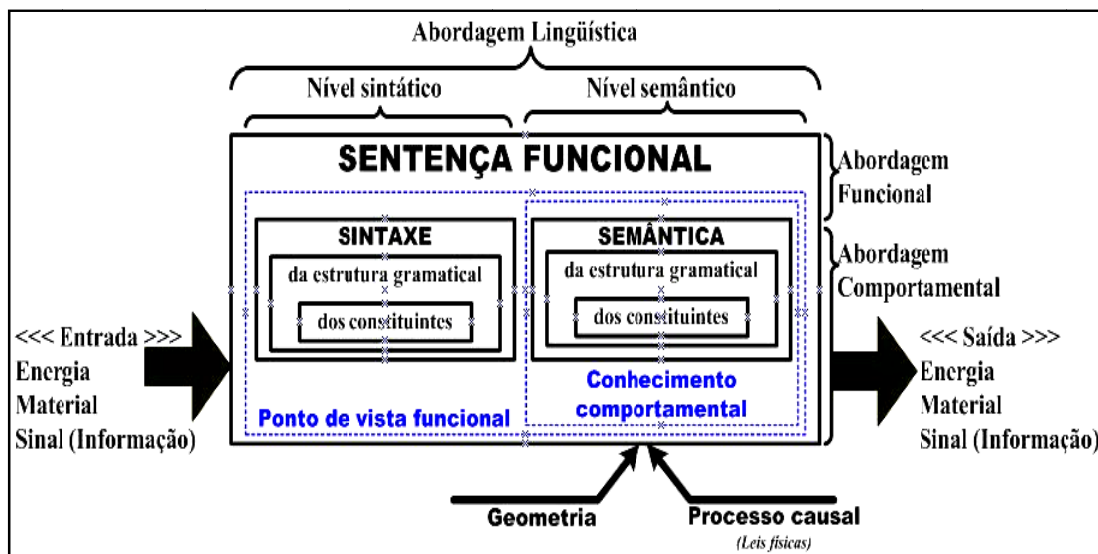


Figura 5-5: Modelo de Função baseado na abordagem lingüística<sup>1</sup>

Na Figura 5-5, a sentença funcional continua sendo uma relação entre grandezas de entrada/saída. Porém, o modelo de função baseado na abordagem lingüística percebe a sentença funcional como uma: (i) descrição textual dada pela sintaxe; (ii) conhecimento de engenharia dado pela semântica que é incluída nos constituintes da estrutura gramatical.

Em seguida, os componentes do modelo de função baseado na abordagem lingüística são definidos e apresentados.

### 5.5.1 Na Abordagem Funcional

#### *Definição de “sentença funcional”*

As sentenças funcionais são frases sem predicado nominal ou verbo-nominal e sem sujeito. Isso implica dizer que as sentenças funcionais são frases que não possuem um sujeito e têm um núcleo significativo concentrado em um verbo. O modelo de função baseado na abordagem lingüística emprega esse tipo de sentença funcional.

No modelo de função baseado na abordagem lingüística, as sentenças funcionais não são estruturas gramaticais limitadas por uma quantidade fixa de constituintes, tais como: “verbo”, “verbo + substantivo”, “verbo + advérbio + substantivo”, dentre outras. Ao contrário, nesse modelo, as sentenças funcionais suportam qualquer tipo de estrutura gramatical. Nesta tese,

propõe-se uma estrutura gramatical de sentença funcional genérica denominada de descrição textual de função em linguagem natural ou simplesmente de sentença funcional. Exemplos de sentenças funcionais suportadas pelo modelo de função podem ser analisados na Figura 5-6.


G(I <sub>C</sub> , V <sub>G</sub> , I <sub>Z</sub> )	Tipos de Estruturas Gramaticais suportadas pela sentença funcional (sem o uso das preposições e artigos, também, característicos)
	Verbo
	Verbo + substantivo abstrato
	Verbo + substantivo concreto
	Verbo + substantivo abstrato + adjetivo
	Verbo + substantivo concreto + adjetivo
	Verbo + advérbio + Substantivo abstrato
	Verbo + advérbio + substantivo concreto
	Verbo + advérbio + substantivo abstrato + adjetivo
	Verbo + advérbio + substantivo concreto + adjetivo
	Verbo + substantivo + substantivo concreto
	Verbo + substantivo concreto + adjetivo + substantivo concreto + adjetivo
	Verbo + advérbio + substantivo concreto + adjetivo + substantivo concreto + adjetivo
	Outras estruturas gramaticais mais complexas (ou mais elaboradas)

Figura 5-6: Tipos de estruturas gramaticais das sentença funcional suportadas pelo modelo de função baseado pela abordagem lingüística<sup>2</sup>

No modelo de função baseado na abordagem lingüística, a sentença funcional é uma entidade sintática que possui semântica própria e é dependente do domínio do contexto de aplicação, ponto de vista funcional, conhecimento funcional tácito ou idiossincrático e da expressividade da linguagem do projetista. Como demonstrado na Figura 5-6, as sentenças funcionais podem, também, ser constituídas por vários constituintes; desde um simples constituinte, como verbo, até estruturas mais complexas compostas de vários constituintes da língua oficial do Brasil. Isso inclui a combinação de verbo, substantivo abstrato simples ou composto, substantivo concreto simples ou composto, advérbio, adjetivo, dentre outros e suas combinações possíveis. Conseqüentemente, cada constituinte da entidade sintática da sentença funcional, também, carrega sua própria semântica e depende muitas vezes de costumes e tradições regionais no uso de certas palavras. Por exemplo, canal e sangramento, ou canal e rebaixo, canal e ranhura podem ter o mesmo valor semântico.

Uma questão fora do escopo deste trabalho de tese diz respeito a uma proposta de métrica para o grau de incompletude, vagueza e incerteza decorrente do tipo de estrutura gramatical

da sentença funcional utilizada pelos projetistas.

### **5.5.2 Na Abordagem Comportamental**

#### **a) Análise sintática da estrutura gramatical de sentença funcional**

A análise da sintaxe da estrutura gramatical da sentença funcional busca entender como os projetistas estruturam o conhecimento comportamental sobre os requisitos/restrições de projeto e geométrico. Assim, a forma como os constituintes são organizados nas estruturas gramaticais das sentenças funcionais revela como os projetistas utilizam seu próprio vocabulário, relacionado ao conhecimento idiossincrático (ver Glossário), para expressar seus pontos de vista funcionais.

#### **b) Análise sintática dos constituintes de uma sentença funcional**

As sintaxes das sentenças funcionais incluem como constituintes os verbos, substantivos concretos simples, substantivos concretos compostos, substantivos abstratos simples, substantivos abstratos compostos, adjetivos, advérbios, locução adjetiva, conjunção, preposições, artigos definidos singulares, artigos definidos plurais e suas combinações (cf. na Figura 5-6).

A análise sintático-semântica dos constituintes de cada descrição textual de função do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais é para entender os seus papéis sintático-semânticos. Com esta análise é possível determinar as estruturas sintáticas funcionais típicas relacionadas aos aspectos de projeto e processo. Alguns exemplos de estruturas sintáticas funcionais típicas descritas textualmente em linguagem natural encontrados no *corpus* lingüístico de sentenças funcionais foram organizados na Tabela 5-1. As estruturas sintáticas funcionais típicas foram organizadas na Tabela 5-1 quanto a sua sintaxe, qualificar semântico, aspecto de projeto e processo e, em seguida alguns exemplos extraídos do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais.

Ainda na Tabela 5-1, há somente três tipos de estruturas sintáticas funcionais típicas encontradas no *corpus* lingüístico de sentenças funcionais: (i) substantivo + adjetivo, (ii) adjetivo + substantivo; (iii) substantivo + preposição + substantivo. Nessas estruturas sintáticas funcionais típicas há exemplos de:

- (a) Substantivos concretos + adjetivo, e.g., como: haste perfilada, pino cilíndrico e rosca externa;
- (b) Substantivos abstratos + adjetivo, e.g., como: acoplamento interno, campo magnético e montagem ergonômica;
- (c) Adjetivo + substantivo abstrato, e.g., como: alta pressão e baixa pressão;
- (d) Substantivo concreto + preposição + substantivo abstrato, e.g., como: anel de acoplamento, borracha de isolamento, eixo de entrada e eixo de saída.

Tabela 5-1: Combinações da sintaxe de constituintes encontrados no *corpus* linguístico de sentenças funcionais<sup>1</sup>

ESTRUTURA SINTÁTICA FUNCIONAL			
Sintaxe	Semântica	Associação de características semânticas	Exemplos
<i>Substantivo + adjetivo</i>	<i>Tipo de Geometria</i>	- DG + aparência da geometria	- Haste perfilada
		- Geometria + aparência	- Perfil regular
		- Peça + aparência geométrica	- Pino cilíndrico
	<i>Localização</i>	- Evento+ localização	- Acoplamento interno
		- Peça + localização	- Rosca externa
		- Aspecto da Peça + localização	- Superfície interna
		- Aspecto da Peça + localização	- Face externa
	<i>Quantidade</i>	- DG + quantificador	- Anel estendido
		- DG + quantificador	- Perfil escalonado
	<i>Processo causal</i>	- Tipo de efeito + qualificador	- Campo magnético
- Tipo de efeito + qualificador		- Fluxo de lubrificação	
- Tipo de efeito + qualificador		- Gás refrigerante	
	<i>Processo de projeto</i>	- Processo + qualificador	- Montagem ergonômica
<i>Adjetivo + substantivo</i>	<i>Processo causal</i>	- Quantificador + efeito físico	- Alta pressão
		- Quantificador + efeito físico	- Baixa pressão
<i>Substantivo + “de” + substantivo</i>	<i>Propósito funcional do DG</i>	- DG + evento	- Anel de acoplamento
		- DG + evento	- Borracha de isolamento
	<i>Localização</i>	- DG + localização	- Eixo de entrada
			- Eixo de saída
	<i>Processo causal</i>	- Evento + efeito físico	- Processo de compressão

c) Análise semântica dos constituintes de uma sentença funcional

Os significados dos constituintes também podem ser categorizados por agrupamentos de características similares. Nesse caso, as características semânticas dos constituintes são agrupadas de acordo com o papel que elas desempenham na sentença funcional. Por exemplo, o substantivo é um constituinte que pode ser combinado com diversos outros constituintes para exercer diversos papéis na sentença funcional. Essa e outras constatações baseadas na análise das descrições textuais de funções do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais possibilitaram a elaboração de uma proposta para a estruturação semântica dos substantivos normalmente encontrados nas sentenças funcionais<sup>2</sup>. A proposta de estruturação semântica dos substantivos é apresentada na Figura 5-7.

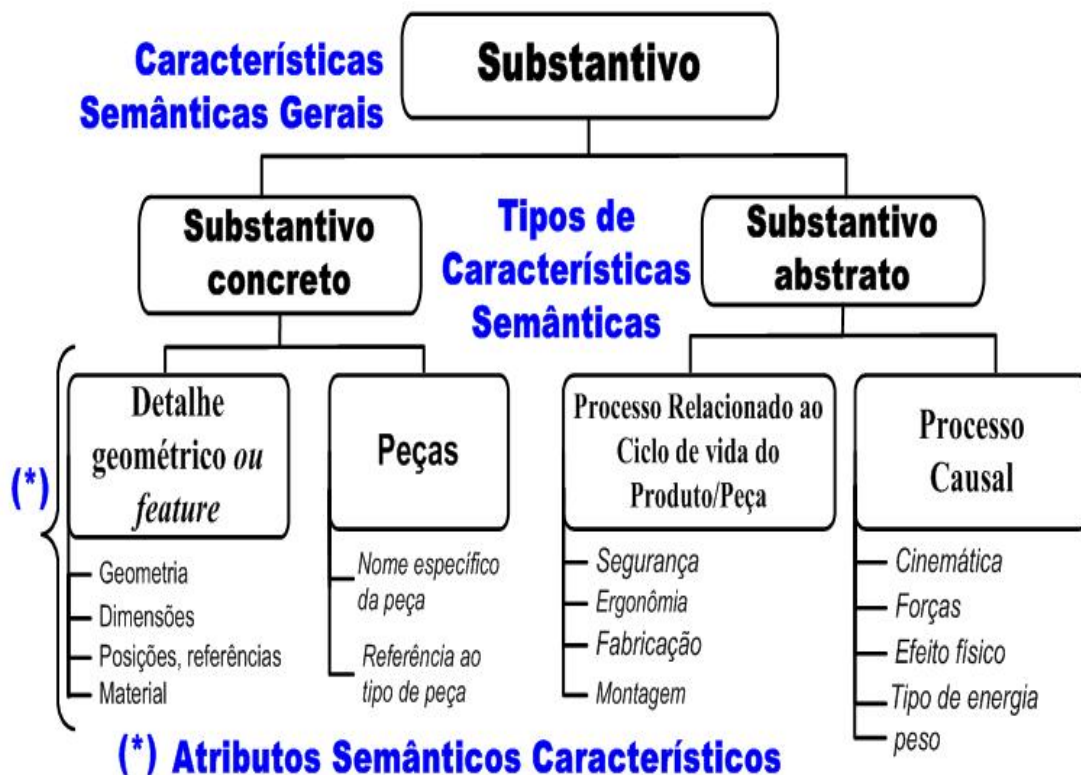


Figura 5-7: Estruturação semântica dos substantivos baseada na análise das descrições textuais de função do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais<sup>2</sup>

Conforme a Figura 5-7, a definição dos significados dos substantivos caracteriza-se conforme o tipo do substantivo: (i) concreto ou (ii) abstrato. Em relação ao processo de projeto de peça, os substantivos concretos e abstratos têm um papel importante. Por exemplo, os substantivos concretos (ver Glossário) caracterizam as peças, *features* ou DGs de peça



pelos seus nomes, enquanto os seus atributos são caracterizados qualitativamente por suas dimensionalidades, geometrias, posições, materiais. Os substantivos abstratos (ver Glossário) são muito importantes na determinação dos processos causais ou processos relacionados aos requisitos de projeto, i.e., ao ciclo de vida do produto, subsistema ou peça.

Em resumo, os qualificadores de tipos de objetos e tipos de geometrias dos objetos pertencem ao grupo dos constituintes cuja sintaxe é definida por um substantivo concreto. Os qualificadores de tipos de processo causal e tipos de processo relacionado ao ciclo de vida do produto/peça pertencem ao grupo dos constituintes cuja sintaxe é definida por um substantivo abstrato. Conseqüentemente, as semânticas dos constituintes pertencem a um grande grupo dos constituintes cuja sintaxe é definida por um substantivo. De modo geral, os constituintes da sentença funcional tipo substantivo definem quatro grupos característicos, a saber:

- (a) Tipos de geometria dos DGs das peças;
- (b) Tipos de *features*;
- (c) Tipos de processo causal (efeito físico, químico ou biológico);
- (d) Tipos de processo relacionado a algum atributo do ciclo de vida do produto, subsistema ou peça.

#### **d) Análise semântica da estrutura gramatical da sentença funcional**

A análise semântica da estrutura gramatical da sentença funcional tem como principal objetivo organizar os vários tipos de conhecimento decorrente da inter-relação entre os níveis sintático e/ou semântico das abordagens funcional e comportamental.

Em síntese, a análise semântica da estrutura gramatical da sentença funcional possibilita a qualificação das relações semânticas do verbo com os outros constituintes da sentença funcional. Assim, essas qualificações explicitam o conceito de ponto de vista funcional (ver Glossário) e determinam os três tipos de conhecimento característicos de uma sentença funcional, a saber: (i) conhecimento teleológico; (ii) conhecimento comportamental; (iii) conhecimento funcional – como estruturado na Figura 5-8.

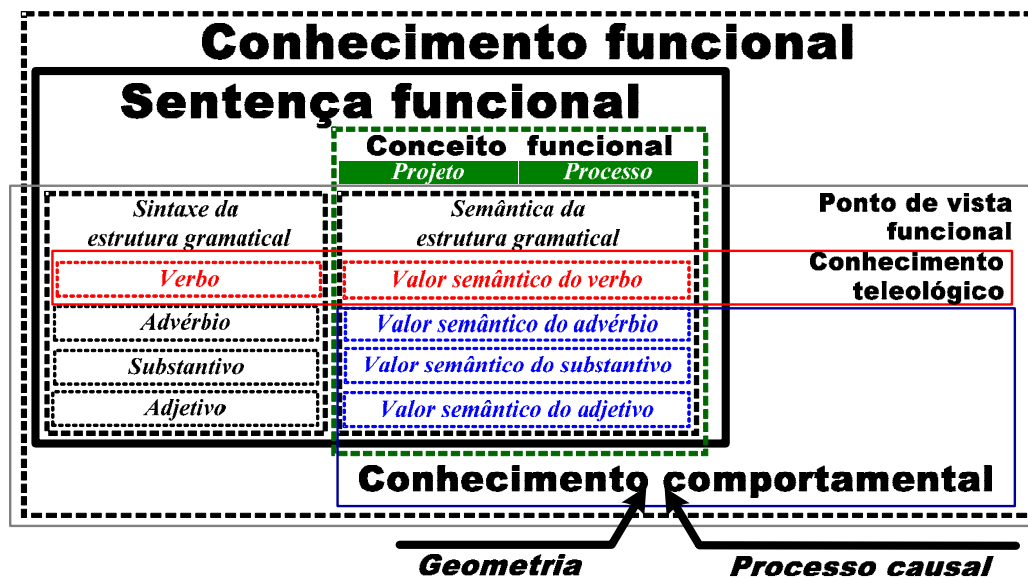


Figura 5-8: Classificação dos tipos de conhecimentos incluídos na sentença funcional<sup>2</sup>

Além disso, com a análise semântica da estrutura gramatical da sentença funcional é possível determinar outro importante conceito relacionado ao conhecimento funcional explícito/implícito na sentença funcional, o conceito funcional – veja a Figura 5-8.

A proposta de mapeamento dos conhecimentos teleológico, comportamental e funcional, o conceito funcional e ponto de vista funcional, da Figura 5-8, constituem-se em mais uma contribuição particular desta tese, que será explicado a seguir.

## 5.6 FORMALIZAÇÃO DE CONHECIMENTO FUNCIONAL COM O MODELO DE FUNÇÃO BASEADO NA ABORDAGEM LINGÜÍSTICA

Para formalizar o conhecimento funcional explícito/implícito na sentença funcional o modelo de função baseado na abordagem linguística utiliza cinco conceitos fundamentais: (i) conhecimento teleológico; (ii) conhecimento comportamental; (iii) conceito funcional; (iv) ponto de vista de funcional; (v) conhecimento funcional.

Nesta tese:

(1) **Ponto de vista funcional** é definido pela forma como o projetista percebe os requisitos/restrições de projeto ou geométrico a partir do seu posicionamento, ou postura, em relação ao ciclo de vida do produto, subsistema ou peça. Dessa forma, a decomposição (e.g., mapeamento baseado em *features*) da estrutura física de uma peça depende do ponto de vista do projetista (SHAH; MÄNTYLÄ, 1995);

(2) **Conhecimento teleológico** é o conhecimento que define o propósito funcional, meta,

finalidade ou objetivo da sentença funcional na estrutura física da peça. Em relação à estrutura gramática da sentença funcional, o conhecimento teleológico exprime o propósito funcional, meta, finalidade ou objetivo da ação do verbo sobre os outros constituintes da sentença funcional<sup>2</sup>;

(3) **Conhecimento Comportamental** é o conjunto de significações, sob determinado ponto de vista funcional e domínio do contexto de aplicação, dos constituintes, ou estrutura gramatical, da sentença funcional (excetuando-se o constituinte verbo) sobre os requisitos/restrições de projeto e espaciais (EPP) da relação entrada/saída de energia, material e sinal (informação)<sup>2</sup>;

(4) **Conceito Funcional** é o conjunto de valores semânticos dos constituintes da sentença funcional, baseada em algum ponto de vista funcional, sobre a relação entrada/saída de energia, material e sinal (informação)<sup>2</sup>;

(5) **Conhecimento Funcional** é o conjunto de conhecimento formado pela relação sintático-semântica dos constituintes, e pela própria maneira como se descreve cada constituintes, de uma sentença funcional – de acordo com o ponto de vista funcional e domínio do contexto de aplicação –, segundo a relação entrada/saída de energia, material e sinal (informação)<sup>2</sup>.

Para exemplificar a formalização do conhecimento funcional incluído em uma sentença funcional utiliza-se a seguinte sentença funcional “Facilitar montagem do pino cilíndrico no pistão” de uma peça denominada de *pino cilíndrico*. Antes, porém, observa-se que na Figura 5-8, o ponto de vista funcional é chave no inventário dos quatro outros conceitos organizados no modelo de função baseado na abordagem linguística. Assim, em relação ao ponto de vista funcional e domínio do contexto da aplicação, uma sentença funcional pode expressar um conjunto de semânticas relacionadas a alguma atividade do ciclo de vida do produto, subsistema ou peça. O exemplo da Figura 5-9 é referenciado sob os pontos de vista funcional do processo de projeto e do planejamento de processo.



Sentença funcional “Fixar anel menor da biela no pistão”	
Pino cilíndrico sob o ponto de vista funcional da área do processo de projeto	Pino cilíndrico sob o ponto de vista funcional da área de planejamento de processo
Para facilitar a montagem do pino cilíndrico no pistão necessita-se de <i>features</i> tipo chanfro nas extremidades do pino cilíndrico	Para facilitar a “montagem” do pino cilíndrico no pistão necessitam-se de operações de torneamento nas extremidades do pino cilíndrico

Figura 5-9: Exemplo de uma mesma sentença funcional com dois distintos pontos de vista funcionais<sup>1</sup>

Desta forma, quando o projetista se posiciona sob o ponto de vista funcional do:

(a) **Processo de projeto da peça**, ele está interessado nos requisitos/restrições de projeto e geométrico (EPP) dos atributos relacionados ao comportamento da peça tais como: cinemática (necessidade/restrição de movimento ao longo do eixo normal, longitudinal ou transversal), pressão de alguma área de contato da peça, velocidade linear, dentre outros;

(b) **Planejamento de processo**, ele está interessado nos processos de realização das atividades das máquinas e ferramentas, i.e., ele organiza um conjunto seqüencial de operações a serem realizadas por máquinas/ferramentas através da remoção/adição de material da estrutura física da peça.

Porém, o projetista precisa expressar o propósito funcional da sentença funcional “Facilitar montagem do pino cilíndrico no pistão” do pino cilíndrico em relação à maneira como ele deseja, ou intenciona realizar a montagem do pino cilíndrico no pistão. Em outras palavras, no modelo de função baseado na abordagem lingüística o projetista precisa explicar as razões pela quais ele utiliza uma determinada geometria para alcançar determinado objetivo ou propósito funcional (baseado no conceito de “intenção de projeto” (MÄNTYLÄ, 1990)). Dessa forma, a captura da meta da intenção de projeto desejada é realizada pela forma como o projetista “Comunica a ação do verbo sobre a sentença funcional ‘Facilitar a montagem do pino cilíndrico no pistão’”.

Por exemplo, o projetista poderia comunicar a meta da intenção de projeto do uso do verbo facilitar para informar seu desejo de evitar obstáculos na montagem do pino cilíndrico no pistão. Assim, a idéia central do uso do verbo facilitar é realizar um estado parcial específico na montagem.

Por falta de pesquisa com um modelo de função capaz de formalizar o conhecimento teleológico e comportamental, utilizaram-se cinco metas de intenção de projeto baseadas na revisão bibliográfica realizada nas secções 2.4.6.3 e 2.4.6.5 do capítulo 2. Assim, no projeto, desenvolvimento e implementação do sistema orientado pelo modelo de função baseado na abordagem lingüística, que será apresentado no capítulo 6, disponibilizaram-se cinco metas de *intenção de projeto* (ver Glossário):

- (1) **ToMake**: realizar um estado parcial específico;
- (2) **ToMaintain**: realizar e sustentar um estado desejado;
- (3) **ToPreven**: manter um sistema fora de um estado indesejado;
- (4) **ToControl**: controlar mudanças de estados através de um inter-relacionamento;

(5) **ToEnable**: habilitar um estado desejado.

Depois de formalizado o conhecimento teleológico, o modelo de função baseado na abordagem lingüística propõe-se a formalizar o conhecimento comportamental a partir dos dois métodos de análise para capturar as semânticas dos outros constituintes da sentença funcional: (i) método de análise gramatical; (ii) método de análise comportamental.

O método da análise sintática (ou gramatical) tem dois objetivos específicos, que são descobrir as: (i) funções parciais de peça; (ii) funções elementares de peça. Assim, quando a sentença funcional é uma:

(1) **Função Global da Peça** – o objetivo é determinar as principais geometrias da peça através dos seus substantivos concretos. Essas geometrias principais ou críticas (MUKHERJEE; LIU, 1997), segundo as análises das descrições textuais de funções do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais, constituem-se nas funções parciais da peça;

(2) **Funções Parciais da Peça** – o objetivo é determinar as principais geometrias da peça através dos seus substantivos concretos. Segundo as análises das descrições textuais de funções do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais, estas geometrias constituem de DGs, ou *features*. Na estrutura de funções da peça, estes detalhes geométricos são denominados de funções elementares da peça.

A proposta da metodológica de determinação das funções parciais de peça e funções elementares de peça a partir da determinação dos substantivos concretos pela análise sintática constitui-se em mais uma contribuição particular desta tese. Esta proposta possibilitar a geração de soluções conceituais alternativas através da geração de: (i) funções parciais ou funções elementares de peça; (ii) formas geométricas dadas pelos substantivos concretos. Entretanto, a geração de soluções conceituais alternativas a partir dessa contribuição requer ainda mais pesquisas com o modelo de função baseado na abordagem lingüística.

O objetivo do método da análise comportamental é potencializar a valoração semântica dos constituintes da sentença funcional, executando o verbo, através dos atributos de projeto e processo definidos na tipificação dos substantivos concretos e abstratos na Figura 5-7.

Na análise das descrições textuais de funções do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais foi observado que os atributos de projeto e processo especificados nas sentenças funcionais são, respectivamente, os mesmos atributos específicos e gerais de Fonseca (2000) - veja Tabela 5-2.

Tabela 5-2: Classificação dos atributos gerais e específicos de produto/peça (FONSECA, 2000)

<b>Atributos Gerais</b>			
<b>Atributos Básicos</b>		<b>Atributos do Ciclo de vida</b>	
– Funcionamento	– Legal	– Fabricabilidade	– Da Função
– Ergonômico	– Patentes	– Montabilidade	– Usabilidade
– Estético	– Da normalização	– Embalabilidade	– Manutenibilidade
– Econômico	– Da modularidade	– Transportabilidade	– Reciclabilidade
– Segurança	– Do impacto ambiental	– Armazenabilidade	– Descartabilidade
– Confiabilidade		– Comercialibilidade	
<b>Atributos Específicos</b>			
<b>Atributos Materiais</b>	<b>Atributos Energéticos</b>	<b>Atributos de Controle</b>	
– Geometria	– Forças	– Sinais (e.g., elétricos)	
– Forma Geométrica	– Cinemática (e.g., velocidade)	– Estabilidade (dos sistemas, subsistema e peça)	
– Dimensões	– Tipo de energia (térmica, elétrica)	– Controle (dos sistemas, subsistema e peça)	
– Acabamentos	– Fluxo (massa ou energia)		
– Ajustes			
– Textura			
– Fixação			
– Material (tipo)			
– Cor			
– Peso (ou massa)			

Por exemplo, na análise sintática os constituintes da sentença funcional “montagem do pino cilíndrico no pistão” são classificados de acordo com sua classe gramatical:

(a) montagem = <substantivo abstrato simples>;

(b) pino cilíndrico do pistão = <substantivo concreto composto> = <substantivo concreto + adjetivo + preposição + artigo + substantivo concreto>.

Em seguida, os constituintes são classificados de acordo com os aspectos de projeto e processo:

(c) **montagem** ∈ classe dos aspectos de processo de montagem e pode ser percebido como um processo causal que tem um atributo semântico relacionado a um efeito físico;

(d) **pino cilíndrico do pistão** ∈ classe dos aspectos de projeto relacionados a alguma tipo de face funcional do detalhe geométrico do inter-relacionamento entre o pino e o pistão.

A Tabela 5-3 ilustra como a análise sintática e análise comportamental da sentença funcional “montagem do pino cilíndrico do pistão” podem ser sistematizadas em uma estrutura organizacional.

Portanto, o conhecimento comportamental é constituído pelo conjunto de valores semânticos que relaciona tanto os aspectos geométricos (restrições espaciais ou de projeto) e

aspectos dos processos causais sob o ponto de vista funcional do projetista (do contexto de aplicação):

- (a) <Processo causal baseado em efeito físico> = ‘montagem’;
- (b) <Face funcional do detalhe geométrico da geometria> = ‘pino cilíndrico do pistão’;
- (c) <Feature> = ‘chanfro’;
- (d) <Material> = ‘aço’;
- (e) <Processo de manufatura [Ferramenta]> = ‘Torno’;
- (f) <Processo de manufatura [Operação de Ferramenta]> = ‘Torneamento’.

Tabela 5-3: Mapeamento das informações funcionais do conhecimento comportamental<sup>2</sup>

ANÁLISE SINTÁTICA	ANÁLISE COMPORTAMENTAL	
<SINTAXE>	<SEMÂNTICA dos constituintes da sentença funcional, excetuando o verbo>	
	<Atributos de projeto e processo>	<Semântica do atributo>
<Substantivo abstrato> Montagem	Processo Causal (efeito)	<b>Montagem</b>
<Substantivo concreto>  Pino cilíndrico do pistão	Geometria	<b>Superfície plana inclinada</b>
	Feature	<b>Chanfro</b>
	Material	<b>Aço</b>
	Processo manufatura	Ferramenta
	Operação de Fabricação	<b>Torneamento</b>

O conceito funcional é definido como o conjunto de ubIFs constituído pelos valores semânticos de todos os constituintes, independente da forma como os projetistas descrevem textualmente em linguagem natural os constituintes, da sentença funcional – parte clara do lado direito da Tabela 5-4.

Tabela 5-4: Conceito funcional constituído pelo conjunto de valores semânticos de todos os constituintes da sentença funcional “Facilitar montagem do pino cilíndrico do pistão”<sup>2</sup>

	Conceito Funcional incluído na sentença funcional	
<Verbo> Facilitar	<b>Evitar obstáculos na montagem ou Realizar um estado parcial específico.</b>	
<Substantivo abstrato>  Montagem	Processo Causal (Efeito Físico)	<b>Montagem</b>
	Atributo Processo Causal	<b>Contato de Superfície (Alinhamento, posicionamento)</b>
<Substantivo concreto + adjetivo> + <preposição + artigo> + <substantivo concreto>	Geometria:	<b>Superfície Plana inclinada</b>
	Atributos Geométricos:	<b>Largura, Comprimento e Ângulo de inclinação</b>
	Feature:	<b>Chanfro</b>
	Atributos da Feature:	<b>Largura, Comprimento e Ângulo de inclinação</b>
ANEL MENOR DA BIELA	Processo de Manufatura:	Ferramenta: <b>Torno</b>
		Operação de Fabricação: <b>Torneamento</b>

Finalmente, a Tabela 5-5 organiza o conceito de conhecimento funcional em uma estrutura denominada de *Frame*. A formalização do conhecimento funcional explícito/implícito em uma sentença funcional envolve a valoração semântica do contexto de todos os seus constituintes, mas de acordo com um ponto de vista funcional e um domínio de aplicação.

Tabela 5-5: Inventário das ubIFs incluídas na SF “Facilitar montagem do pino cilíndrico do pistão”<sup>2</sup>

SINTAXE da Estrutura Gramatical	SEMÂNTICA da Estrutura Gramatical	
	Atributos de: Projeto + Processo	Valores Semânticos (Semânticas) dos Atributos
Sentença funcional	Facilitar montagem do pino cilíndrico no pistão	
<Verbo> Facilitar	Qual é a finalidade, ou objetivo, da ação do verbo na sentença funcional?	
	<b>Evitar obstáculos na montagem ou Realizar um estado parcial específico.</b>	
<Substantivo abstrato>  Montagem	PROCESSO CAUSAL	Efeito Físico: [ X ]   <b>MONTAGEM</b>
		Efeito Químico: [ ]
		Efeito Biológico: [ ]
	Atributos do Processo Causal:	<b>Contato de Superfície (Alinhamento, posicionamento)</b>
<Substantivo concreto + adjetivo> + <preposição + artigo> + < substantivo concreto >  Anel menor da biela	GEOMETRIA:	<b>Superfície Plana Inclinada</b>
	Atributos Geométricos:	<b>Largura, Comprimento e Ângulo de inclinação</b>
	<i>Feature:</i>	<b>Chanfro</b>
	Atributos da <i>Feature:</i>	<b>Largura, Comprimento e Ângulo de inclinação</b>
	PROCESSO DE MANUFATURA:	<b>Ferramenta: Torno</b>
		<b>Operação de Fabricação: Torneamento</b>

Nesse sentido, diz-se que o conhecimento funcional incluído em uma sentença funcional é constituído pela forma como o projetista descreve textualmente e valora semanticamente cada constituinte da sentença funcional.

### RELAÇÃO ENTRE O MODELO DE FUNÇÃO BASEADO NA ABPRDAGEM LINGÜÍSTICA E O MODELO DE FUNÇÃO DE ULLMAN (1992)

O modelo de função baseado na abordagem lingüística estende o modelo de função de Ullman a partir do uso de suas quatro entidades básicas: (i) formas geométricas; (ii) matérias; (iii) montagem; (iv) processo de fabricação- veja Figura 5-10. Estas entidades básicas possibilitam a: (i) aplicação do G (I<sub>c</sub>, V<sub>z</sub>, I<sub>z</sub>); (ii) diferenciação dos vários tipos de conhecimento e (iii) viabilizam a formalização do conhecimento funcional incluídos em uma sentença funcional. Enquanto isso, o modelo de função de Ullman (1992) baseia-se apenas na idéia de que os conceitos funcionais podem gerar apenas a funcionalidade principal do produto/componente e as formas geométricas dadas pelo conhecimento das restrições espaciais, propriedades de materiais e capacidades e limitações de produção.



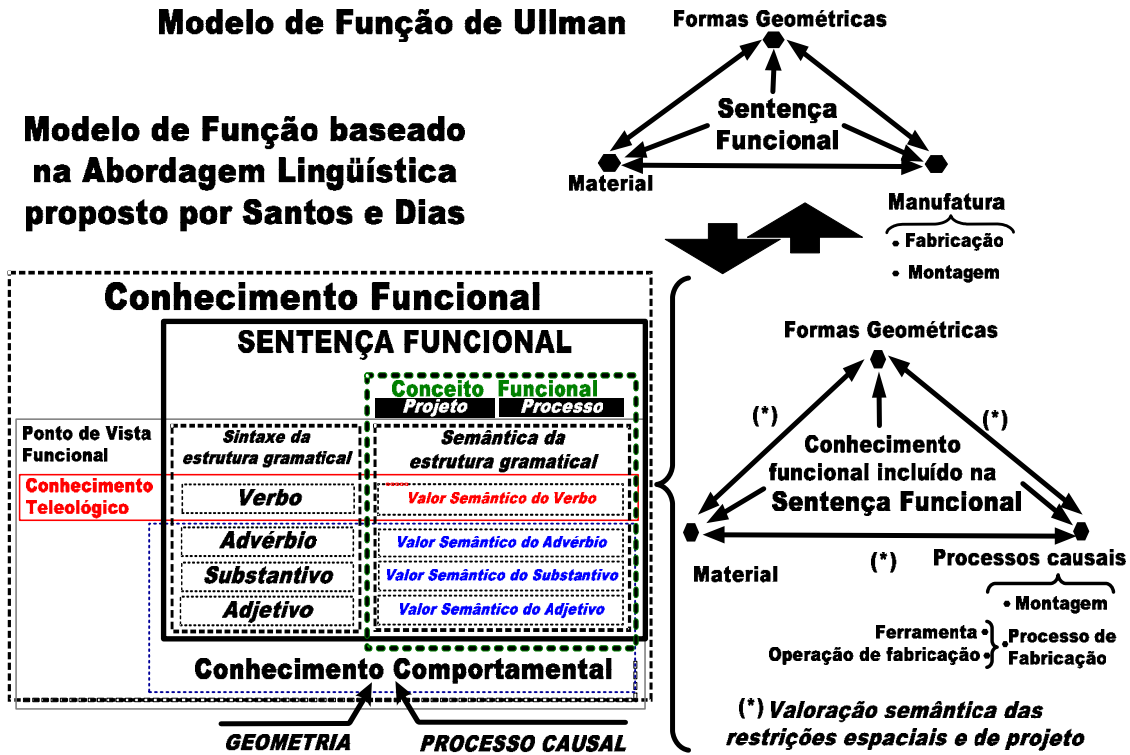


Figura 5-10: Inter-relação entre os modelos de função de Ullman (1992) e baseado na abordagem lingüística a partir dos elementos básicos: (i) material; (ii) forma geométrica; (iii) montagem; (iv) manufatura<sup>1</sup>

### 5.7 SÍNTESE DA FORMALIZAÇÃO DE CONHECIMENTO FUNCIONAL INCLUÍDO NUMA SENTENÇA FUNCIONAL

A formalização do conhecimento funcional incluído na sentença funcional passa pelo esclarecimento dos valores semânticos do: (i) conhecimento teleológico; (ii) conhecimento comportamental; (iii) definição do conceito funcional, mas de acordo com o ponto de vista funcional (ver Glossário) dos projetistas e de um domínio de aplicação específico do projeto da peça.

Nesta tese, a formalização do conhecimento funcional explícito/implícito na sentença funcional realizar-se-a mediante o “método de sistematização das ubIFs explícitas/implícitas nos constituintes da sentença funcional”. Dessa forma, a formalização do conhecimento funcional incluído em uma sentença funcional deve ser realizada durante a descrição textual de função em linguagem natural, na atividade de análise funcional da estrutura física da peça. O objetivo do método é capturar as ubIFs que são relevantes na formalização do conhecimento funcional, mas segundo a experiência de projeto de quem utiliza o método.

### Método de sistematização das ubIFs explícitas/implícitas na sentença funcional

O método de sistematização das ubIFs incluídas na sentença funcional é baseado nos resultados da análise das descrições textuais de funções do *corpus* lingüístico de sentença funcional mencionado no Capítulo 3. Assim, o conjunto de procedimentos para a sistematização das ubIFs incluídas na sentença funcional podem ser organizados como segue:

**Procedimento 1:** Descrever textualmente função em linguagem natural, sentença funcional;

A sentença funcional tem que ser uma predicação verbal pura, com sujeito inexistente.

**Procedimento 2:** Realizar a análise sintática da sentença funcional;

A análise sintática da sentença funcional é para esclarecer, significar ou interpretar o papel de cada constituinte como, e.g., o: verbo, advérbio, substantivo concreto/abstrato simples/composto, adjetivo, locução adjetiva e suas combinações.

(a) Se o constituinte for um **verbo**

**Procedimento 3:** Definir a ação do verbo sobre a sentença funcional ou, simplesmente, definir o próposito funcional do verbo;

A ação do verbo na sentença funcional pode indicar diferentes especificações de conhecimento funcional, ou ubIFs, sobre a finalidade (meta, objetivo ou propósito funcional) dos requisitos/restrições de projeto e espacial mapeados na função. Assim, definir a ação do verbo sobre a sentença funcional significa explicar resumidamente as razões pelas quais se utiliza uma determinada forma geométrica para alcançar determinada metas. O projetista precisa expressar sua intenção de projeto através de uma finalidade como “evitar obstáculos na montagem” ou “realizar um estado parcial específico”.

A necessidade de explicar a ação do verbo sobre a sentença funcional é para indicar a intenção de realização de um efeito (in)desejado sob certas condições operacionais como, e.g., através de um comportamento ou de certos atributos especificados.

(b) Se o constituinte for um **advérbio**

**Procedimento 4:** Verificar se o papel do advérbio refere-se à posição, referência

posicional ou localização de DG de peça, *feature* ou peça, na sentença funcional;

(c) Se o constituinte for um substantivo concreto/abstrato simples/composto:

**Procedimento 5:** Verificar se a sentença funcional é uma Função Global ou Função Parcial da peça.

(d) Se a sentença funcional é uma Função Global de Peça e o constituinte é um substantivo concreto:

**Procedimento 5.1:** Determinar as principais geometrias, ou *features*, da peça que podem constituir as principais funções parciais da peça.

(e) Se a sentença funcional é uma Função Parcial de Peça e o constituinte é um substantivo concreto:

**Procedimento 5.2:** Determinar as principais geometrias, ou *features*, da peça que podem constituir as principais Funções Elementares da peça.

(f) Se a sentença funcional é uma Função Global ou Função Parcial de Peça e o constituinte é um substantivo abstrato:

**Procedimento 5.3:** Determinar/Evitar o processo causal desejado/indesejado para a estrutura geométrica do DG da peça, ou peça, relacionado pelo substantivo na sentença funcional.

(g) Se o constituinte for um **adjetivo/locução adjetiva:**

**Procedimento 6:** Determinar/extrair o valor semântico do adjetivo/locução adjetiva que qualifica quantitativamente a geometria de um substantivo concreto ou processo causal de um substantivo abstrato (definidos anteriormente).

(h) Se ainda houver mais constituintes na sentença funcional:

**Procedimento 7:** Retornar para o Procedimento 4..

Caso contrário, realizar a análise comportamental dos constituintes da sentença funcional

(i) Se o constituinte for um **advérbio**

**Procedimento 8:** Gerar e/ou configurar as entidades relacionadas a posição, referência posicional ou localização do (ou no) DG da peça, ou peça, do advérbio da sentença funcional,

de modo qualitativo, valorando-os semanticamente – conforme ilustrado na Tabela 5-6.

Tabela 5-6: Advérbio: correlação entre suas entidades *versus* conhecimento sobre suas condições operacionais<sup>1</sup>

Entidades do Advérbio	Condições Operacionais	
	Comportamento	Atributos
Posição	Eixo de referência	Um modo de posição
Referência posicional	Face referência	Uma face específica
Localização	Local no detalhe geométrico ou peça	Um lugar

(j) Se o constituinte for um **substantivo concreto/abstrato**

**Procedimento 9:** Gerar e/ou configurar as entidades, relacionadas aos aspectos de projeto ou processo, do substantivo da sentença funcional;

Na análise comportamental, relacionada ao conhecimento comportamental explícito/implícito na sentença funcional, é necessário gerar e/ou configurar as condições operacionais pensadas para as entidades dos detalhes geométricos da estrutura física da peça, ou da própria peça. Assim, *a priori* os seguintes grupos de entidades comuns foram encontradas na análise comportamental das descrições textuais de funções do *corpus* linguístico de sentenças funcionais: processo causal; geometria; feature e processo de manufatura – definido por ferramenta e operação de ferramenta. Por isso, esses grupos de entidades foram eleitos como entidades básicas dos substantivos.

Todavia, as entidades básicas podem ser reconfiguradas quando houver necessidade de se acrescentar ou substituir alguma, ou todas, as entidades dos grupos eleitos (Tabela 5-7).

Tabela 5-7: Organização das entidades básicas dos substantivos e seus atributos e valores semânticos<sup>2</sup>

Entidades dos Substantivos da sentença funcional	Condições Operacionais	
	Comportamento	Atributos
Processo Causal	Efeito físico, Efeito químico ou Efeito biológico	Leis Físicas, Leis Químicas ou Leis Biológicas
Geometria	Tipo de Geometria: 1D 2D 3D	Uma medida Face (superfície funcional) Uma geometria específica
<i>Feature</i>	Tipo de <i>Feature</i>	Uma feature específica
Processo de Manufatura	Tipo de Ferramenta Operação de Fabricação	Uma ferramenta específica Uma operação de ferramenta específica
Outros a serem configurados	Ex: Tipo de material	Ex: Propriedade do material

(k) Se o constituinte for um **adjetivo**:

**Procedimento 10:** Configurar as entidades implícitas nos substantivos concretos, ou abstratos, de modo qualitativo para cumprir um efeito físico (in)desejado que estão relacionadas ao: (i) tipo de geometria, (ii) posição, (iii) localização; (iv) tipo de processo causal de um DG de peça, *feature* ou da própria peça.

(l) Se ainda houver mais constituinte na sentença funcional:

**Procedimento 11:** Retornar para o **Procedimento 8**.

Valoração Semântica do comportamento e atributos das Entidades dos constituintes

**Procedimento 12:** Completar, decidir ou valorar semanticamente os comportamentos e atributos das condições operacionais com as ubIFs pensadas para as entidades dos constituintes da sentença funcional, mas segundo o ponto de vista funcional do projetista e domínio do contexto de aplicação.

(Re)Uso de Conhecimento Funcional: pesquisar por informações funcionais:

**Procedimento 12.1:** (Re)usar parcial, total e efetivamente um conhecimento teleológico, conhecimento comportamental, conceito funcional ou conhecimento funcional formalizado nas classes de *Frame* e que organizam as entidades e seus valores semânticos segundo a estrutura gramatical de cada sentença funcional.

Nesta etapa, há a possibilidade de se pesquisar por ubIFs ou conhecimento funcional relacionado a algum constituinte da sentença funcional já formalizada e com suas entidade e valores semânticos específicos também organizados.

Confirmar as informações funcionais declaradas para as entidades dos constituintes

**Procedimento 13:** Validar as ubIFs declaradas para os comportamentos e atributos das entidades dos constituintes da sentença funcional configurados para o *Frame* de formalização de conhecimento funcional implícito na sentença funcional;

Nesta etapa, o projetista verifica, revisa e valida as ubIFs declaradas, ou reusadas de alguma outra entidade de alguma condição operacional já formalizada anteriormente no sistema protótipo desenvolvido.

## 5.8 CONTRIBUIÇÕES DA TESE

Dentre as contribuições relacionadas a este trabalho de pesquisa, tem-se o

(1) Modelo de função baseado na abordagem lingüística, principal contribuição desta tese, e que é inédita. No modelo proposto, a novidade é a associação da abordagem lingüística às abordagens funcional e comportamental. O objetivo dessa associação é formalizar o conhecimento funcional incluído na sentença funcional, dada pela abordagem funcional, a partir da valoração semântica dos constituintes relacionados às entidades geométricas e processos causais, da abordagem comportamental (cf. Figura 5-5);

(2) Sistema de classes de *Frame* baseado no tipo de estrutura gramatical da sentença funcional. Nesse sistema, a estrutura gramatical válida (também denominada de sentença funcional bem-formada) deve possuir pelo menos dois constituintes: (i) verbo; (ii) substantivo abstrato ou concreto, simples ou composto. O objetivo do sistema de classes de *Frame* é auxiliar o projetista na organização e valoração semântica das entidades relacionadas às geometrias e/ou processo causal dos constituintes da sentença funcional. Além disso, os *Frames* possibilitam a configuração, (re)uso, alteração e exclusão de ubIFs incluídas nos constituintes da estrutura sintática da sentença funcional, segundo o ponto de vista funcional do projetista e domínio do contexto de aplicação (cf. Tabela 5-5);

(3) Esclarecimento, definição e inter-relação entre os diversos tipos de conhecimento incluídos em uma sentença funcional, tais como: (i) conhecimento teleológico; (ii) conhecimento comportamental; (iii) conceito funcional; (iv) ponto de vista funcional; (v) conhecimento funcional (cf. Figura 5-8);

(4) Proposta da estruturação semântica dos substantivos incluídos na sentença funcional e que são relacionados às entidades das geometrias ou processos causais (leis físicas), a partir dos atributos gerais e específicos de Fonseca (2000) (cf. Figura 5-7);

(5) Metodologia baseada nos métodos de análise sintática e comportamental dos constituintes e estrutura gramatical de uma sentença funcional para formalizar conhecimento funcional (cf. Tabela 5-3). Porém, a:

(5.1) Utilização do método de análise sintática na automatização do processo de determinação das: (i) funções parciais de peça a partir da função global de peça; (ii) funções elementares de peça a partir da função parcial, ainda requer mais pesquisas e não se constitui como uma meta deste trabalho de pesquisa;

(5.2) Automatização da valoração semântica das entidades básicas e seus atributos no *Frame*, derivado da estrutura gramática da DTFLN, ainda requer mais pesquisas e não se constitui uma meta desta tese.

(6) Proposta conceitual de modelagem funcional *ad hoc* (ver Glossário);

(7) Sistema orientado por um modelo de função baseado na abordagem lingüística para organizar, formalizar e integrar para (re)uso efetivo conhecimento funcional incluído em uma sentença funcional durante a modelagem funcional de peça, na primeira tarefa da atividade de análise o projeto conceitual de peça (cf. Figura 5-4);

(8) Proposta das camadas metodológicas do produto, subsistema e peça que é baseada no paradigma da programação orientada a objetos. Essa proposta ajuda a entender o fluxo e processo de herança e transformação das informações funcionais durante todo o processo de projeto de produto, subsistema e peça (cf. Figura 5-1). Nesta tese, a importância da estruturação da metodologia do projeto de produto em camadas metodológicas (de produto, subsistema e peça) encontra-se na possibilidade do entendimento do percurso, dependência, inclusão, herança e processo de transformação da informação funcional durante o processo de modelagem funcional da peça. Porém, ainda há necessidades de mais pesquisa para projetar e implementar um sistema computacional que suporte todas as três camadas metodológicas simultaneamente. Essas pesquisas poderão ajudar na compressão da importância das ubIFs nos inter-relacionamentos funcionais entre: (i) produto/subsistemas, (ii) produto/peças; (iii) subsistemas/peças;

(9) Proposta de um mecanismo para medir o grau de incompletude, vagueza e incerteza,  $G(I_C, V_Z, I_Z)$ , de conhecimento funcional incluído em uma sentença funcional. O  $G(I_C, V_Z, I_Z)$  é baseado na quantidade de constituintes da estrutura gramatical da sentença funcional (cf. Figura 5-6), i.é, na quantidade de *entidades geométricas e de processos causais* associadas aos constituintes pelos projetista quando pensam nas interações entre DGs, ou *features*, da estrutura física da peça. O módulo do  $G(I_C, V_Z, I_Z)$  ainda não foi implementado no SISFCO (AL), pois o sistema protótipo ainda encontra-se na fase de estruturação de um banco de dados de conhecimento funcional, conjunto de ubIFs.

## 5.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O MODELO DE FUNÇÃO BASEADO NA ABORDAGEM LINGÜÍSTICA

O modelo de função baseado na abordagem lingüística surgiu da necessidade de se formalizar o conhecimento funcional incluído em uma descrição textual de funcionalidade de peça em linguagem natural. O modelo surgiu do estudo sobre a atividade de análise da etapa do projeto conceitual de produto e peça, e não sobre a atividade de síntese como vem acontecendo com as pesquisas na etapa do projeto conceitual das metodologias de projeto de produto e peça. Além da necessidade de se centrar na atividade de análise, foi preciso, também, mudar o foco da ‘transição função *versus* forma’ para a própria sentença funcional, pois sem essas duas mudanças de perspectiva o modelo de função baseado na abordagem lingüística não poderia ser configurado.

O foco na atividade de análise e sentença funcional implicou em duas necessidades: (i) mapeamento dos principais níveis de abstração decorrentes das atividades básicas da etapa do projeto conceitual, cuja consequência foi o surgimento do grau de incompleteness, vagueza e incerteza; (ii) determinação das principais tarefas para a formalização do conhecimento funcional incluído em uma sentença funcional, cuja consequência foi a necessidade de uma forma de representação de conhecimento funcional suficientemente genérica para comportar todos os conceitos funcionais (ver Glossário) contidos em uma sentença funcional. Observou-se que essas duas necessidades têm uma raiz comum: “a própria idéia de abstração”. Como na literatura sobre metodologia de projeto de produto, essa idéia tem sido o sustentáculo do modelo clássico de função de Pahl e Beitz, pois é ela quem garante a determinação de soluções neutras, sem preconceito ou soluções preconcebidas. Então, o modelo de função baseado na abordagem lingüística deveria estar centrado na própria definição de “conceito funcional”.

Ao tornar a definição de conceito funcional como centro do modelo de função baseado na abordagem lingüística foi necessário organizar um conjunto de conceitos imprescindíveis para o trabalho de tese. Assim, na investigação sobre conhecimento funcional na literatura sobre metodologia de projeto de produto e peça constatou-se a: (i) falta da conceitualização de conhecimento funcional; (ii) falta de conceitualização de conceito funcional; (iii) falta da interrelação entre conceito funcional, conhecimento teleológico, conhecimento comportamental, conhecimento funcional e ponto de vista funcional.



Para superar estas dificuldades foi necessário a correlação entre as: (i) dimensão da metodologia de projeto de produto, cuja consequencia foi a proposta das camadas metodológicas; (ii) dimensão da lingüística, cuja consequencia foi a metodologia de análise sintática e comportamental dos constituintes e estrutura gramatical de uma sentença funcional; (iii) dimensão da informática, cuja consequencia foi o projeto, desenvolvimento e implementação de um SPLN e o próprio sistema de suporte a formalização de conhecimento funcional baseado na abordagem lingüística, denominado de SISFCO (AL) e que será apresentado no Capítulo 6.

Todavia, uma consequencia imediata do modelo de função baseado na abordagem lingüística foi a sua origem, i.é., o modelo de função baseado na abordagem lingüística herda e estende características importantes de modelos de função consagrados na literatura sobre metodologia de projeto de produto, tais como a (i) idéia de abstração de Pahl e Beitz (1996) para a definição de conceito funcional; (ii) conceito de comportamento de Roy e Bhadaway (2002) para a definição de conhecimento comportamental; (iii) conceito de requisitos dados, adicionados e derivados de Ullman (1992) para o conceito de: (a) entidades geométricas e (b) entidades de processos causais baseadas em efeitos físicos, químicos ou biológicos.

## CAPÍTULO 6 – IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA ORIENTADO POR UM MODELO DE FUNÇÃO BASEADO NA ABORDAGEM LINGÜÍSTICA

### 6.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta um sistema protótipo orientado pelo modelo de função baseado na abordagem lingüística para formalizar o conhecimento funcional explícito/implícito na sentença funcional. O sistema protótipo implementado foi denominado de **Sistema de Suporte a Formalização de Conhecimento funcional baseado na Abordagem Lingüística – SISFCO (AL)**. O principal objetivo do SISFCO (AL) é inventariar o conjunto de ubIFs, conhecimento funcional, explícito/implícito nos constituintes da sentença funcional durante a modelagem funcional de peça na etapa do projeto conceitual de peça. A metáfora do SISFCO (AL) é “**(re)uso efetivo de conhecimento funcional**”.

O SISFCO (AL), conforme será visto, é constituído de quatro principais módulos:

(1) **Módulo do Editor Textual de sentenças funcionais** que é: (i) fundamentado na abordagem funcional; (ii) baseado no conceito de decomposição funcional de Pahl e Beitz (1996), para possibilitar a organização das descrições textuais de função em linguagem natural nas: (a) camada de função global de peça; (b) camada de funções parciais de peça; (c) camada das funções elementares de peça. Porém, a novidade do editor de funções do SISFCO (AL) é que o projetista deve obrigatoriamente determinar um “propósito funcional” para cada sentença funcional da estrutura de funcionalidades de peça;

(2) **Módulo do Sistema de Processamento de Linguagem Natural (SPLN)** que é: (i) fundamentado na abordagem lingüística para possibilitar a análise sintática dos constituintes das sentenças funcionais descritas textualmente em linguagem natural durante a modelagem funcional da peça; (ii) baseado no conceito de conhecimento comportamental proposto nesta tese para realizar a análise comportamental, segundo o ponto de vista funcional do projetista e o domínio do contexto de aplicação do projeto de peça;

(3) **Módulo do Sistema de Frames** que é: (i) baseado em um importante conceito de representação de conhecimento da IA, o conceito de *Frame* (ver Apêndice B); (ii) constituído de classes de *Frames*, onde cada *Frame* está relacionado a um tipo específico de estrutura gramatical de sentença funcional – conforme demonstrado na Figura 5-6, secção 5.4.1 do

capítulo 5;

(4) **SGBDOO** que é fundamentado no paradigma da programação orientada a objeto (POO), i.é, herda as principais características da POO: (a) encapsamento, onde cada objeto tem encapsulado atributos e comportamento; (b) herança, onde uma classe pode ser definida como uma especialização de outra, formando subclasses que herdam tanto a estrutura (atributos) quanto o comportamento (métodos) de suas classes de nível mais superiores em uma hierarquia; (c) polimorfismo que permite que um método possa ser definido em várias classes e com implementações diferentes.

Em seguida, a arquitetura, interface e principais relatórios do SISFCO (AL), bem como os diagramas de seqüência dos alguns módulos são apresentados, discutidos e exemplificados.

## **6.2 SISTEMA PARA SUPORTAR A FORMALIZAÇÃO DE CONHECIMENTO FUNCIONAL BASEADO NA ABORDAGEM LINGÜÍSTICA - SISFCO (AL)**

O SISFCO (AL) foi inteiramente implementado no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE – *Integration Development Environment*) **NetBeans IDE** (<http://www.netbeans.org>) totalmente projetado em código aberto (*open source*) e livre (*free*). O SISFCO (AL) também foi implementado inteiramente com a linguagem de programação Java™ (<http://java.sun.com/>), também um projeto em código aberto e livre. Além disso, o SISFCO (AL) foi projetado, desenvolvido e implementado de acordo com o paradigma da programação orientada a objeto (POO). Adicionalmente, o sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) do SISFCO (AL), também, é totalmente orientado a objeto – SGBDOO. Nesse sentido, o SGBDOO analisado, testado e aprovado para o projeto do SISFCO (AL) foi o *DB4Object* que é um banco de dados orientado a objeto de código aberto (<http://www.db4o.com/>) nativo para as linguagens de programação ‘Java’ e ‘.Net’. A implementação do SISFCO (AL) em Java™ tornou o código-fonte do sistema portátil para outros sistemas operacionais como, e.g., Linux, Mac, Solaris, Windows. Desta forma, o SISFCO (AL) tornou-se multiplataforma.

O SISFCO (AL) foi projetado, desenvolvido e implementado para cumprir a principal meta desta tese, que é inventariar o conhecimento funcional incluído nas sentenças funcionais utilizadas pelos projetistas durante a modelagem funcional de peça. Todavia, para que essa meta fosse cumprida, foi necessário esforço de pesquisa adicional para organizar, analisar, sistematizar e propor um modelo de função baseado na abordagem lingüística capaz de formalizar o conhecimento funcional explícito/implícito em qualquer sentença funcional

durante a modelagem funcional de peça – conforme mostrado na Figura 6-1. Subseqüentemente, implementou-se um sistema orientado pelo modelo de função baseado na abordagem lingüística para suportar a formalização de conhecimento funcional durante a modelagem funcional de peça na atividade de análise da etapa do projeto conceitual.

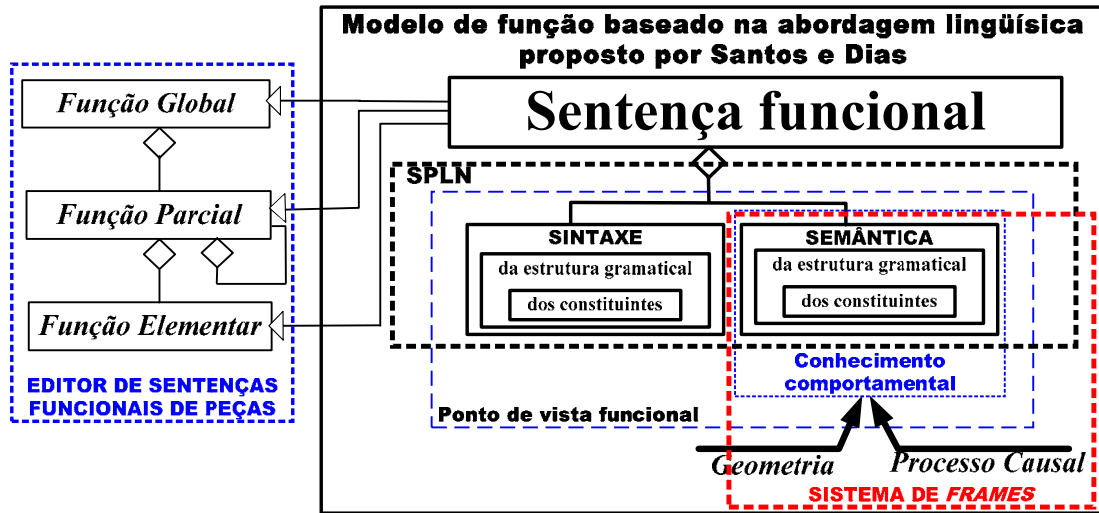


Figura 6-1 – Esquema sistemático em UML do fluxo da informação no SISFCO (AL)<sup>2</sup>

A Figura 6-1 ilustra um esquema sistemático em UML (*Unified Modeling Language* – linguagem de modelagem unificada) do fluxo da informação no SISFCO (AL), onde o: (i) módulo do editor de sentenças funcionais de peça suporta a recuperação, edição, adição e exclusão de conhecimento funcional incluído na árvore de sentenças funcionais de peça – ilustrado no lado esquerdo da Figura 6-1; (ii) módulo do SPLN baseado em uma metodologia lingüística para tratar as sentenças funcionais descritas em linguagem natural da língua portuguesa do Brasil – ilustrado no lado direito da Figura 6-1; (iii) módulo do sistema de *Frame* que, também, é baseado em uma metodologia lingüística para tratar as estruturas gramaticais das sentenças funcionais descritas em linguagem natural da língua portuguesa do Brasil – ilustrado no lado direito da Figura 6-1.

O módulo do editor de sentenças funcionais de peça implementa e referencia a abordagem funcional no SISFCO (AL). Assim, esse módulo pode emular o processo de decomposição funcional de Pahl e Beitz (1996) possibilitando a transformação da: (i) função global da peça em subfunções de funções parciais; (ii) funções parciais da peça em subfunções de funções elementares. Enfatiza-se que o diferencial do SISFCO (AL) é a necessidade do esclarecimento da intenção de projeto (ver Glossário) dos projetistas através da determinação do propósito

<sup>2</sup> Proposto por Santos e Dias

funcional da sentença funcional. *A priori*, o SISFCO (AL) disponibiliza seis propósitos gerais para as sentenças funcionais – cf. na Figura 6-2. Desses, os quatro primeiros propósitos funcionais foram propostos por Keuneke (1991) – ver secção 2.4.6.3 do Capítulo 2:

- (1) **ToMake**: realizar um estado parcial específico;
- (2) **ToMaintain**: realizar e sustentar um estado desejado;
- (3) **ToPrevent**: manter um sistema fora de um estado indesejado e
- (4) **ToControl**: controlar mudanças de estados através de um inter-relacionamento funcional conhecido.

O quinto propósito funcional foi proposto por Sasajima et al. (1995):

- (5) **ToEnable**: habilitar um estado desejado

Finalmente, o sexto propósito funcional foi proposto por Santos e Dias (2007d):

- (6) **ToStructure**: unir duas ou mais estruturas geométricas diferentes em uma única estrutura desejada. Esse propósito funcional pode auxiliar a inventariar o conhecimento funcional de um grande número de tipos de operações de manufatura específicos utilizados na combinação de duas ou mais geometrias críticas, ou as mais importantes, de uma peça. Como exemplo, pode-se citar a modelagem da peça denominada de “biela de um compressor alternativo” cuja função global é “Transformar movimento circular em movimento alternativo”. Na biela, as duas geometrias críticas são os anéis de acoplamento – anel maior e anel menor. Assim, a questão é “Que tipo de estrutura geométrica foi imaginada para interligar os anéis de acoplamento?” e “Que tipo de operação de manufatura foi pensada para unir os anéis de acoplamento com a estrutura geométrica de interligação?”.

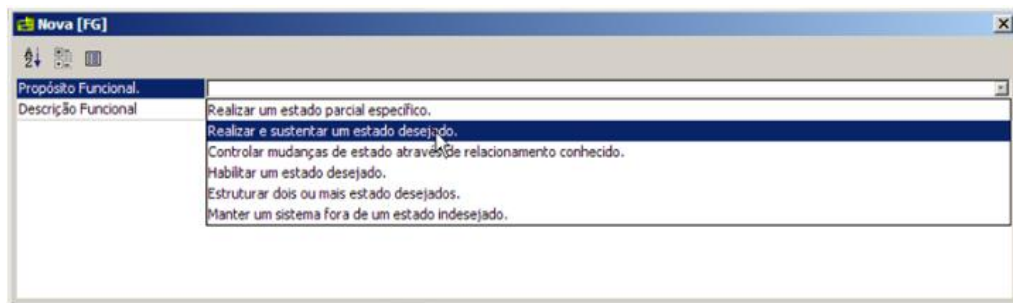


Figura 6-2 – Interface para se descrever a sentença funcional em linguagem natural, mas só depois de se escolher um dos possíveis propósitos funcionais disponibilizados no SISFCO (AL)<sup>3</sup>

A Figura 6-3 ilustra como o editor textual de função em linguagem natural estrutura as camadas funcionais da peça em: (i) camada funcional da função global de peça; (ii) camada funcional das funções parciais de peça; (iii) camada funcional das funções elementares de peça. Com o editor textual de função o projetista pode organizar e formalizar em um esquema

representacional as funcionalidades e os seus respectivos propósitos funcionais da árvore de funções da peça a ser modelada funcionalmente em sistema CAD. Também, o editor textual de função apóia o projetista não só na descrição textual da sentença funcional da estrutura física da peça, e seleção da intenção de projeto para cada um dos detalhes geométricos da estrutura física da peça, como também auxilia o projetista na pesquisa, (re)uso efetivo, (re)modificação e exclusão de funcionalidade, imagem de peça e imagem da árvore de *features* da peça (cf. na Figura 6-3). No momento, o propósito funcional pode apenas ser trocado por outro disponibilizado no próprio Editor Textual de Função em linguagem natural do SISFCO (AL) (cf. na figura 6-2).

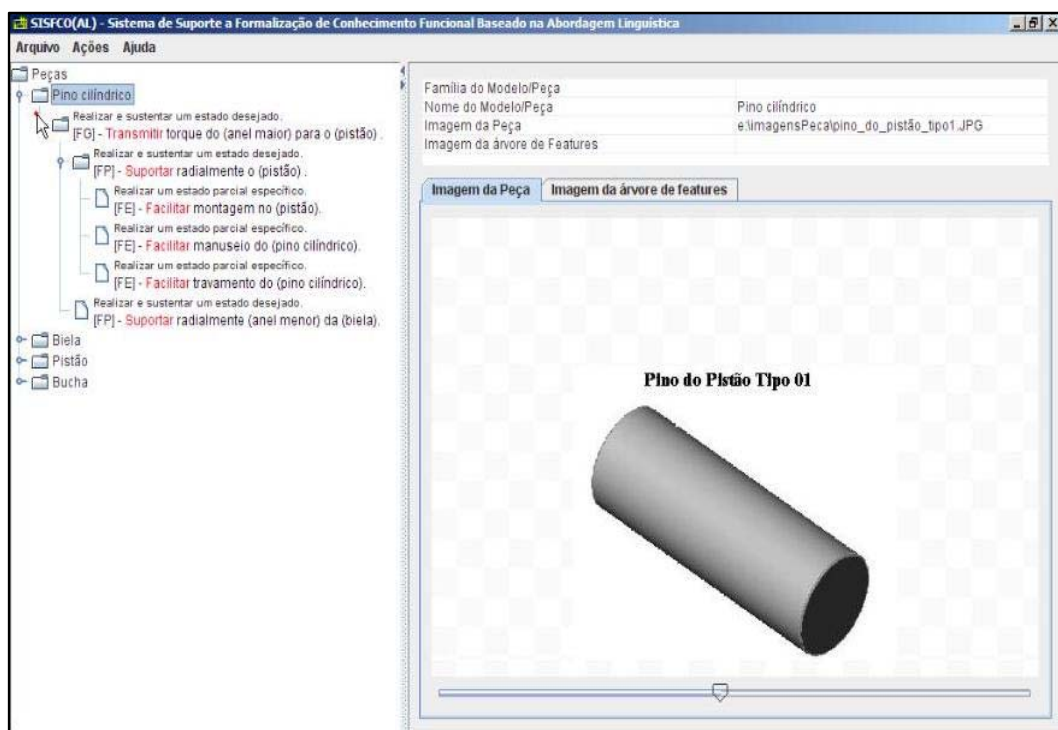
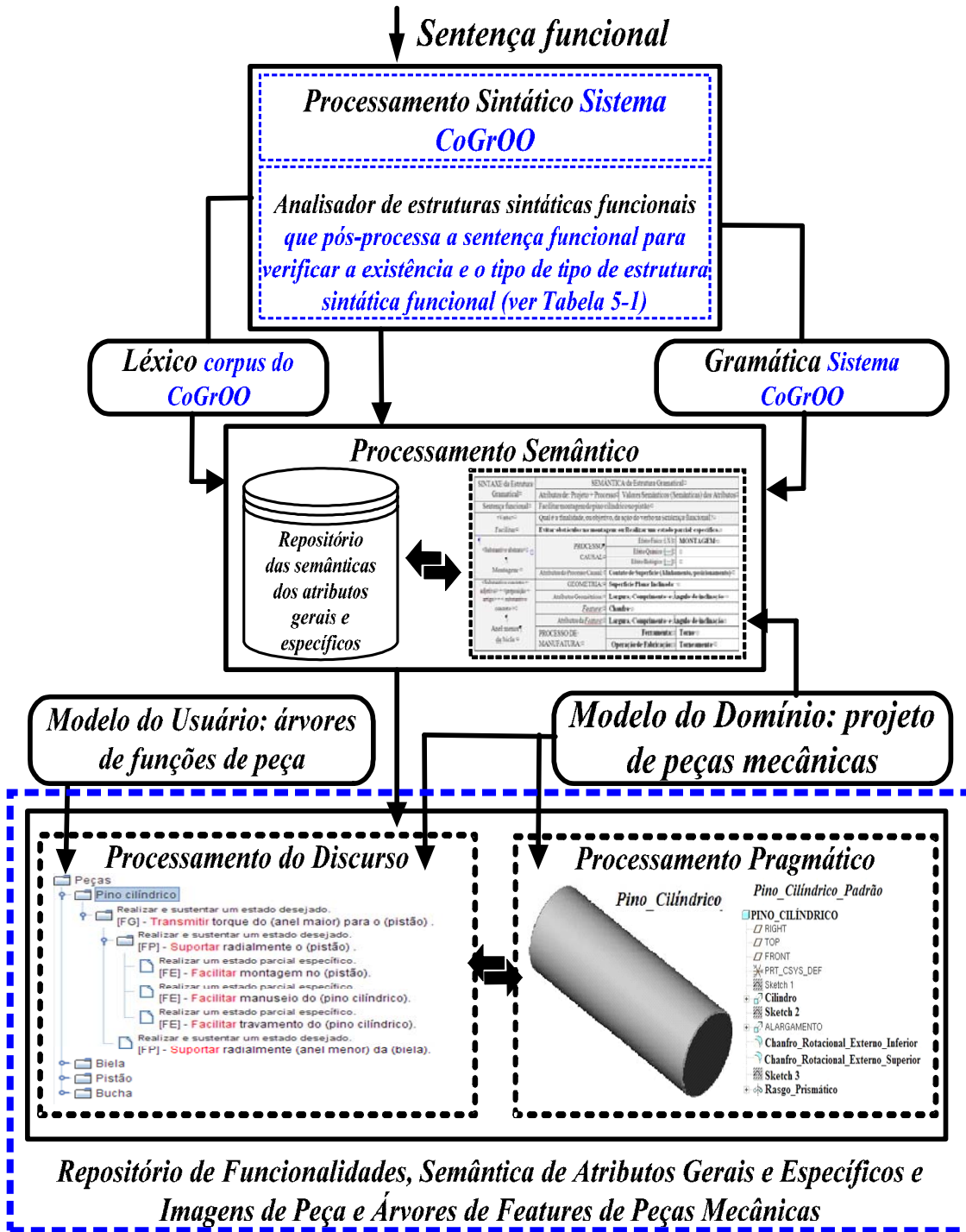


Figura 6-3 – Interface do SISFCO (AL) exemplificando uma estrutura de sentenças funcionais de uma peça cujo *ModeloPeça* é um pino cilíndrico.

O módulo do SPLN é baseado na abordagem linguística e comportamental. A primeira abordagem proporciona a utilização de dois métodos: (i) método da análise sintática, ou gramatical; (ii) método da análise comportamental. O SPLN é constituído dos seguintes módulos:

- (1) Módulo de análise sintática;
- (2) Módulo de análise semântica;
- (3) Módulo de análise do discurso;
- (4) Módulo de análise pragmática.

Uma estrutura geral do SPLN implementado no SISFCO (AL) pode ser analisada na Figura 6-4.



*Modelo do Usuário: árvores de funções de peça*

*Modelo do Domínio: projeto de peças mecânicas*

**Processamento do Discurso**

*Peças*

- Peças
  - Pino cilíndrico
    - Realizar e sustentar um estado desejado.
      - [FG] - **Transmitir** torque do (anel maior) para o (pistão).
      - Realizar e sustentar um estado desejado.
        - [FP] - **Supportar** radialmente o (pistão).
      - Realizar um estado parcial específico.
        - [FE] - **Facilitar** montagem no (pistão).
      - Realizar um estado parcial específico.
        - [FE] - **Facilitar** manuseio do (pino cilíndrico).
      - Realizar um estado parcial específico.
        - [FE] - **Facilitar** travamento do (pino cilíndrico).
      - Realizar e sustentar um estado desejado.
        - [FP] - **Supportar** radialmente (anel menor) da (biela).
    - Biela
    - Pistão
    - Bucha

**Processamento Pragmático**

*Pino\_Cilíndrico*

*Pino\_Cilíndrico\_Padrão*

- PINO\_CILÍNDRICO
- RIGHT
- TOP
- FRONT
- PRT\_CSYS\_DEF
- Sketch 1
- Cilindro
- Sketch 2
- ALARGAMENTO
- Chanfro\_Rotacional\_Externo\_Inferior
- Chanfro\_Rotacional\_Externo\_Superior
- Sketch 3
- Rasgo\_Prismático

Figura 6-4: Estrutura geral do SPLN implementado no SISFCO (AL)<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Elaborada por Santos e Dias

No *SPLN*, a:

(1) *Análise sintática dos constituintes da sentença funcional* é realizada pelo sistema CoGrOO – disponível em <http://cogroo.sourceforge.net/index.html> e pelo pós-processador de estruturas sintáticas funcionais do SISFCO (AL). Assim, enquanto o sistema CoGrOO realiza a análise sintática, o pós-processador de estruturas sintáticas funcionais do SISFCO (AL) verifica a existência do conjuntos de substantivos na sentença funcional e discrimina os substantivos concretos dos abstratos. As estruturas sintáticas funcionais são os tipificados de acordo com a Tabela 5-1 da secção 5.5.2 do capítulo 5;

(2) *Análise semântica dos constituintes da sentença funcional* é baseada nos atributos gerais (básicos ou do ciclo de vida do produto/peça – ver Tabela 5-2 da secção 5.6 do Capítulo 5) ou atributos específicos (materiais, energéticos ou controle – ver Tabela 5-2 da secção 5.6, do Capítulo 5) de Fonseca (2000). Porém, a análise semântica dos substantivos no SISFCO (AL) é baseada na estruturação semântica dos substantivos propostos nesta tese na Figura 5-7 da secção 5.5, do Capítulo 5;

(3) *Análise do discurso* de qualquer estrutura gramatical de sentença funcional é complementar a análise semântica dos seus constituintes. Assim, depois da análise semântica e do discurso, o SISFCO (AL) fornece uma estrutura de representação conhecimento para que o projetista formalize o seu conhecimento idiossincrático incluído nos constituintes, estrutura gramatical, da sentença funcional. Para apoiar tal formalização, cada uma destas estruturas fornecidas pelo SISFCO (AL) é composta por pelo menos quatro entidades orientadoras básicas. Estas entidades são baseadas nos atributos gerais ou específicos de Fonseca (2000) para auxiliar o projetista na organização e formalização adequada do conhecimento funcional incluído na sentença funcional. Ao final, o conjunto de ubIFs, conhecimento funcional, pode ser organizado pelo SISFCO (AL) nos seguintes tipos de estrutura de representação de conhecimento:

- (a) Árvore de funções e propósitos funcionais da peça;
- (b) Árvore de funções, propósitos funcionais e verbos, com suas descrições textuais, dadas pelo projetista, da ação do verbo na sentença funcional da peça;
- (c) Árvore de funções, propósitos funcionais, processos causais e geometrias pensadas para a estrutura física da peça;
- (d) Árvore de funções, propósitos funcionais, processos causais e *features* pensadas pelo projetista para a estrutura física da peça;
- (e) Árvore de *Frames* da peça;

(4) *Análise pragmática* fornece os meios para os quais o projetista possam se orientar



durante a modelagem das sentenças funcionais da estrutura física da peça. O SISFCO (AL) auxilia o projetista com a adição da imagem da peça e imagem da árvore de *features* da peça e

(5) *Repositório de funcionalidades, semânticas de atributos gerais e específicos e imagens de peças e árvores de features de peças* é organizado pelo SGBDOO do SISFCO (AL) para possibilitar o (re)uso efetivo das ubIFs, em tempo de execução, que compõem o conhecimento funcional incluído nas sentenças funcionais das árvores de funções de todas as peças já formalizadas pelos projetistas.

### 6.3 ARQUITETURA DO SISFCO (AL)

Uma visão geral da arquitetura do SISFCO (AL) é fornecida através do diagrama de pacotes mostrado na Figura 6-5. Neste diagrama de pacotes, ilustram-se como as principais entidades, serviços, sistema de gerenciamento de dados e a interface do SISFCO (AL) são organizados.

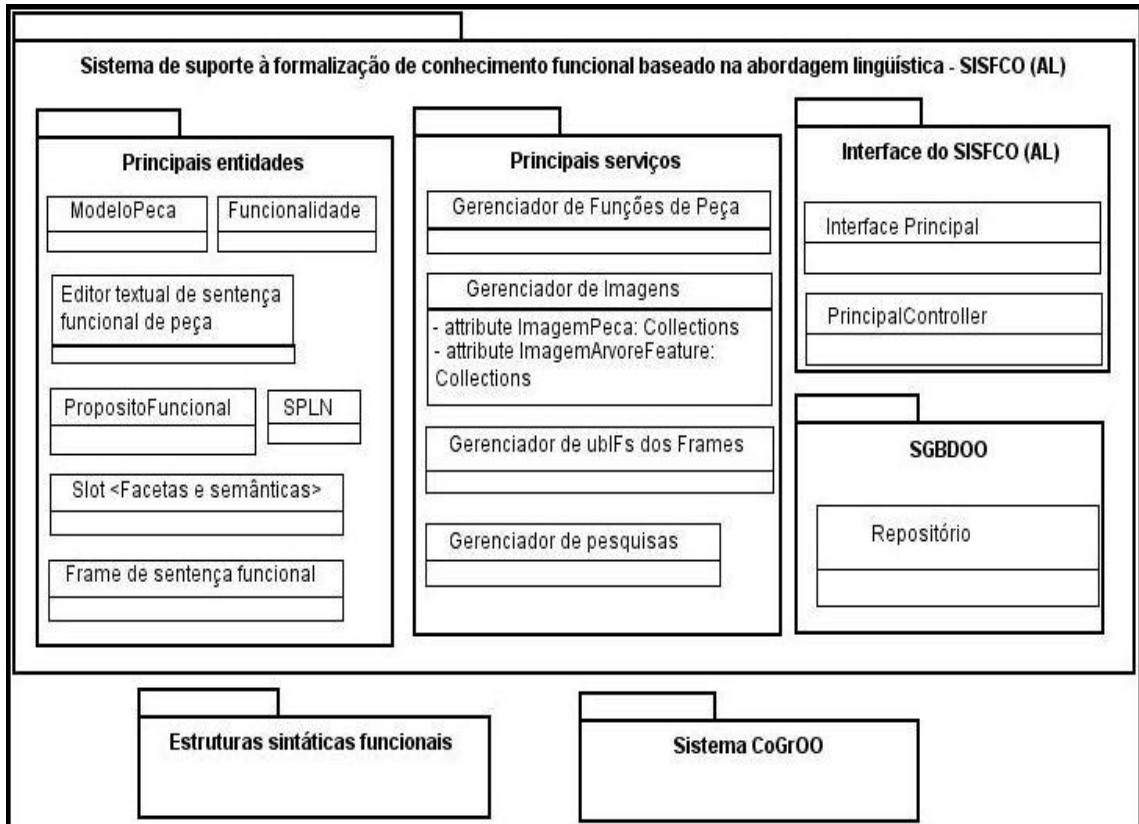


Figura 6-5: Visão geral do diagrama de pacotes do SISFCO (AL)<sup>2</sup>

Na Figura 6-5, a função do pacote denominado de *ModeloPeca* do SISFCO (AL) é instanciar classes de modelos de peças para os vários domínios de aplicação. A classe de

modelos de peças auxilia o pacote do editor textual de função a organizar as estruturas de funções de todas as peças a serem modeladas a partir do: (i) *pacote Gerenciador de Funções de Peça* cuja função é organizar as sentenças funcionais (instanciadas pelo *pacote de Funcionalidade*) com seus respectivos propósitos funcionais (instanciadas pelo *pacote de PropositoFuncional*) em uma árvore de funcionalidades de peça; (ii) *pacote Gerenciador de imagens* é possível organizar as imagens da peça e árvores de *features* da peça; (iii) *pacote Gerenciador de pesquisas* cuja finalidade é auxiliar o projetista na pesquisa por uma ou mais funcionalidades específicas ou por outras funcionalidades que sejam mais adequadas às suas necessidades de modelagem da estrutura física da peça. Tais pesquisas são suportadas pelo *pacote de Repositório* de imagens de peça, imagens de árvores de *features* de peça e sentenças funcionais de todas as estruturas de funções de peça modeladas pelo SISFCO (AL). As pesquisas realizadas nas árvores de *Frames* das sentenças funcionais de peça (pelo *pacote de Frame de sentença funcional* e *pacote Gerenciador das ubIFs dos Frames*) do SISFCO (AL) são em profundidade, pois as estruturas de sentenças funcionais das peças possuem três níveis: (i) nível das funções globais; (ii) nível das funções parciais; (iii) nível das funções elementares. O *pacote PrincipalController* auxilia no gerenciamento das pesquisas de todas as peças armazenadas no *pacote de Repositorio* com a ajuda do *pacote da InterfacePrincipal*.

O conjunto de ubIFs explícito/implícito em uma sentença funcional é organizado em *Frame* pelo SISFCO (AL). No *Frame* a organização das ubIFs, ou informações funcionais, são gerenciadas pelo *pacote Gerenciador das ubIFs dos Frames*, mas com a ajuda do módulo de processamento semântico do SPLN do SISFCO (AL). O método de análise comportamental determina a estrutura de todo *Frame* de sentença funcional através da quantidade de *slots* (ver Apêndice B) compostos com o: (i) rótulo relacionado ao valor sintático do tipo de constituintes da sentença funcional; (ii) valor semântico a ser determinado pelo projetista durante a formalização das ubIFs relacionadas ao conhecimento funcional incluído na sentença funcional. Para suportar o conjunto de ubIFs contidos em todos os *Frames* de todas as sentenças funcionais de todas as árvores de sentenças funcionais das peças modeladas, o SISFCO (AL) conta com o apoio de um sistema de gerenciamento de banco de dados orientado a objetos - SGBDOO. Atualmente, somente utilizando um sistema de gerenciamento orientado a objeto foi possível efetivamente (re)usar, (re)modificar, adicionar e excluir **em tempo real** (ou em tempo de execução) o conhecimento funcional formalizado nos *Frames* do SISFCO (AL).

A principal interface do SISFCO (AL) é mostrada na Figura 6-6.

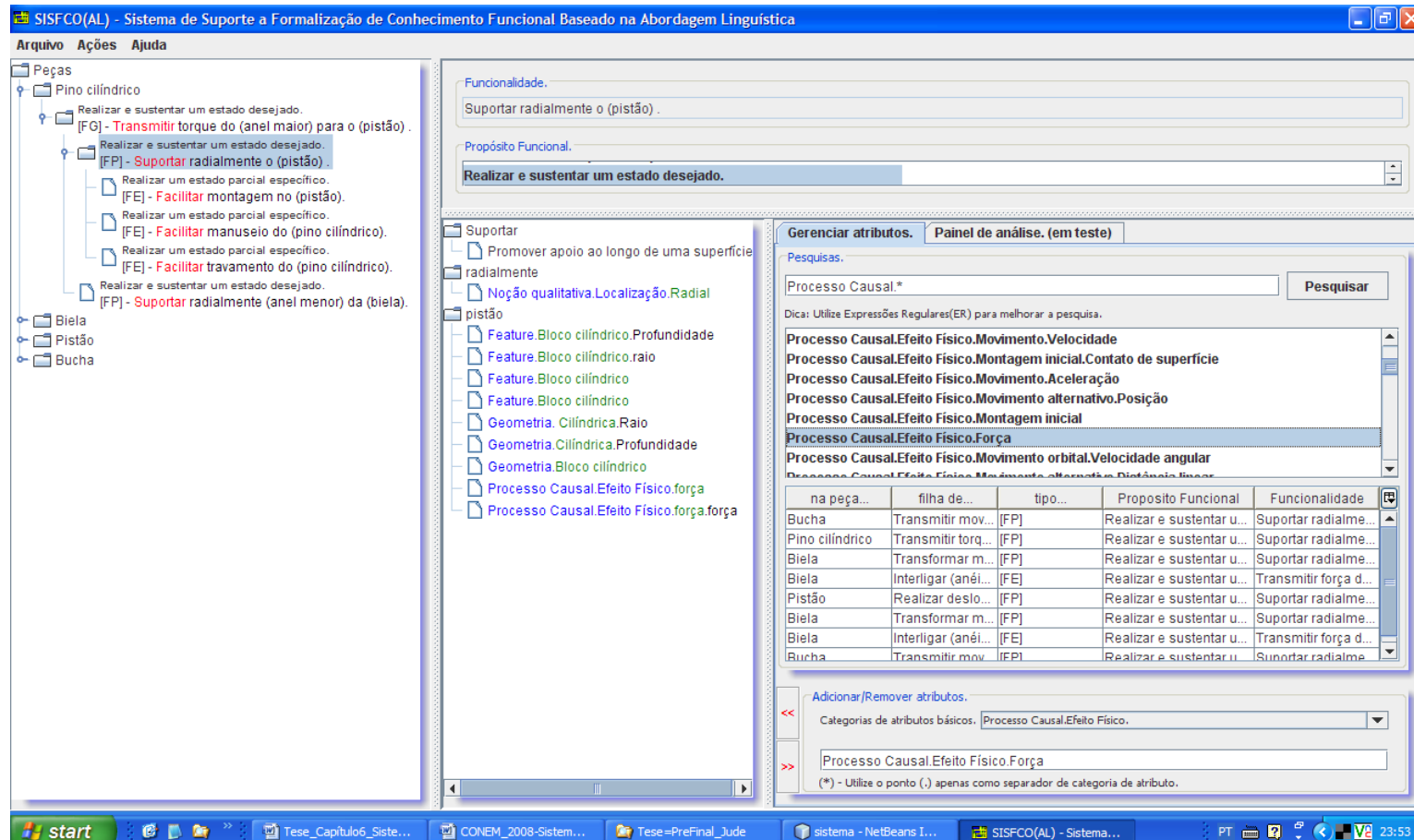


Figura 6-6: Principal interface do SISFCO (AL)<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Gerado pelo SISFCO (AL)

Na Figura 6-6, visualizam-se apenas alguns dos principais módulos do SISFCO (AL), o:

(1) **Editor de sentença funcional de peça:** situado no quadro do lado esquerdo da Figura 6-6, onde estão agrupadas as quatro árvores de peças: Pino cilíndrico, Biela, Pistão e Bucha. Como pode ser visto na Figura 6-6, apenas a árvore de sentenças funcionais da peça “Pino cilíndrico” está expandida na interface principal do SISFCO (AL). Nessa árvore de funções do Pino cilíndrico pode-se observar que todas as sentenças funcionais têm um propósito funcional definido (cf. Figura 6-2);

(2) **SPLN:** não aparece explicitamente na Figura 6-6 porque ele é composto por vários módulos que se intercomunicam a todo instante através de trocas e/ou atualizações de informações funcionais que estão sendo (ou foram) armazenadas, adicionadas, (re)modificadas ou excluídas. Os módulos visíveis do SPLN no SISFCO (AL) são o: (i) módulo do editor de sentenças funcionais que aparece no quadro do lado esquerdo da Figura 6-6 que corresponde ao módulo de processamento do discurso do SPLN; (ii) módulo das classes de *Frames* que aparece no quadro central da Figura 6-6 e que corresponde a uma das etapas do processamento semântico do SPLN; (iii) módulo de gerenciamento das imagens de peça e árvore de *features* de peça do SISFCO (AL) que podem ser visualizados quando se seleciona o nome cadastrado da peça (cf. na Figura 6-3) e que corresponde ao módulo de processamento pragmático do SPLN; (iv) módulo do modelo do usuário que aparece no quadro do lado esquerdo da Figura 6-6 e que corresponde ao conjunto de todas as árvores de sentenças funcionais de peça. Os módulos invisíveis do SPLN são: (i) módulo do léxico que no SISFCO (AL) é realizado pelo léxico do sistema CoGrOO; (ii) módulo da gramática que também é executado pelo sistema CoGrOO; (iii) módulo de análise de estruturas sintáticas funcionais que é executado pelo *pacote Estruturas sintáticas funcionais*; (iv) módulo do SGBDOO que corresponde ao repositório de todos os *slots* dos *Frames* de sentenças funcionais de todas as árvores de funções formalizadas.

(3) **SGBDOO:** é quem armazena todo o conhecimento funcional formalizado pelos projetistas nos *Frames* em tempo de execução. Porém, os sistemas de gerenciamento de banco de dados orientados a objeto exigem uma linguagem de programação também orientada a objetos. Como o SISFCO (AL) foi implementado em Java<sup>TM</sup>, linguagem de programação orientada a objeto, a dificuldade foi encontrar um SGBDOO não proprietário, i.é, livre. Assim, a SBDOO escolhido nesta pesquisa para garantir efetivamente o (re)uso do conhecimento funcional formalizado pelo SISFCO (AL) foi o *DB4Object* (consultar Apêndice

D). Ao contrário dos sistemas de gerenciamentos de bancos de dados relacionais (SGBDR) que organizam os dados e seus valores correspondentes em tabela, o SGBDOO *DB4Object* (consulte Apêndice C) permite que o desenvolvedor de sistemas computacionais especifique tanto a estrutura em árvores, classes *JTree* da linguagem de programação Java<sup>TM</sup> (<http://java.sun.com/>), que é complexa, quanto as operações possíveis de serem realizadas com uma estrutura especificada.

### **6.3.1 Editor textual de sentenças funcionais de peça do SISFCO (AL)**

No SISFCO (AL), a determinação da estrutura de sentenças funcionais de uma peça é realizada a partir das seguintes etapas: (i) criar um modelo de peça; (ii) definir uma função global desejada para a peça; (iii) decompor a função global da peça em subfunções de funções parciais da peça, e estas em subfunções de funções elementares de peça – como demonstrado na Figura 6-7.

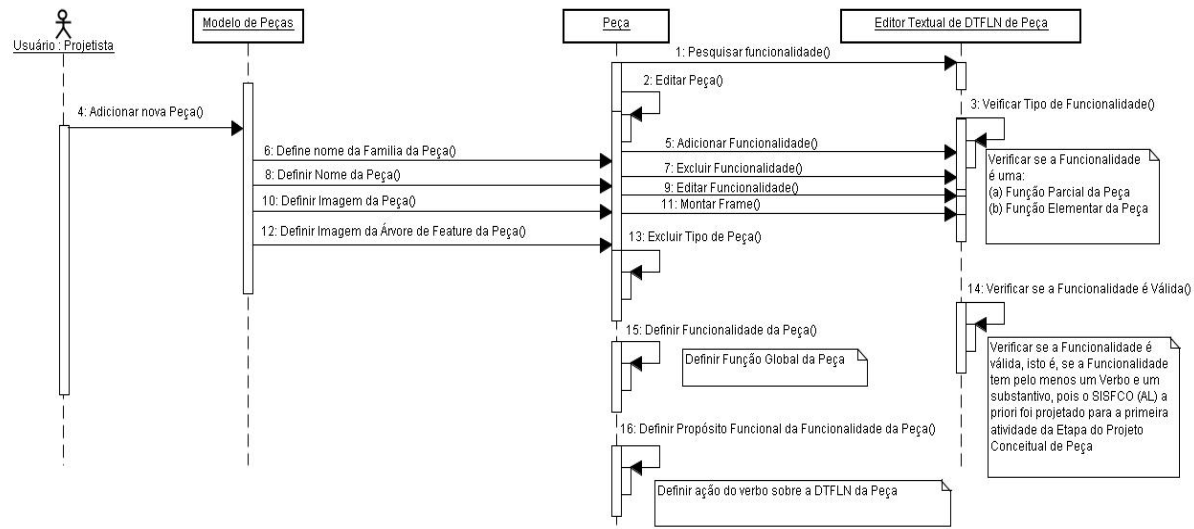


Figura 6-7: Diagrama de seqüência do editor textual de sentenças funcionais de peça do SISFCO (AL)<sup>2</sup>

Na primeira tarefa, conforme mostrado na Figura 6-6, o projetista deve definir o modelo de peça, i.é, ele deve: (i) definir o nome da família da peça; (ii) definir o nome da peça; (iii) definir uma imagem para a peça; (iv) definir a imagem da árvore de *features* da peça.

Na definição da função global de peça, o SISFCO (AL) proporciona um serviço onde o projetista pode pesquisar por uma funcionalidade, ou uma idéia, ou conceito funcional, descrito em outras sentenças funcionais, ou propósitos funcionais, para a função global da peça em tela. Ao pesquisar por uma sentença funcional, ou propósito funcional, o projetista, também, pode editar uma funcionalidade desejada para (re)modificá-la, (re)usá-la ou excluí-la ou ele pode adicionar, ou definir, uma nova sentença funcional. Esse procedimento de pesquisa, modificação ou adição de funcionalidade é repetido para a definição das funções parciais e funções elementares da estrutura de sentenças funcionais de peça.

Após a definição da função global e de cada uma das funções parciais e elementares é necessário checar se cada uma destas funções possui pelo menos dois constituintes básicos: (i) um verbo; (ii) um substantivo abstrato/concreto simples/composto ou uma estrutura sintática funcional. Em caso negativo a sentença funcional é invalidada pelo editor de funções de peça, caso contrário, ela é validada e será usada para estruturar a árvore de funções da peça.

### 6.3.2 SPLN de sentenças funcionais de peça do SISFCO (AL)

Para formalizar o conhecimento funcional incluído em uma sentença funcional, é necessário o cumprimento de quatro tarefas básicas: (i) montar/determinar um *Frame*; (ii) analisar a sentença funcional com o sistema CoGrOO; (iii) pós-processar os constituintes da sentença funcional; (iv) organizar as sintaxes das ubIFs, analisadas pelo SPLN, juntamente com seus respectivos *slots* para valoração semântica, pelos projetistas, no *Frame* da sentença funcional – como mostrado no diagrama de seqüência da Figura 6-8.

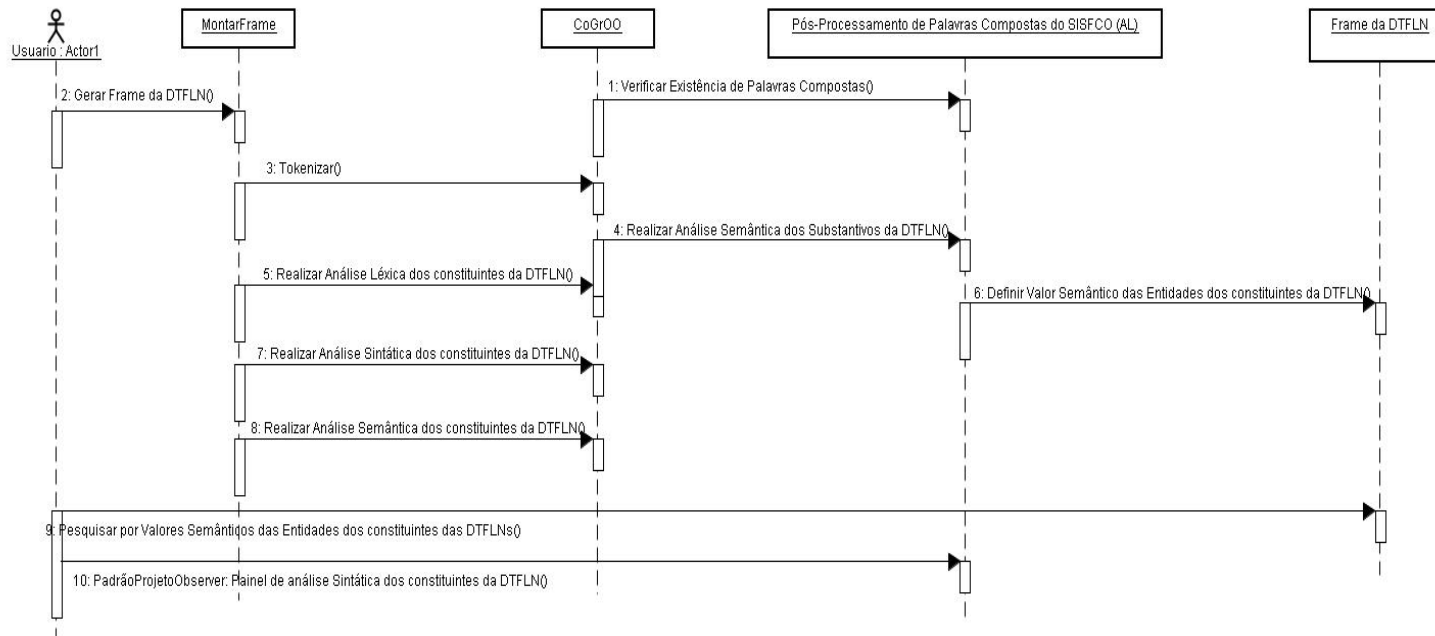


Figura 6-8: Diagrama de seqüências do *SPLN*, do SISFCO (AL), utilizado na montagem dos *Frames* das sentenças funcionais descritas textualmente pelos projetistas durante a modelagem funcional de peça<sup>2</sup>



Na primeira tarefa, a montagem do *Frame* é realizada provisoriamente pelo resultado da análise com o uso do sistema CoGrOO. No primeiro momento, o sistema CoGrOO segmenta a sentença funcional em palavras (*tokeniza* a sentença funcional em cadeias de *strings* ou caracteres). Na segunda tarefa, o sistema CoGrOO realiza as análises léxica, sintática e semântica dos constituintes da sentença funcional. As análises léxica, sintática e semântica têm como objetivo a determinação e verificação da categoria gramatical, em relação a gramática da língua portuguesa do Brasil, de cada constituintes da sentença funcional. Na terceira tarefa, esse primeiro resultado das análises realizada pelo sistema CoGrOO é pós-processado pelo analisador semântico do SISFCO (AL) para verificar a existência de estruturas sintáticas funcionais, através da análise baseada na proposta da estruturação das características semânticas dos substantivos proposta nesta tese – ver Figura 5-7 da secção 5.5, do capítulo 5. Finalmente, na quarta tarefa, a análise comportamental é realizada para definir a estrutura final do *Frame* da sentença funcional que será instanciada pelo SISFCO (AL) para que o projetista possa finalmente formalizar o seu conhecimento funcional idiossincrático (ver Glossário).

Depois que o projetista formalizar o conhecimento funcional explícito/implícito nos constituintes da sentença funcional através da sua valoração semântica esses valores semânticos são analisados pelo  $G(I_C, V_G, I_Z)$ . No primeiro momento, o  $G(I_C, V_G, I_Z)$  verifica se todos os constituintes foram valorados. Se o *Frame* não for preenchido completamente o  $G(I_C, V_G, I_Z)$  invalida o *Frame*. . Em seguida, o  $G(I_C, V_G, I_Z)$  checa se os valores semânticos são válidos, através da verificação sintaxe-semântica das descrições textuais do projetista pelo sistema CoGrOO. O  $G(I_C, V_G, I_Z)$  não validará o *Frame* enquanto os valores semânticos descritos pelo projetista não forem validado por ele. Finalmente, o  $G(I_C, V_G, I_Z)$  ranqueia os *Frames* do SGBDOO utilizando como métrica o:

- (1) Tamanho dos valores semânticos das descrições textuais do projetista;
- (2) Quantidade de entidades básicas utilizadas pelo projetista na formalização do conhecimento funcional incluído na sentença funcional;
- (3) Tamanho total do *Frame*, a partir dos dois itens anteriores.

No SPLN do SISFCO (AL), a análise do discurso é proporcionada pelas formas como o projetista descrevem, e valoram semanticamente, os constituintes da sentença funcional nas diversas formas de organizar as árvores da peça, tais como, as árvores de funções descritas anteriormente na análise do discurso da explanação da arquitetura geral do SPLN do SISFCO (AL) da Figura 6-4.

No SPLN do SISFCO (AL), a análise pragmática é baseada nas atividades dos atos de fala (SEARLE, 2002). A idéia das atividades dos atos de fala é verificar a relação de uso de sintaxes e semânticas de determinadas descrições textuais utilizadas nas sentenças funcionais, levando-se em conta o domínio do contexto da aplicação e o ponto de vista funcional, pelos projetistas.

Porém, antes desta tese, faltavam metodologias baseadas na abordagem lingüística para as pesquisas com as atividades dos atos de fala (SEARLE, 2002) nas metodologias de projeto. Agora, com o modelo de função baseado na abordagem lingüística, há a necessidade de estudos sobre o modo como os projetistas:

(1) Significam a meta da intenção de projeto através do uso de determinados verbos sob a sentença funcional – **atos ilocutórios**;

(2) Enunciam e valoram as significações dos constituintes, ou estrutura gramatical, das sentenças funcionais – **atos locutórios**;

(3) Obtém determinados efeitos (in)desejados quando utilizam determinados constituintes, ou estrutura gramatical, na sentença funcional – **atos perlocutórios**.

Neste trabalho de pesquisa, uma das metas do SISFCO (AL) foi utilizar a análise pragmática como uma técnica de captura e armazenamento em *Frames* da:

(a) *Meta da intenção de projeto*: que nesta tese é dada pelo conhecimento teleológico. Conhecimento este que é significado pela ação do verbo sobre a própria sentença funcional. No SISFCO (AL), o conhecimento teleológico deve ser expresso pelo: (i) uso dos propósitos funcionais disponibilizados no próprio sistema – cf. Figura 6-2; (ii) uma resposta mais direta do projetista no *Frame*, onde ele pode explicar com as próprias palavras sua intenção de projeto. Este item corresponde as duas sentenças relacionadas a primeira pasta da Figura 6-9;

(b) *Significações dos constituintes, e estruturas gramáticas, das sentenças funcionais*: que nesta tese é dada pelos métodos de análise sintática dos constituintes e análise comportamental da estrutura gramatical da sentença funcional. A análise sintática é importante porque determina os constituintes que representam os aspectos mais críticos da estrutura física da peça. Enquanto, a análise comportamental complementa a análise sintática através da verificação da existência das estruturas sintáticas funcionais críticas para estruturação final do *Frame*, correspondente a estrutura gramatical da sentença funcional. Este item corresponde às três pastas subseqüentes da Figura 6-9, com todos os seus subitens;

(c) *Efeitos (in)desejados através do uso de determinados constituintes, ou estrutura gramatical, na sentença funcional*: que nesta tese são dados pela relação sintático-semântica, através do uso das entidades básicas sugeridas pelo SISFCO (AL) (ULLMAN, 1992,

adaptado). Este item corresponde a quantidade de entidades básicas do SISFCO (AL) utilizadas e a quantidade de entidades básicas criadas pelo projetista para formalizar o conhecimento funcional incluído na sentença funcional e que na Figura 6-9, corresponde aos subitens do substantivo “pistão”. Observa-se que algumas entidades básicas possuem apenas dois níveis, enquanto outras possuem três níveis estruturais. Por exemplo, na (a) entidade básica “*Processo Causal.Efeito Físico.Força*” há três níveis estruturais correspondentes a: (i) primeiro nível: entidade Processo Causal; (ii) segundo nível: Efeito Físico; (iii) terceiro nível: Força (cf. na Figura 6-9).

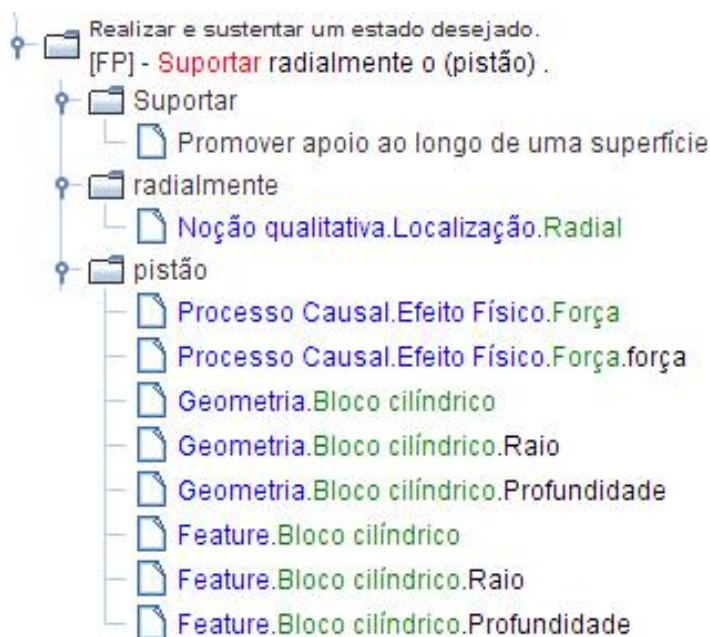


Figura 6-9: Exemplo de um *Frame*<sup>3</sup>, com suas: (i) meta da intenção de projeto; (ii) significações dos constituintes, e estrutura gramatical, da sentença funcional; (iii) efeitos (in)desejados pelos projetistas

A análise pragmática, através das atividades dos atos de fala (SEARLE, 2002), propõe uma nova orientação (linha de investigação) para a superação das pesquisas baseadas apenas na padronização de sentença funcional ou na organização de vocabulário controlado. Desse modo, a análise pragmática pode auxiliar as pesquisas em metodologia de projeto que objetivam a organização de taxonomias, ou ontologias (ver Glossário), através da estruturação de redes semânticas de verbos e de outros constituintes (como, por exemplo, a estruturação semântica dos substantivos proposta nesta tese e que está sistematizada na Figura 5-7 da secção 5.5 do Capítulo 5).

Para verificar a importância dessa nova linha de investigação, proposta nesta tese, através da busca das significações dadas pelos **atos ilocutórios**, **atos locutórios** e **atos perlocutórios**, iniciou-se um projeto de desenvolvimento e implementação de um sistema orientado pelo

modelo de função baseado na abordagem lingüística para *web* com objetivo de disponibilizar uma ferramenta de suporte ao ensino de metodologia de projeto para o curso de Engenharia Mecânica e Robótica, bem como por cursos de pós-graduação, recém criados pelo CEFETAM.

### 6.3.3 Classes de *Frames* para formalizar conhecimento funcional do SISFCO (AL)

A necessidade de uma classe de *Frames* deriva das diversas estruturas gramaticais utilizadas pelos projetistas na descrição textual de função em linguagem natural – conforme análise do Capítulo 4. Nesse sentido, o modelo de função baseado na abordagem lingüística suporta a estruturação gramatical de qualquer sentença funcional.

Neste trabalho, entretanto, o foco é a primeira atividade de análise da etapa do projeto conceitual de peça. Sendo assim, as estruturas analisadas precisam ter pelos menos dois constituintes: (i) verbo; (ii) substantivo concreto/abstrato simples/composto ou uma estrutura sintática funcional (ver Glossário). Observa-se que essa estrutura mínima formada por dois constituintes não sugere a padronização da estrutura gramatical da sentença funcional. Ao contrário, a necessidade da estrutura mínima decorre do fato do grau de incompletude, vagueza e incerteza,  $G(I_C, V_G, I_Z)$ , na metodologia de projeto de peça, ser mais concreto do que o  $G(I_C, V_G, I_Z)$  na metodologia de projeto de produto, que é mais abstrato. Alguns exemplos de estruturas gramaticais encontradas no projeto de peça são mostrados na Figura 6-10.

Alguns exemplos de sentenças funcionais com variação da quantificação semântica dos constituintes relevantes e qualificação semântica das entidades básicas/adicionadas por constituintes são mostradas, de modo resumido, na Tabela 6-1.

Tabela 6-1: Exemplo da variação da quantificação-qualificação semântica dos constituintes relevantes e entidades básicas/adicionadas de alguns tipos de sentenças funcionais

Sentença funcional da Figura	Quantificação semântica de constituintes relevantes	Qualificação semântica das entidades básicas/adicionadas por constituinte
6-10	Três	Oito/Nenhuma
6-11	Dois	Treze/Nenhum
6-12	Três	Oito/Nenhuma
6-13	Quatro	Oito/Nenhuma

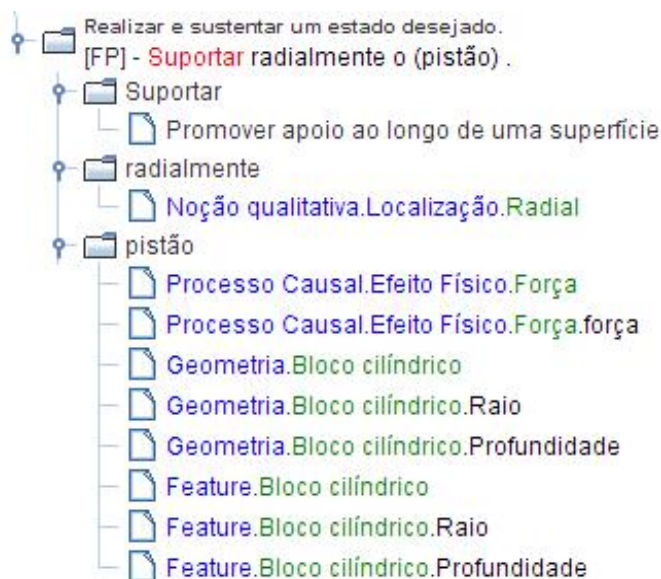


Figura 6-10 – *Frame* da sentença funcioanl “Suportar radiamente o pistão”

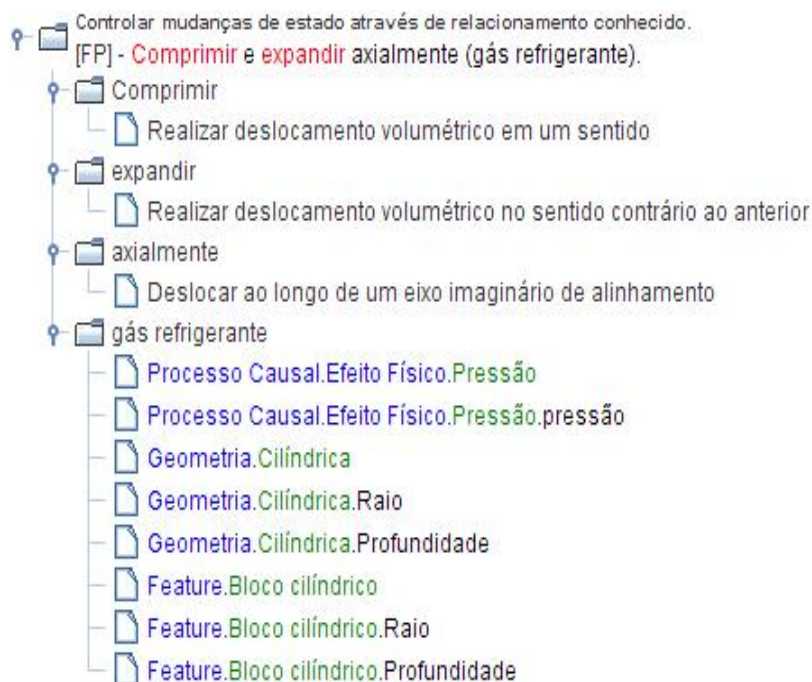


Figura 6-11 – *Frame* da sentença funcioanl “Comprimir e expandir axialmene gás refrigerante”

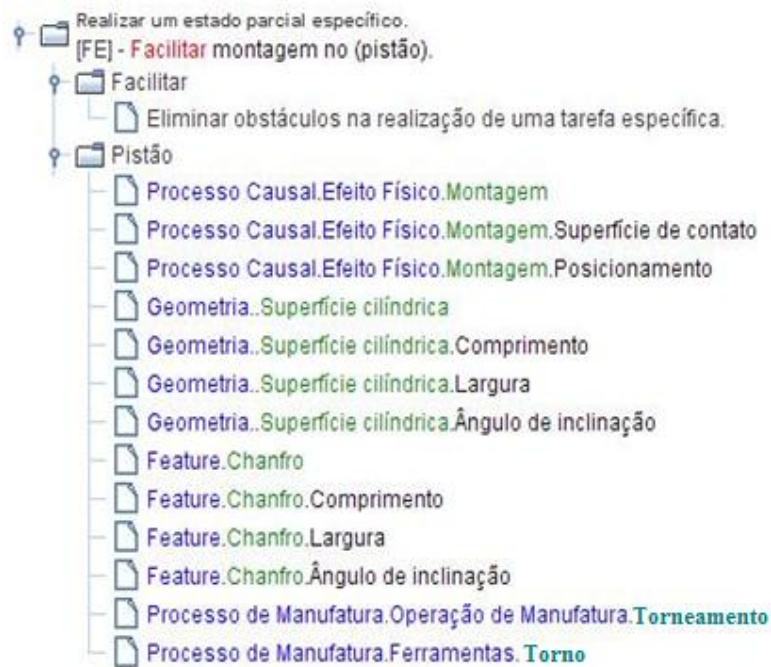


Figura 6-12 – Frame da sentença funcioanl “Facilitar montagem no pistão”

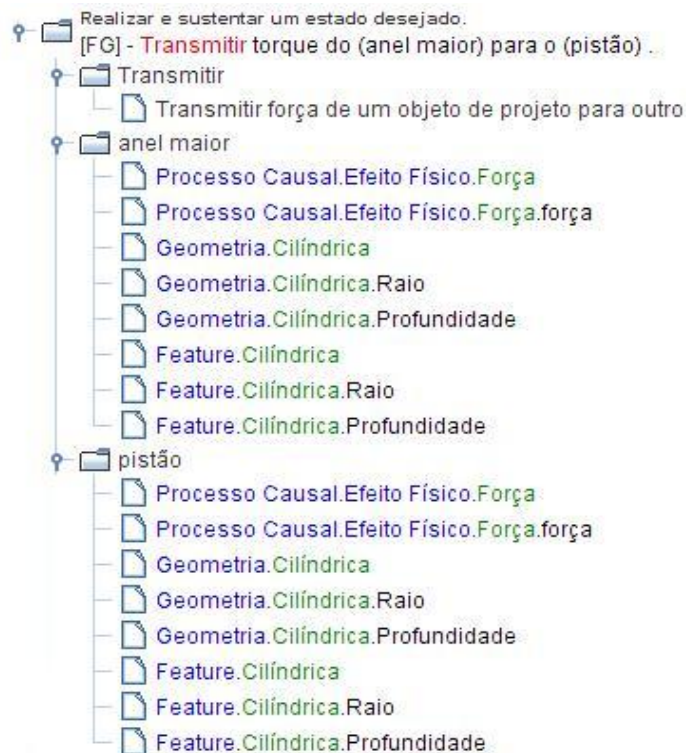


Figura 6-13 – Frame da sentença funcioanl “Transmitir torque do anel maior para o pistão”

### 6.3.4 SGBDOO do SISFCO (AL)

O SGBDOO do SISFCO (AL) é o DB4Object. Como o SISFCO (AL) foi desenvolvido em Java, tornou-se fácil escolher o DB4Object que também é orientada a objeto e foi totalmente desenvolvido na linguagem Java. Assim, ao contrário dos bancos de dados relacionais onde as informações são armazenadas em uma tabela, filas (registros) e campos, isto é, referenciado por uma linha e uma coluna, no DB4Object as informações são apenas objetos e só precisam ser invocados por um método.

Outro motivo decisivo na escolha do DB4Object foi o tipo de estrutura de dados que o SISFCO (AL) trabalha: as árvores de *strings*, cadeia de caracteres, como, por exemplo, as árvores de descrições textuais de função em linguagem natural de peça. Nesse sentido, o grau de complexidade do desenvolvimento de uma estrutura de dados em um banco de dados relacional para tratar as árvores de sentença funcional de peça seria alto, com custo computacional também muito alto, pois isso implicaria uma demanda de tempo também muito maior. Portanto, seria inviável implementar a estrutura de dados do SISFCO (AL) em um banco de dados relacional. De acordo com o site do DB4Object ([www.db4o.com](http://www.db4o.com)), este bando roda quarenta e quatro vezes mais rápido que os modelos de dados baseados do tipo orientado a objeto – relacional, como, e.g., o sistema de gerenciamento de banco de dados orientado a objeto-relacional “*Hibernate com MySQL*”.

A tarefa de armazenar e recuperar informações depende do tipo de estrutura de dados necessária e do método escolhido para o armazenamento e recuperação das informações em tempo de execução. Assim, e.g., no:

(a) *SGBDR* – Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Relacional, os dados são armazenados em tabelas, filas (registro) ou campos. Nesses sistemas os dados devem manter uma relação coerente entre linhas, colunas, campos ou registro impostos pela base de dados;

(b) *SGBDRO* – Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Relacional – orientado a objeto ou vice-versa. Estes sistemas mapeiam os objetos dos registros das tabelas em classe de registros. Assim, é possível converter os dados das tabelas em classes, objetos em registros (ou fila) da base de dados e atributos em colunas da mesma tabela;

(c) *SGBDOO* – Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Orientado a Objeto. Nesses sistemas os objetos são armazenados diretamente em alguma área de armazenamento sem o uso de registros, campos ou tabelas. Esse tipo de armazenamento é mais transparente por oferecer maior flexibilidade antes das possíveis trocas de dados. Assim, os dados coexistem com os objetos.

O SISFCO (AL) trabalha com estruturas de sentença funcional de peças com suas funções globais, funções parciais e elementares e os seus, respectivos, propósitos funcionais. Além disso, a exceção do verbo e advérbio, cada funcionalidade (função global, parcial ou elementar) possui pelo menos um constituinte denominado de substantivo abstrato/concreto simples/composto que é definido por pelo menos mais três outras árvores de valores semânticos de atributos. Isso significa que a estrutura de dados necessária para o SISFCO (AL) é uma estrutura de árvores de árvores – como ilustrado na Figura 6-14. Logo, o grau de complexidade para a estrutura de dados dos SISFCO (AL) é bastante alto, tornando o uso de SGBDR e SGBDRO inviáveis.

A Figura 6-14 ilustra a estrutura de informação de uma simples funcionalidade de peça. Porém, o SGBD precisa organizar uma estrutura de informações suficientemente robusta e em tempo de execução para possibilitar o (re)uso de uma, ou de um conjunto de ubIFs já formalizadas na estrutura de funções da peça.

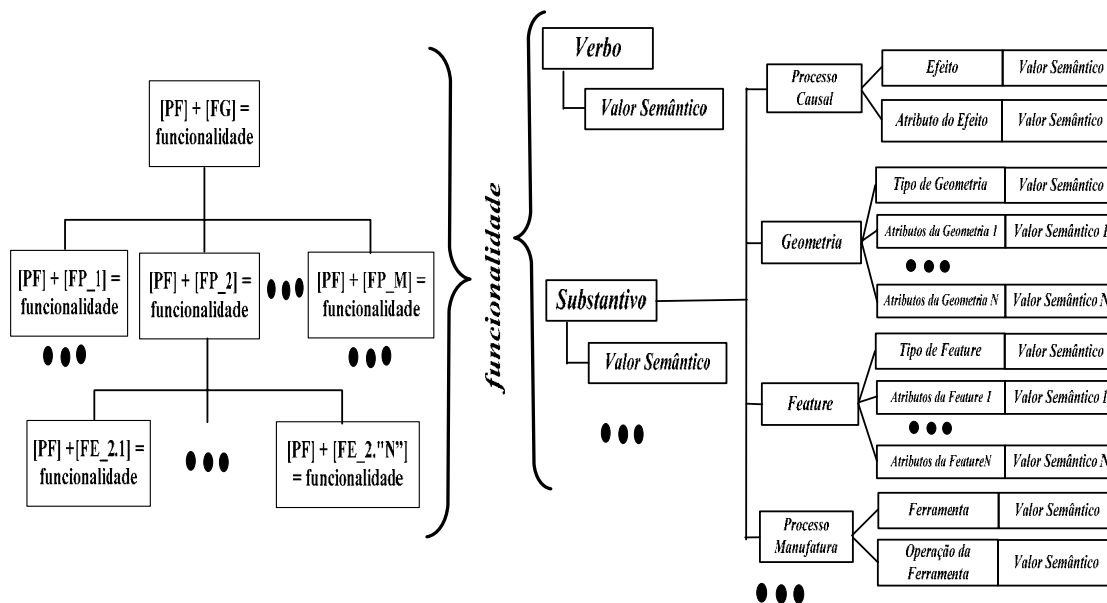


Figura 6-14: Complexidade da estrutura de dados das árvores de funcionalidades das peças em relação à estrutura de ubIFs necessária a implementação do SGBD<sup>2</sup>

Mais informações sobre o DB4Objecto pode ser encontrada no Apêndice C.

#### 6.4 RELATÓRIOS POSSÍVEIS DE SEREM GERADOS COM O SISFCO (AL)

Com o SISFCO (AL) é possível gerar alguns tipos de relatórios para a realização das análises posteriores sobre o conhecimento funcional que é incluído nas sentenças funcionais



na árvore de funções da peça formalizados pelo projetista. Por exemplo, o relatório da:

- (1) Árvore de funções e propósitos funcionais da peça (cf. Figura 6-15);

A Árvore de sentenças funcionais e propósitos funcionais da peça são importantes na análise do uso dos propósitos funcionais e verbos funcionais nos três níveis funcionais da estrutura de funções da peça. Porém, o conhecimento funcional implícito em cada sentença funcional da estrutura de funções da peça ainda não está formalizado.

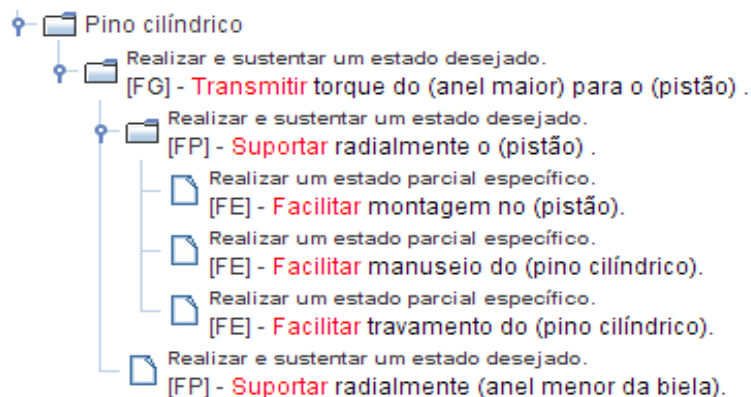


Figura 6-15: Árvore de funções e propósitos funcionais da peça *pino cilíndrico*<sup>3</sup>

- (2) Árvore de funções, propósitos funcionais e a ação do verbo sobre a sentença funcional da peça (cf. Figura 6-16);

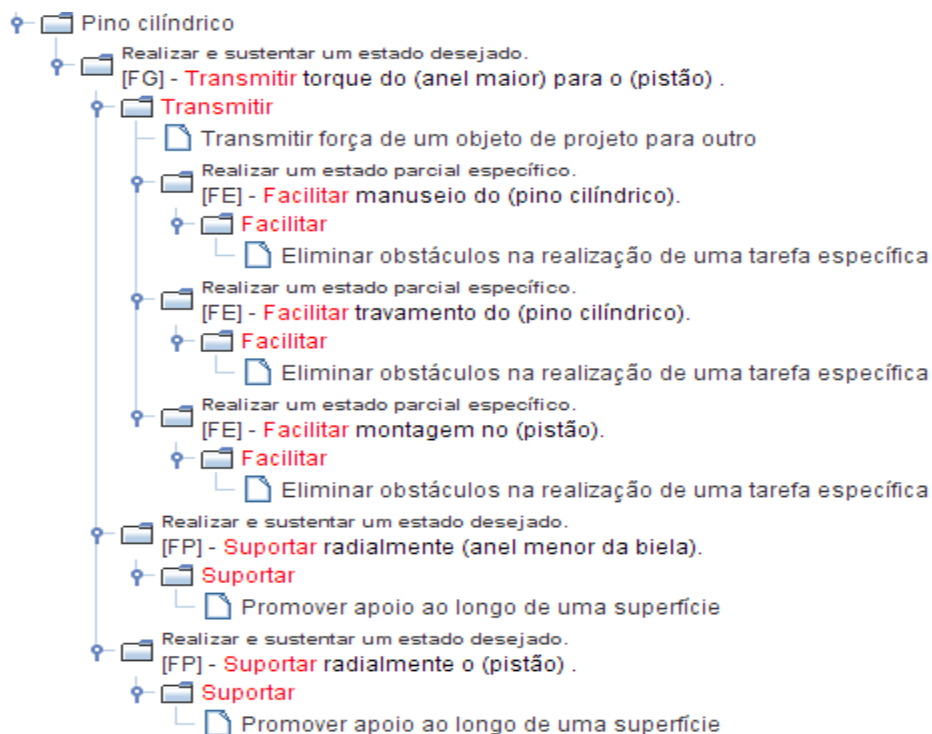


Figura 6-16: Árvore de funções, propósitos funcionais e ação do verbo sobre a sentença funcional da peça *pino cilíndrico*<sup>3</sup>

Na Figura 6-16, a Árvore de sentença funcional, propósitos funcionais e ação do verbo sobre a funcionalidade desejada da peça é importante na análise do uso dos propósitos funcionais, verbos funcionais e, principalmente, na comparação entre as metas com finalidades gerais escolhidas e os objetivos estabelecidos para os verbos funcionais das funcionalidades nos três níveis funcionais da estrutura de funções da peça. Também, nessa segunda estrutura funcional da peça o conhecimento funcional implícito em cada sentença funcional da estrutura funcional da peça não está ainda formalizada.

(3) Árvore de funções, propósitos funcionais, processos causais (baseada em efeito físico, químico ou biológico) e geometrias das sentenças funcionais da peça (cf Figura 6-17);

A árvore de sentença funcional, propósitos funcionais, processos causais (baseado em efeito físico, químico ou biológico) e geometrias dos detalhes geométricos da peça é importante na análise do uso dos propósitos funcionais, verbos funcionais e as relações entre o processo causal e geometria pensados para cada detalhe geométrico das funcionalidades nos três níveis funcionais da estrutura de funções da peça. Nesse tipo de estrutura de funções, já existe conhecimento funcional da sentença funcional formalizado e que está disponível para (re)uso efetivo no SISFCO (AL).

(4) Árvore de funções, propósitos funcionais, processos causais (baseada em efeito físico, químico ou biológico) e *feature* das sentenças funcionais da peça (cf. Figura 6-18).

Nesse tipo de árvore de funções de peça, necessita-se também analisar os propósitos funcionais selecionados, os verbos funcionais trabalhados e, principalmente, as relações entre os processos causais (baseados em efeitos físicos) e os tipos de *features* determinados para cada detalhe geométrico das funcionalidades nos três níveis funcionais da estrutura de funções da peça. Nesse tipo de estrutura de funções, também, já há conhecimento funcional da sentença funcional formalizado e que está disponível para (re)uso efetivo no SISFCO (AL).

(5) Árvore de *Frames* da peça (cf. Figura 6-19).

Na árvore de *Frames* da peça, o projetista tem a possibilidade de formalizar todo o conhecimento funcional pensado na modelagem funcional das estruturas geométricas imaginadas para a estrutura física da peça. Por padrão, o SISFCO (AL) disponibiliza um conjunto de entidades relacionadas aos atributos gerais e específicos (FONSECA, 2000) como: processos causais baseado em efeitos físicos, químicos ou biológicos e seus atributos; tipo de geometria e seus atributos; tipo de *feature* e seus atributos e tipo de processo de manufatura e seus atributos. Contudo, o projetista pode adicionar outras entidades como, por exemplo, tipo de material e seus atributos, caso haja necessidade.



Figura 6-17: Árvore de funções, propósitos funcionais, processos causais (baseada em efeito físico, químico ou biológico) e geometrias das sentença funcionais da peça *pino cilíndrico*<sup>3</sup>



Figura 6-18: Árvore de funções, propósitos funcionais, processos causais (baseada em efeito físico, químico ou biológico) e *feature* das sentenças funcionais da peça *pino cilíndrico*<sup>3</sup>



Figura 6-19: Árvore de Frames da peça pino cilíndrico<sup>3</sup>

## 6.5 TIPOS DE CONHECIMENTO IMPLÍCITOS EM UMA SENTENÇA FUNCIONAL

As Figuras 6-17 a 6-19 são exemplos de árvores de *Frames* de sentenças funcionais de peça com conhecimento funcional formalizado pelo SISFCO (AL). Nos *Frames* dessas estruturas de *Frames* de funcionalidades de peça há vários tipos de conhecimento, tais como: (i) conceitos funcionais<sup>4</sup>; (ii) conhecimento teleológico<sup>4</sup>; (iii) conhecimento comportamental<sup>4</sup>; (iv) conhecimento funcional<sup>4</sup>. Além desses conhecimentos há ainda o conceito de ponto de vista funcional<sup>4</sup>.

Por exemplo, no *Frame* da sentença funcional de peça “Suportar radialmente anel menor” o conhecimento funcional formalizado pelo projetista pode ser subdividido nos seguintes tipos de conhecimentos implícitos em uma sentença funcional.

(1) Conceito funcional: que é estruturado pelo conjunto de valores semânticos do conhecimento funcional formalizado pelo projetista – como demonstrando na Figura 6-20;



Figura 6-20: Estruturação do conceito funcional a partir do *Frame* da sentença funcional “Suportar radialmente anel menor”

(2) Conhecimento teleológico: é estruturado pelo valor semântico da intenção de projeto contida em um dos propósitos funcionais disponibilizados no SISFCO (AL): (i) *ToMake*; (ii) *ToMaintain*; (iii) *ToPrevent*; (iv) *ToControl*; (v) *ToEnable*; (vi) *ToStructure* – como demonstrando na Figura 6-21;

<sup>4</sup> Ver Glossário

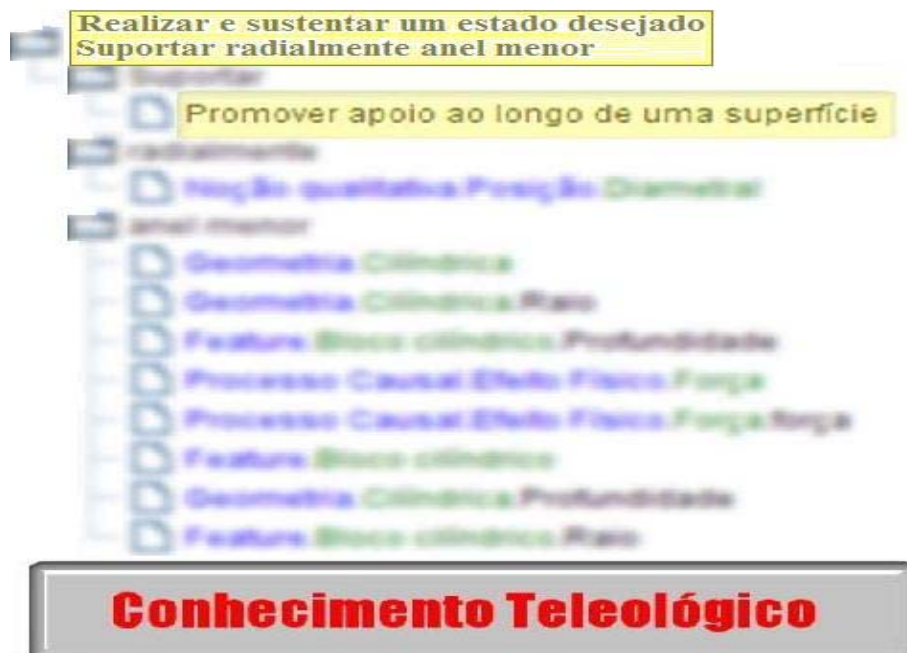


Figura 6-21: Estruturação do conhecimento teleológico do *Frame* da sentença funcional “Suportar radialmente anel menor”

(3) Conhecimento comportamental: é estruturado somente pelos valores semânticos de todas as entidades básicas e adicionadas pelo projetista, com exceção dos valores semânticos do conhecimento teleológico – como demonstrando na Figura 6-22;

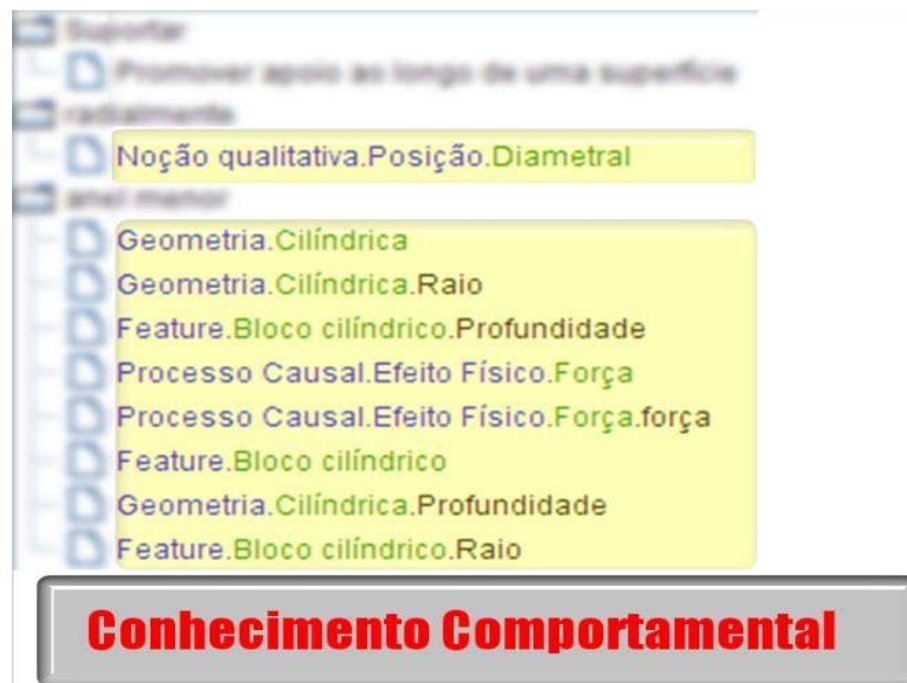


Figura 6-22: Estruturação do conhecimento comportamental do *Frame* da sentença funcional “Suportar radialmente anel menor”

(4) Conhecimento funcional: é formado por todas as sintaxes que definem os constituintes de uma sentença funcional mais os valores semânticos de todas: (i) entidades básicas disponibilizadas pelo SISFCO (AL); (ii) entidades adicionadas pelos projetistas, e.g., ubIFs sobre material e suas propriedades.

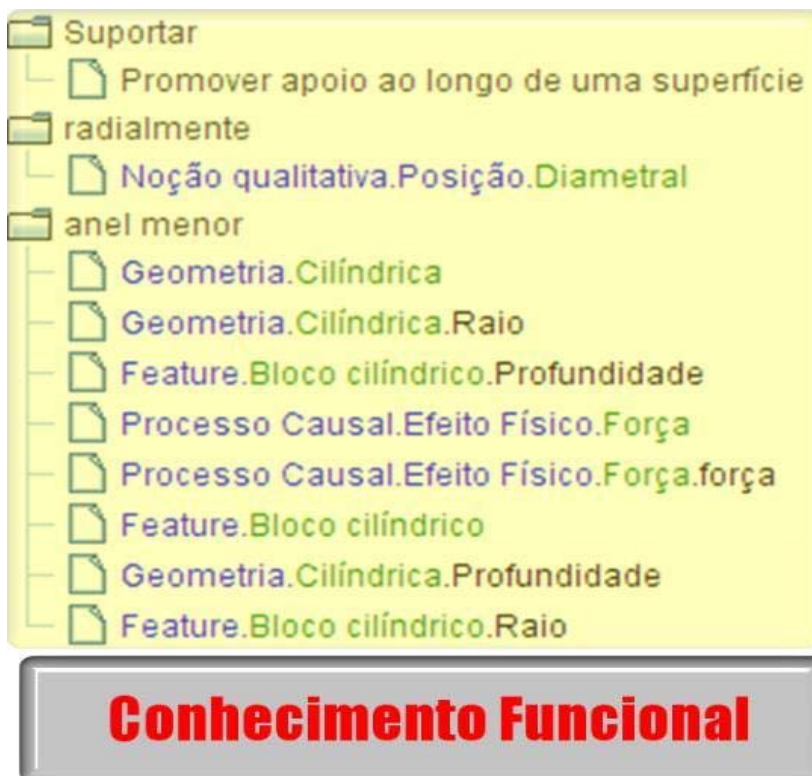


Figura 6-23: Estruturação do conhecimento funcional do *Frame* da sentença funcional “Suportar radialmente anel menor”

## 6.6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste Capítulo, analisou-se a implementação do sistema orientado por um modelo de função baseado na abordagem lingüística, denominado nesta tese de SISFCO (AL). O *kernel* do SISFCO (AL) é o modelo de função baseado na abordagem lingüística. Centralizar o SISFCO (AL) no modelo de função proposto implicou na implementação das principais características do modelo de função baseado na: (i) abordagem funcional, implementado através do módulo editor de sentenças funcionais de peça; (ii) abordagem lingüística implementado através do módulo do SPLN; (iii) abordagem comportamental implementado através do inter-relacionamento entre o SPLN, sistema CoCrOO e sistemas de classes de *Frames*. Essas características tornam o modelo de função baseado na abordagem lingüística,



em relação aos modelos de função até agora proposto nas metodologias de projeto, único e singular. O modelo de função baseado na abordagem lingüística é: (i) único porque é o primeiro modelo de função que combina três abordagens distintas para promover o tratamento das descrições textuais de função em linguagem natural; (ii) singular porque é o único modelo de função que define e inter-relaciona os vários tipos de conhecimento incluídos em uma sentença funcional.

Constatou-se que o SISFCO (AL) também é único e singular, pois implementa com sucesso os módulos que promovem a simulação das abordagens funcional, comportamental e lingüística. Verificou-se que uma consequência imediata da implementação das três abordagens no SISFCO (AL) foi a herança da centralidade dele na definição do conceito funcional advinda do modelo de função baseado na abordagem lingüística. Essa herança habilita o SISFCO (AL) a organizar, diferenciar e conceituar os três principais tipos de conhecimento na atividade de análise da etapa do projeto conceitual: (i) conhecimento teleológico; (ii) conhecimento comportamental; (iii) conhecimento funcional. Observou-se que a centralidade no conceito funcional auxilia o projetista a manter o ponto de vista funcional e domínio do contexto de aplicação durante a formalização do conhecimento funcional que está incluído na sentença funcional. Também, a centralidade do modelo de função proposto e SISFCO (AL) no conceito funcional foram pontuais na determinação da metáfora do projeto, desenvolvimento e implementação do SISFCO (AL): “**(re)uso efetivo de conhecimento funcional**”.

Além disso, o modelo de função baseado na abordagem lingüística é o primeiro a utilizar a abordagem lingüística, i.é, métodos baseados na gramática normativa da língua oficial do Brasil para tratar o conhecimento funcional incluído em sentença funcional. Nesse sentido, no SISFCO (AL) o modelo de função baseado na abordagem lingüística é um elemento determinante na formalização de conhecimento funcional idiossincrático dos projetistas.

O SISFCO (AL) foi projetado para auxiliar os projetistas na formalização do conhecimento funcional que é incluído na sentença funcional durante a modelagem das funcionalidades dos detalhes geométricos da estrutura física da peça. Observa-se que o SISFCO (AL) constitui-se em uma ferramenta que possibilita a ampliação das capacidades cognitivas dos projetistas. A amplificação das capacidades cognitivas fica evidenciada quando um projetista realiza consulta sobre determinada: (i) funcionalidade; (ii) propósito funcional; (iii) árvore de sentenças funcionais de determinada peça; (iv) árvore de propósitos funcionais e funcionalidades de determinada peça; (v) árvore de *Frames* de funções de determinada peça; (vi) imagem de determinada peça; (vii) imagem de estrutura de *features* de determinada

peça. Assim, com um sistema orientado por um modelo de função baseado na abordagem lingüística o projetista não precisa sobrecarregar sua mente com armazenamento de grandes quantidades de informação ou estressar sua mente pesquisando por lembranças de algum aspecto funcional, de projeto, processo ou outro relacionado ao ciclo de vida da peça durante a modelagem das sentenças funcional relacionadas à estrutura física da peça.

Também, constatou-se uma série de vantagens na implementação do SISFCO (AL). Dentre elas pode-se citar o uso da: (i) linguagem de programação centrada na programação orientada a objeto (POO), código aberto e gratuita, a *Java<sup>TM</sup>*; (ii) ambiente de desenvolvimento integrado (*Integrated Development Environment – IDE*) baseado na POO, código aberto e gratuito, o *NETBEANS IDE 6.1*; (iii) SGBDOO baseado na POO, código aberto e gratuito, o *DB4Object*.

Uma limitação do SISFCO (AL) diz respeito a atual forma como o sistema valida a formalização do conhecimento funcional, que é baseado em estatística. A estatística foi utilizada, principalmente, para ranquear as sentenças funcionais a partir das ubIFs utilizadas pelos projetistas no preenchimento dos *Frames*. Outra proposta de validação da formalização de conhecimento funcional depende de pesquisas com SISFCO (AL) com diferentes domínios de contexto de aplicação. A necessidade de mais pesquisas com o SISFCO (AL) é para analisar as questões relacionadas ao: (i) atos ilocutórios; (ii) atos locutórios; (iii) atos perlocutórios. Reitera-se que, a análise pragmática pode auxiliar as pesquisas em metodologia de projeto que objetivam a organização de taxonomias, ou ontologias (ver Glossário), através da estruturação de redes semânticas de verbos e de outros constituintes (como, por exemplo, a estruturação semântica dos substantivos proposta nesta tese e que está sistematizada na Figura 5-7 da secção 5.5 do Capítulo 5).

Enfatiza-se que o SISFCO (AL) foi testado apenas com Engenheiros Mecânicos projetistas do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC. Nos testes, analisou-se somente as questões relacionadas à: (i) interação usuário *versus* interface; (ii) reusabilidade de ubIFs em tempo de execução pelo SGBDOO DB4Object; (iii) montabilidade das facetas e slots nos *Frames*, mas de acordo com a forma como os projetistas descreviam textualmente as funções em linguagem natural; (iv) necessidades de uso pelos projetistas das entidades básicas disponibilizadas pelo SISFCO (AL); (v) capacidade do SISFCO (AL) em suportar as entidades adicionadas pelos projetistas – apesar de se observar que a entidade básica comum adicionada pelos projetistas foi a relacionada ao material de peça.

## CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 7.1 INTRODUÇÃO

Reitera-se que este trabalho de pesquisa concentra-se na atividade de análise da etapa do projeto conceitual de peça. Nesta tese, entende-se que as questões de pesquisa posteriores a atividade de análise devem ser tratadas em trabalhos futuros, a *posteriori*, quando o modelo de função baseado na abordagem lingüística for utilizado em diferentes ambientes industriais.

Ressalta-se, ainda, que o esforço de pesquisa desta tese é, especificamente, a questão em aberto da “formalização do conhecimento funcional explícito/implícito em uma descrição textual de função em linguagem natural”. Portanto, o foco desta pesquisa pautou-se na compreensão do “por que” os modelos de função baseados apenas nas abordagens funcional e/ou comportamental não conseguem formalizar o conhecimento funcional incluído em uma descrição textual de função em linguagem natural. Para esclarecer essas questões foram necessários os seguintes procedimentos, conforme análises realizadas no Capítulo 4:

- (1) Organizar um *corpus* lingüístico de sentenças funcionais relacionadas ao projeto de produto e peça;
- (2) Analisar as descrições textuais de função do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais à luz dos atributos gerais e específicos de Fonseca (2000);
- (3) Desenvolver uma metodologia baseada na abordagem lingüística para analisar a sintaxe e semântica dos constituintes e estrutura gramatical das sentenças funcionais, em nível superficial e profundo;
- (4) Elaborar um esquema de representação de conhecimento para inventariar as informações funcionais sobre o conhecimento comportamental das interações geometrias (de projeto e processo) dos detalhes geométricos, ou *features*, da estrutura física da peça que são incluídas em uma sentença funcional;

O resultado mais importante e inédito desse trabalho de análise foi o desenvolvimento do modelo de função baseado na abordagem lingüística (cf. no Capítulo 5). O modelo de função proposto é uma contribuição, do esforço dessa pesquisa, para o avanço das linhas de pesquisas direcionadas para os sistemas de conhecimento aplicados às metodologias de projeto de

produto e peça. Além disso, o modelo de função proposto vem preencher a lacuna deixada pela:

(1) Falta de uma abordagem lingüística para se trabalhar, de modo genérico, com a própria maneira de se descrever textualmente função em linguagem natural;

(2) Falta de uma abordagem lingüística para inventariar o conhecimento funcional tácito e de projeto explícitos/implícitos nas sentenças funcionais;

(3) Falta de um modelo de função que explicitasse efetivamente a correlação entre os diversos tipos de conhecimento inclusos em uma sentença funcional, como, e.g.: (i) conhecimento teleológico; (ii) conhecimento comportamental; (iii) conceito funcional; (iv) conhecimento funcional;

(4) Falta de metodologias baseadas na abordagem lingüística para proporcionar o (re)uso, (re)modificação e exclusão efetivos de conhecimento funcional incluído em uma sentença funcional durante a modelagem funcional da estrutura física peça, para a análise das sentenças funcionais descritas textualmente em linguagem natural pelos projetistas;

(5) Falta de metodologias para evitar a modelagem funcional *ad hoc* de conhecimento funcional durante a atividade de análise da etapa do projeto conceitual de peça.

Para verificar se o modelo de função é computável, implementou-se um sistema computacional, denominado de SISFCO (AL). O SISFCO (AL) foi projetado para auxiliar o projetista na modelagem das funcionalidades da estrutura física de peça, i.é, na primeira tarefa da atividade da fase do projeto conceitual de peça. Porém, a etapa do projeto conceitual de peça dependente do conhecimento funcional organizado nas árvores de sentenças funcionais da fase do projeto conceitual de: (i) subsistemas; (ii) produto. Essa dependência é decorrente da forma como as informações funcionais sobre o problema de projeto e conhecimento funcional idiossincrático dos projetistas foram organizadas. Assim, qualquer modificação de informação funcional em uma camada metodológica reflete imediatamente nas outras camadas subseqüentes, e.g., uma alteração de informação funcional pode propagar-se entre as camadas metodológicas do: (i) produto para a peça; (ii) peça para o produto; (iii) subsistema para o produto e peça e vice-versa.

Portanto, o SISFCO (AL) precisava ter mecanismo de mudanças dinâmicas de informação funcional durante a modelagem das sentenças funcionais da estrutura física de peça. Por essa razão, o SISFCO (AL) precisou ser projetado, desenvolvido e implementado efetivamente sob o paradigma da programação orientado a objeto. Nesse sentido, a diferença entre a dinâmica da propagação da informação funcional no projeto de produto, subsistema e

peça e o SISFCO (AL) é que no projeto o conhecimento funcional gerado é perdido e/ou é difícil de ser formalizado, armazenar e (re)usar quando ocorre qualquer alteração na estrutura funcional do projeto de produto, subsistema e peça. Enquanto no SISFCO (AL), pode-se (re)usar, (re)modificar ou excluir efetivamente o conhecimento funcional formalizado, armazenado e/ou alterado, e em qualquer momento, das: (i) árvores de sentenças funcionais das peças já formalizadas; (ii) sentenças funcionais; (ii) constituintes de qualquer sentença funcional de peça formalizado.

Em seguida, são apresentados as principais conclusões e direcionamentos para trabalhos de pesquisas futuras.

## 7.2 CONCLUSÕES

Por ser orientado por um modelo de função baseado na abordagem lingüística, o SISFCO (AL) pode auxiliar o projetista na formalização dos vários tipos de conhecimento incluídos em uma descrição textual de função em linguagem natural. Além disso, o modelo de função baseado na abordagem lingüística habilita o SISFCO (AL) a realizar dois importantes tipos de análise: (i) análise sintática dos constituintes de uma sentença funcional; (ii) análise comportamental da estrutura gramatical de uma sentença funcional. Por esses motivos, o SISFCO (AL) possibilita a geração de alguns tipos de relatórios relacionados aos vários tipos de conhecimento formalizados e armazenados em um SGBDOO, tais como: (i) relatório da árvore de conhecimento teleológico das sentenças funcionais de peça; (ii) relatório da árvore de conhecimento funcional das sentenças funcionais de peça; (iii) relatório da árvore de conhecimento teleológico e processos causais (baseado em efeito físico, químico ou biológico) e geometrias das sentenças funcionais da peça.

Todavia, a estilística, os jargões, regionalismos e as próprias questões conceituais derivadas de conhecimento idiossincrático dos projetistas, utilizados quando descrevem textualmente uma funcionalidade durante a modelagem das sentenças funcionais de peça, constituem-se em objeto de pesquisa para trabalhos futuros e não foram tratados neste momento.

O SISFCO (AL) foi utilizado por alguns Engenheiros Mecânicos, pós-graduandos do programa de engenharia mecânica da UFSC, na modelagem de algumas peças do compressor alternativo da Embraco. Nesses testes, o SISFCO (AL) possibilitou a geração de cinco tipos de estruturas com o conhecimento funcional incluído nas sentenças funcionais formalizado parcial ou totalmente, mas sempre de acordo com o ponto de vista funcional do usuário e do

domínio do contexto de aplicação. Os cinco tipos de *Frames* com o conhecimento estruturado gerados pelo SISFCO (AL) são as:

(1) Estruturas de sentenças funcionais de peça composta somente com as sentenças funcionais e seus respectivos propósitos funcionais. Esse tipo de árvore de funcionalidades enfatiza apenas o conhecimento teleológico para os níveis da Função Global [FG], Funções Parciais [FP] e Funções Elementares [FE];

(a) Estruturas de sentenças funcionais de peça composta apenas com as sentenças funcionais e seus respectivos propósitos funcionais e o verbo com a justificativa da ação do verbo usado sobre a sentença funcional. Esse tipo de árvore de funcionalidades enfatiza apenas o conhecimento teleológico, porém, proporciona o estudo mais detalhado para os níveis da Função Global [FG], Funções Parciais [FP] e Funções Elementares [FE] a partir da;

(b) Significação da meta da intenção de projeto através dos ‘atos ilocutórios’;

(c) Enunciação e valoração das significações dos constituintes ou estrutura gramatical da sentença funcional através dos atos locutórios e

(d) Obtenção de determinados efeitos (in)desejados quando utilizam determinados constituintes ou estrutura gramatical de sentença funcional, ao invés de outros constituintes ou estrutura gramatical, através dos atos perlocutórios;

(2) Estruturas de sentenças de peça composta só com as sentenças funcionais e seus propósitos funcionais e seus processos causais e geometrias pensadas para as estruturas físicas da peça. Esse tipo de árvore de funcionalidades enfatiza apenas o conhecimento teleológico e o conhecimento comportamental baseado em geometria para os níveis da Função Global [FG], Funções Parciais [FP] e Funções Elementares [FE];

(3) Estruturas de sentenças funcionais de peça composta somente com as sentenças funcionais e seus propósitos funcionais e os seus processos causais e *features* pensadas para as estruturas físicas da peça. Esse tipo de árvore de funcionalidades enfatiza apenas o conhecimento teleológico e o conhecimento comportamental baseado em *features* para os níveis da Função Global [FG], Funções Parciais [FP] e Funções Elementares [FE] e

(4) Estruturas de sentenças funcionais de peça composta com todas as informações funcionais básicas proporcionadas pelo SISFCO (AL) e as adicionadas pelo usuário do sistema. Este conjunto de informações funcionais é organizado em um *Frame*. Este tipo de árvore de funcionalidades enfatiza a análise do conhecimento funcional e dos outros conhecimentos inter-relacionados como o conhecimento teleológico, conhecimento comportamental e conceito funcional para os níveis da Função Global [FG], Funções Parciais [FP] e Funções Elementares [FE].

### 7.3 DIRECIONAMENTOS PARA TRABALHOS FUTUROS

Inicialmente, o SISFCO (AL) foi pensado apenas para computadores de mesa (*desktop*). Porém, por ser funcionário do Instituto Federal de Educação Tecnológica do Amazonas – IFETAM – e devido à implantação, neste ano de 2009, do curso de Engenharia Mecânica e do já implantado curso de Robótica e, também, do curso de pós-graduação *stricto sensu* em Engenharia Mecânica há a necessidade de evoluir o SISFCO (AL) para a *Web* e, assim, proporcionar à sociedade amazonense e, principalmente, ao pólo industrial de Manaus (PIM) uma ferramenta de suporte ao ensino de metodologia de projeto de produto e peça.

#### 7.3.1 Necessidade de pesquisas com o modelo de função baseado na abordagem lingüística

O SISFCO (AL) foi pensado para um contexto geral da primeira atividade de análise da etapa do projeto conceitual de peça. Isso aconteceu devido a limitação do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais [apenas mil sentenças funcionais e muitas delas foram baseadas nos verbos funcionais disponibilizados por Fiod (1993) e Linhares (2005)] e, por esse motivo, só foi possível propor uma estrutura de características semânticas dos substantivos. Enquanto, os propósitos funcionais foram baseados em metas gerais e não em propósitos funcionais específicos de um domínio de aplicação. Devido a limitação do *corpus* lingüístico de sentenças funcionais, há a necessidade de mais pesquisas em um domínio específicos ou em outros para se conseguir um *corpus* lingüístico de sentenças funcionais mais robusto, algo em torno de pelo menos dez mil ou mais sentenças funcionais. O *corpus* lingüístico de sentenças funcionais robusto tem pelos menos dois principais objetivos:

- (a) Tipificação dos verbos,
- (b) Organização de um conjunto de propósitos funcionais baseados na tipificação dos verbos e
- (c) Propor uma métrica baseado em estatística para o grau de incerta, vagueza e incompletude [ $G(I_C, V_G, I_Z)$ ].

### **7.3.2 Necessidade de um etiquetador funcional baseado em *corpus* lingüístico de contexto industrial**

Para automatizar a tarefa de categorização dos constituintes e estruturas sintáticas funcionais típicas dos ambientes de projeto de peça, o SISFCO (AL) precisaria de um etiquetador funcional baseado em *corpus* lingüístico de sentença funcional de vários domínios de contexto de projeto de peça. Isso evitaria a classificação inadequada de constituintes pelo CoGrOO, pois atualmente esse sistema ainda é um corretor ortográfico para o OpenOffice em teste.

Além dessa tarefa, o etiquetador funcional poderia auxiliar os projetistas na categorização de constituintes próprios do domínio lingüístico dos projetistas.

### **7.3.3 Necessidade de um corretor ortográfico para o Editor Textual de sentença funcional do SISFCO (AL)**

O sistema CoGrOO é um projeto em andamento de um corretor ortográfico para a língua portuguesa, acoplável ao pacote de escritório do OpenOffice e ele ainda está na versão beta – está em teste. Contudo, o sistema CoGrOO é código aberto e gratuito pode-se baixar e realizar testes a vontade. Nesse sentido, para os fins propostos para o SISFCO (AL), ele serviu bem. Todavia, o SISFCO (AL) é um sistema de suporte a formalização de conhecimento funcional baseado na abordagem lingüística, isto é, para escritório de projeto de peça e não uma ferramenta de escritório de maneira geral. Há uma especificidade de cunho técnico e domínio específico no uso do SISFCO (AL). Por isso, a necessidade de um corretor ortográfico para auxiliar os projetistas na sentença funcional nos seus domínios específicos da Engenharia Mecânica é clara.

### **7.3.4 Necessidade da implementação do processo de preenchimento automático de *Frames* no SISFCO (AL)**

O preenchimento automático dos *Frames* no SISFCO (AL) depende do apoio dos módulos: corretor ortográfico, etiquetador funcional e, provavelmente, de um serviço dedicado ao preenchimento das entidades básicas, e de outras entidades de conhecimento pessoal dos projetistas/equipes de projeto, com seus respectivos atributos.



### **7.3.5 Necessidade da implementação do processo de Raciocínio Funcional no SISFCO (AL)**

Neste trabalho de pesquisa, o objetivo geral (e maior contribuição da Tese) é o modelo de função baseado na abordagem lingüística. Porém, para que o modelo de função baseado na abordagem lingüística não seja alvo de críticas por não ter um esquema de raciocínio funcional há a necessidade de um processo de raciocínio funcional para auxiliar os projetistas na obtenção automática de: (i) sentenças funcionais; (ii) preenchimento de *Frames* da sentença funcional modelado pelos projetistas; (iii) árvores de sentenças funcionais como soluções alternativas.

### **7.3.6 Evolução do SISFCO (AL) para as camadas metodológicas de subsistemas (submontagens) e produto**

Depois de desenvolvido e implementado os módulos anteriores, é hora de subir da camada metodológica de projeto de peça para a camada metodológica de projeto de subsistema e, finalmente, para a metodologia de projeto de produto.

Naturalmente, que a escalada da camada metodológica do projeto de peças para a camada, de subsistemas e depois para produto requererá pesquisas, análise e síntese de muito materiais relacionados aos respectivos domínios de aplicação.

## REFERÊNCIAS

- AHO, A. V.; SETHI, R; ULLMAN, J. D. *Compiladores: princípios, técnicas e ferramentas*. Trad. D. A. PINTO, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1995.
- BACK, N. *Metodologia de Projeto de Produtos Industriais*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.
- BACK, N.; OGLIARI, A. *Desenvolvimento de Produtos: Aspectos Gerais* (Notas de aula): Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, 2000.
- BACK, N. et al. *Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem*. Barueri: Manole, 2008.
- BACK, N.; FORCELLINI, F. A. *Projeto Conceitual* (Notas de aula): Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, 1996.
- BARROS, F.; ROBIN, J. Processamento de Linguagem Natural. Jornada de Atualização em Informática. In: *Jornada de Atualizações em Informática (JAI), Anais do XVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*, 1996.
- BERBER SARDINHA, T. *Linguística de Corpus*. São Paulo, Barueri: Manole, 2004.
- BHATTA, S. R.; GOEL, A. K. A Model-Based Approach to Analogical Reasoning and Learning in Design. In: *Technical Report GIT-CC-92/60*, Georgia Institute of technology, College of Computing, Atlanta: GA, 1992.
- \_\_\_\_\_. K. Discovery of physical principles from design experiences. In: *International Journal AI for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (AIEDAM)*, v. 8, n. 2, Springer -Verlag, 1994.
- \_\_\_\_\_. Use of Models for Constraining Index Learning in Experience-Based Design. In: *Proceeding of the American Association for Artificial Intelligence (AAAI), Workshop on Constraining Learning with Prior Knowledge*, p. 1-10, San Jose, 1994.
- CHAKRABARTI, A.; BLIGH, P. T. A scheme for functional reasoning in conceptual design. In: *Design Studies*, v. 22, n. 6, p. 493-517, 2001.
- CHAKRABARTI, A. (Editor) *Engineering Design Synthesis: Understanding, Approaches and Tools*, London: Springer, 2002.
- \_\_\_\_\_. Supporting Two Views of Function in Mechanical Designs. In: *American Association for Artificial Intelligence (AAAI), Workshop on Reasoning About Function*, Menlo Park, CA, 1998.
- CHANDRASEKARAN, B.; GOEL, A. K.; IWASAKI, Y. Representation as Design Rationale. In: *IEEE Computer*, v. 26, n. 1, p. 48-56, 1993.
- CHANDRASEKARAN, B.; JOSEPHSON, J. R. Representing Function as Effect. In:

*Proceedings of Functional Modeling Workshop*. Paris, France, 2000. Disponível em <<http://www.cse.ohio-state.edu/~chandra/>>. Acesso em: 17 fev 2008.

CHANDRASEKARAN, B. Representation Function: Relating Functional Representation and Functional Modeling Research Streams. *In: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, v. 19, p. 65-74, 2005.

CHENG, L. C. et al. *QFD: planejamento da qualidade*. Belo Horizonte: UFMG, Escola de Engenharia: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

CHITTARO, L. et al. Functional and Teleological Knowledge in the Multi-Modeling Approach for Reasoning about Physical Systems: a case study in diagnosis. *In: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, v. 23, n. 6, p. 1718-1751, 1993.

CHITTARO, L.; KUMAR, A. N. Reasoning about Function and its Applications to Engineering. *In: Artificial Intelligence in Engineering*, v.12, n. 4, p. 331-336, 1997.

CHOMSKY, N. On Certain Formal Properties of Grammars. *In: Information and Control*. v. 2, p. 137-167, 1959.

\_\_\_\_\_. Three models for the Description of Language. *In: IRE Transactions PGIT*, v.2, p. 113-124, 1956.

\_\_\_\_\_. *Novos Horizontes no Estudo da Linguagem e da Mente*. São Paulo: UNESP, 2005.

COYNE et al. Knowledge – Based Design Systems. *In: Proceeding of the Ninth National Conference on Artificial Intelligence*. Anaheim, California: American Association for Artificial Intelligence, v. 12, n. 3, p. 122-123, 1991.

DIAS, A.; LINHARES, J. C. Part Design: Functional and Geometric Modeling Domain Relationship. *In: Proceeding of Flexible Automation & Intelligent Manufacturing (FAIM'03)*, Tampa, Florida, 2003.

DENG, Y-M. Function and Behavior Representation in Conceptual Mechanical Design. *In: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*. V. 16, n. 4, p. 353-362, 2002.

FARACO, C. E.; MOURA, F. M. *Gramática: Fonética e Fonologia, Morfologia, Sintaxe e Estilística*. 7. ed. São Paulo: Ática, 1994.

FERREIRA, M. G. G. *Utilização de modelos para a representação de produtos no projeto conceitual*. Florianópolis: UFSC, 1997 (Mestrado em Engenharia Mecânica), CTC, 1997.

FINGER, J. J.; DIXON, J. R. A Review of Research in Mechanical Engineering Design. Part I: Descriptive, Prescriptive and Computer-Based Models of Design Process. *In: Research in Engineering Design*, v. 1, n. 1, p. 51-67, 1989.

FIOD NETO, M. *Desenvolvimento de Sistema Computacional para Auxiliar a Concepção de Produtos Industriais*. Florianópolis: UFSC, 1993. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). CTC, 1993.

FONSECA, A. J. H. *Sistematização do Processo de Obtenção das Especificações de Projeto*

*de Produtos Industriais e sua Implementação Computacional*. Florianópolis: UFSC, 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). CTC, 2000.

FORCELLINI, F. A. *Projeto Conceitual* (Notas de aula). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos/NeDIP – UFSC, 2003.

FRANKE, D. W. Deriving and Using Descriptions of Purpose. *In: IEEEExpert*, v. 6, n. 2, p. 41-47, 1991.

GOMES FERREIRA, M. G. *Utilização de Modelos para a Representação de Produtos no Projeto Conceitual*. Florianópolis: UFSC, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), CTC, 1997.

GOMES FERREIRA, M. G.; FORCELLINI, F. A.; BACK, N. Utilização de modelos na concepção de produtos. *In: XVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, Abepro/Rio de Janeiro*, 1996.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. S. *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

HUBKA, V.; EDER, W. E. *Theory of Technical Systems: a Total Concept Theory for Engineering Design*, Berlin: Springer, 1988.

HUNDAL, M. S. A Systematic Method for Developing Function Structures, Solution and Concept Variants. *In: Mechanisms and Machines Theory*, v. 25, n. 3, p. 243-256, 1990.

IWASAKI, Y.; CHANDRASEKARAN, B. Design Verification Through Function and Behavior Oriented Representation: Bridging the Gap Between Function and Behavior. *In: Gero, J. S. (Editor) Artificial Intelligent in Design Kluwer Academic Publishers*, p. 597-616, 1992.

IWASAKI, Y. et al. A Causal Functional Representation Language with Behavior Based Semantics. *In: Applied Artificial Intelligence*, v. 9, n. 5, p. 5-31, 1995.

KEUNEKE, A. Device Representation: the Significance of Functional Knowledge. *In: IEEE Expert*, v. 6, n. 6, p. 22-25, 1991.

KIRSCHMAN, C. F.; FADEL, G. M.; JARA-ALMONTE, C. C. Classifying Functions for Mechanical Design. *In: Proceedings of THE 1996 ASME Design Engineering Technical Conference and Computer in Engineering Conference*, Irvine, CA, 1996.

KITAMURA, Y.; MIZOGUCHI, R. Functional Ontology for Functional Understanding. *In: Paper of 12<sup>th</sup> International Workshop on Qualitative Reasoning (QR-98)*, p. 77-87, 1998.

\_\_\_\_\_. Meta-Functions of Artifacts. *In: Paper of 13<sup>th</sup> International Workshop on Qualitative Reasoning (QR-99)*, p. 136-145, 1999.

\_\_\_\_\_. Ontology-based description of functional design knowledge and its use in a functional way server. *In: Expert Systems with Application*, v. 24, n. 2, p. 153-166, 2003.

KITAMURA, Y.; IKEDA, M.; MIZOGUCHI, R. A Qualitative Reasoning Based on a Ontology for Fluid Systems and Its Evaluation on a Power Plant. *In: Proceeding of*

*International Conference on Artificial Intelligence (PRICAI-96)*, p. 288-299, 1996.

\_\_\_\_\_. A Causal Time Ontology for Qualitative Reasoning. *Proceeding of 15<sup>th</sup> International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-97)*, p. 501-506, 1997.

KITAMURA, Y. et al. Towards Redesign of Manufacturing Processes Based on Functional Understanding. *Poster proceedings of Artificial Intelligence in Design*, 1998.

KOLLER, R. *Konstruktionslehre für den Maschinenbau*. Heidelberg: Springer-Verlag, 1985.

LIMA, L. M. B. *Modelagem de Informação para a Fase de Projeto Informacional de Produtos*. Florianópolis: UFSC, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), CTC, 2002.

LIMA, V. L. S.; VIEIRA, R. *Linguística computacional: princípios e aplicações*. *Escola de informática da SBC-SUL*, 2001.

LINHARES, J. C. *Modelamento de Dados para o Desenvolvimento e Representação de Peças: Estudo de Caso*. Florianópolis: UFSC, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), CTC, 2000.

LINHARES, J. C. *Uma abordagem computacional baseada na descrição de funções de peças para projeto preliminar de produto*. Florianópolis: UFSC, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), CTC, 2005.

LUGER, G. *Inteligência artificial: estruturas e estratégias para a solução de problemas complexos*. 4. ed., Porto Alegre: Bookman, 2004.

MÄNTYLÄ, M. A Modeling System For Top-Down Design of Assembled Products. *IBM Journal of Research and Development*, v. 34, n. 5, p. 635-659, 1990.

McGINNIS, B. D.; ULLMAN, D. G. The evolution of commitments in the design of a component. *Journal of Mechanical Design*, v. 114, p. 1-7, 1992.

McKEOWN, K. Using Discourse Strategies and Focus Constraints to Generate Natural Language Text. *Studies in Natural Language Processing*. Cambridge University Press, 1985.

McKEOWN, K.; RADEV, D. Generating Summaries of Multiple News Articles. *Proceedings of SIGIR*, Seattle, Wash, 1995.

McKEOWN, K. et al. *Text Generation in Comet*. R. Dale, C. S. Mellish and M. Zock (Editors), Current Research in Natural Language Generation. Academic Press, 1990.

MESQUITA, R. M. *Gramática da Língua Portuguesa*. São Paulo: Editora Saraiva, 1994.

MIZOGUCHI, R.; KITAMURA, Y. *Foundation of Knowledge Systematization: Role of Ontological Engineering, Industrial Knowledge Management – A Micro Level Approach*, Rajkumar Roy (Editor), London: Springer-Verlag, 2000.

MIZOGUCHI, R.; KITAMURA, Y.; *Foundation of Knowledge Systematization: Role of Ontological Engineering, Industrial Knowledge Management – A Micro Level Approach*, Rajkumar Roy (Editor), London: Springer-Verlag, 2000.

MICROSOFT® PRESS, *Dicionário de informática*. 3. ed., Trad. G C. & Valéria C., Rio de Janeiro: Campus, 1998.

MUKHERJEE, A.; LIU, C. R. Conceptual design, manufacturability evaluation and preliminary process planning using function-form relationships in stamped metal parts. *In: Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, v. 13, n. 3, p 253-270, 1997.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. *Criação de Conhecimento na Empresa: como as Empresas Japonesas Geram a Dinâmica da Inovação*, 8. ed. Trad. A. B. Rodrigues; P. M. Celeste, Rio de Janeiro: Campus, 1997.

NORBERT, F. M.; ROOZENBURG, N. G. M. Defining Synthesis: on the Senses and the Logic of Design Synthesis. *In: Product Design: Fundamentals and Methods*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1995.

OGLIARI, A. *Sistematização da Concepção de Produtos Auxiliada por Computador com Aplicações no Domínio de Componentes de Plástico Injetados*. Florianópolis: UFSC, 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), CTC, 1999.

OHFUJI, T.; ONO, M.; AKAO, Y. *Métodos de Desdobramento da Qualidade*. Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1997.

PAHL, G.; BEITZ, W. *Engineering design: A Systematic Approach*, Berlin: Springer-Verlag, 1988.

PAHL, G.; BEITZ, W. *Engineering Design: A Systematic Approach*. Trad. K. Wallace; L. Blessing; F. Bauert. 2<sup>nd</sup>. ed. Berlin: Springer – Verlag, 1996.

PAHL, G. et al. *Projeto na Engenharia: Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos e Métodos e Aplicações*. Trad. H. A. Werner; N. Nascimento. 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

PARIS, C. L. *User Modeling in Text Generation*. London: Francis Pinter Publishers, 1993.

PASSONEAU, R. et al. Generating Summaries of Workflow Diagrams. *In Proceedings of International Conference on Natural Language Processing and Industrial Applications (NLP – IA' 96)*, Moucton, Canada: New Brunswick, 1996.

POLYA, G. *A Arte de Resolver Problemas: um Novo Aspecto do Método Matemático*. Trad. Heitor L. Araújo. Rio de Janeiro: Interciência, 1978.

PRABHU, B. S.; BISWAS, S.; PANDE, S. S. Intelligent system for extraction of product data from CADD models. *In: Computers in Industry*, v. 44, p. 79-95, 2001.

RICH, E.; KNIGHT, K. *Inteligência Artificial*. Trad. M<sup>a</sup>. C. S. Ratto, 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1994.

ROMANO, L. N. *Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas*. Florianópolis: UFSC, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), CTC, 2003.

ROOZENBURG, N. G. M.; EEKELS, J. *Product Design: Fundamentals and Methods*.

Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1995.

ROSA, E. et al. Novos Enfoques para a Concepção de Produtos com o uso de sistemas CAE / CAD/ CAM. In: *Anais do CICOMGRAPH. SOBRACON*, SP, Brasil, 1995.

ROSCH, E. *Principles of Categorization*. Cognition and Categorization, eds. Rosch E and Lloyd B., Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1978.

ROTH, K. *Konstruieren mit Konstruktionshatalogen*. New York: Springer-Verlag, 1982.

ROY, U.; BHARADWAY, B. Design with part behavior: behavior model, representation and applications, *Computers Aided Design*, Elsevier, v. 34, n. 9, p. 613-636, 2002.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. *Artificial Intelligence a Modern Approach*, 2. ed. NJ: Prentice Hall, 2003.

SANTOS, F. C. M. *Um Modelo de PARSE para Aplicação em Ambientes de Projeto de Sistemas Mecânicos*. Florianópolis: UFSC, 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação), CTC, 2002.

SANTOS, F. C. M.; Dias, A. A Functional Parser Analyzer to Integrate the Functional Knowledge Parts Design Process. In: *17th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2007)*, Philadelphia: USA, 2007a – Disponível em <http://www.faim2007.org/> (ISBN: 978-1-4276-2092-7);

\_\_\_\_\_. Representação do conhecimento funcional nas descrições textuais de detalhes geométricos no processo de projeto de peça. In: *8º Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica (CIBIM8)*, Cuzco: Peru, 2007b - Disponível em <http://www.pucp.edu.pe/eventos/congresos/cibim8/>, (ISBN 978-9972-2885-3-1);

\_\_\_\_\_. Recuperação/Integração de conhecimento funcional de detalhe geométrico no processo de projeto de peça. In: *8º Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica (CIBIM8)*, Cuzco: Peru, 2007c Disponível em <http://www.pucp.edu.pe/eventos/congresos/cibim8/>, (ISBN 978-9972-2885-3-1);

\_\_\_\_\_. Proposal of functional knowledge integration on the part design process applied in the transition from conceptual to preliminary design. In: *19th International Congress of Mechanical Engineering, Brasília (COBEM2007)*, DF – Brazil, 2007d;

\_\_\_\_\_, A. Grammatical and Behavior Analysis of Functional Sentences of Geometric Details of Part. In: *18th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2008)*, Philadelphia: USA, 2008a - Disponível em <http://www.faim2008.org/>;

\_\_\_\_\_. Sistema baseado em Frame para apoiar a integração e reuso de conceitos funcionais na modelagem funcional de peça. In: *5º Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM2008)*, Salvador, Bahia – Brasil, 2008b;

\_\_\_\_\_. Metodologia baseada na abordagem lingüística para Analisar as Descrições Textuais de Função em Linguagem Natural (DTFLN). In: *7ª Semana de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFSC (SEPEX 2008)*, Florianópolis, SC – Brasil, 2008c;

\_\_\_\_\_. Sistema em linguagem natural para Formalizar e Armazenar Conhecimento Funcional explícito/implícito nas descrições textuais de função de Peça. *In: 7ª Semana de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFSC (SEPEX 2008)*, Florianópolis, SC – Brasil, 2008d;

\_\_\_\_\_. System based on Frame to Formalize and (Re)use Functional Knowledge in Functional Modeling of Part. *In: 19th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2009)*, Middlesbrough: UK, 2009a - (Acceptance of full Paper).

\_\_\_\_\_. System Formalize and (Re)use Functional Knowledge in the Analysis Activity in the Stage of Conceptual Design of Part. *In: 2009 ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, Lake Buena Vista, Florida, 2009b - (Accepted Abstract and Paper in the press).

\_\_\_\_\_. Sistema baseado em linguagem natural para apoiar a formalização do conhecimento funcional incluído em funcionalidades de peça. *In: 9º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica (CIBIM9)*, Islas Canarias, Espanha, 2009c; (Resumo em avaliação e artigo no Prelo).

\_\_\_\_\_. Modelo de função baseado na abordagem lingüística para tratar o conhecimento funcional incluído nas sentenças funcionais de peça. *In: 9º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica (CIBIM9)*, Islas Canarias, Espanha, 2009d; (Resumo em avaliação e artigo no Prelo).

\_\_\_\_\_. Esquema de formalização do conhecimento funcional para a etapa de projeto conceitual baseado na abordagem lingüística. *In: Revista GESTÃO & PRODUÇÃO* (no prelo);

\_\_\_\_\_. Modelo de função baseado na abordagem lingüística para a etapa do projeto conceitual. *In: Revista PRODUÇÃO*, (no prelo);

\_\_\_\_\_. Model of Function based on the Linguistic Approach to Formalize Functional Knowledge at the Stage of Conceptual Design of a Part. *In: Computer Aided Design*, (Paper in evaluation);

SASAJIMA, M. et al., FBRL: a function and behavior representation language, *Proceeding of the Fourteenth-International Joint Conference on Artificial Intelligence – IJCAI-95*, p. 1830-1836, 1995.

SCHULTE, M.; WEBER, C. The Relationship Between Function and Shape. *In: Annals of the 9th International Conference on Engineering Design (ICED'93)*, Hague, Netherland, v. 1, p. 87-98, 1993.

SEARLE, J. R. *Speech Acts: an essay in the philosophy of language*. London: Cambridge University Press, 1969.

SHAH, J. J.; MANTYLA, M. *Parametric and Feature Based CAD/Cam: Concepts, Techniques, and Applications*, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1995.

SUN, C.-J et al. Syntactic Interpretation Approaches for Innovative Engineering Drawings Conversion Support System, *In: Computer & Industrial Engineering (SCI, Engineering Industrial)*, v. 35, n. 3-4, p. 635-638, 1998.



TAKEDA, H. et al. Modeling Design Processes, *AI Magazine*, v. 11, n. 4, p. 37-48, 1990.

TAKEDA, H.; TOMIYAMA, T.; SHIMOMURA, Y. Function Modeling: Confluence of Process Modeling and Object Modeling. *Nara Institute of Science and Technology*, Takayama, Ikoma, Japan, 1994a.

\_\_\_\_\_. Analysis of Design Processes by Function, Behavior and Structure: Preliminary Reports. *Nara Institute of Science and Technology*, Takayama, Ikoma, Japan, 1994b.

TIWANA, A. *The Knowledge Management Toolkit: Practical Techniques for Building a Knowledge Management System*. USA: Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, 2000.

TOMASELLO, M. *The Culture Origins of Human Cognition*. Cambridge: Mass.: Harvard University Press, 1999.

TOMIYAMA, T. *Sysfund Version 1.0 – Introduction*. Tomiyama Laboratory, The University of Tokyo, 1994.

ULLMAN, D. G.; WOOD, S.; CRAIG, D. The Importance of Drawing in the Mechanical Design Process. In: *Computer & Graphics*, vol. 14, no. 2, p. 263-274, 1990. Disponível em: [www.engr.orst.edu/~ullman](http://www.engr.orst.edu/~ullman), Acessado em maio de 2006.

ULLMAN, D. G. *The Mechanical Design Process*. New York: McGraw-Hill, Inc. 1992.

\_\_\_\_\_. Toward The Ideal Mechanical Engineering Design Support System. In *Research in Engineering Design*, v. 13, n. 2, p. 55-64, 2002.

UMEDA, Y. et al. Function, Behavior and Structure. *Applications of Artificial Intelligence in Engineering* (editor: J. S. Gero), v. 1, p. 177-194, Berlin: Springer-Verlag, 1990.

VESCOVI, M. et al., CFRL: a Language for Specifying the Causal Functionality of Engineered Devices. *AAAI – Association for the Advancement of Artificial Intelligence*, pp. 626-633, 1993.

YOSHIOKA, M.; SEKIYA, M.; TOMIYAMA, T. Design Knowledge Collection by Modeling. In: Proceeding of the Tenth International IFIP WG 5.2/5.3 Conference *PROLAMAT'98*, Trento, Italy, 1998.

## GLOSSÁRIO DOS CONCEITOS UTILIZADOS E/OU PRODUZIDOS NA TESE

- (1) **Adjetivo:** É a palavra variável que modifica a compreensão do substantivo, atribuindo-lhe uma qualidade, um estado, um modo de ser, um aspecto ou uma aparência exterior (FARACO; MOURA, 1994);
- (2) **Autômato de estado finito:** É um programa que toma como estrada uma cadeia de símbolos (por exemplo, uma sentença funcional) e responde ‘sim’ se os símbolos formarem uma sentença funcional válida da linguagem e ‘não’, caso contrário. Além disso, um autômato de estado finito pode ser determinístico ou não determinístico, onde ‘não determinístico’ significa que mais de uma transição para fora de um estado pode ser possível para o mesmo símbolo de entrada (AHO; SETHI; ULLMAN, 1995);
- (3) **Autômato de estado finito não-determinístico (AFN):** É um modelo matemático que consiste em:
  - a) Um conjunto de estados  $S$ ;
  - b) Um conjunto de símbolos de entrada  $\Sigma$  (o alfabeto de símbolos de entrada);
  - c) Uma função inicial  $S_0$  como estado de partida;
  - d) Um conjunto de estados  $F$  distinguidos como estados de aceitação (ou finais) (AHO; SETHI; ULLMAN, 1995);
- (4) **Autômato de estado finito determinístico (AFD):** É um caso especial de autômato finito não determinístico no qual:
  - a) Nenhum estado possui uma transição ‘ $\epsilon$ ’, isto é, uma transição à entrada ‘ $\epsilon$ ’;
  - b) Para cada estado ‘ $s$ ’ e símbolo de entrada ‘ $a$ ’ existe no máximo um lado etiquetado ‘ $a$ ’ deixando ‘ $s$ ’ (AHO; SETHI; ULLMAN, 1995);
- (5) **Comportamento de uma peça:** É o resultado das interações funcionais, espaciais e de projeto, das faces da peça com as geometrias de outras peças. As interações funcionais descrevem as restrições impostas sobre os graus de liberdade espacial das faces de uma peça devido às suas interações com as faces de outras peças. As interações funcionais de projeto descrevem os modos de transferência de energia (mecânica) ao longo de certas direções das faces devido às suas interações com as faces de outras peças (ROY; BHARADWAY, 2002);

- (6) **Conceito:** É uma idéia que pode ser representada na forma de um esboço, com notas, ou por uma abstração que poderia algum dia tornar-se um produto (ULLMAN, 1992);
- (7) **Conceito funcional:** É o conjunto de valores semânticos dos constituintes de uma sentença funcional. O conceito funcional não leva em conta os constituintes de uma sentença funcional e, muito menos, suas sintaxes. Ele é formado apenas pelo valor semântico do propósito funcional e valores semânticos dos atributos gerais e específicos de Fonseca (2000) incluídos na sentença funcional e usados para a realização de um comportamento (in)desejado (Proposta conceitual de Santos e Dias);
- (8) **Conhecimento comportamental:** É o conjunto de significações dos constituintes ou estrutura gramatical da sentença funcional sobre os requisitos/restrições de projeto e espaciais (EPP) da relação entrada/saída de energia, material e sinal (informação) sob determinado ponto de vista funcional e domínio do contexto de aplicação (Proposta conceitual de Santos e Dias);
- (9) **Conhecimento funcional:**
- a) É formado pelo conjunto de pares (constituente, valor semântico) de uma sentença funcional, cujas entidades básicas dos constituintes são fundamentais nos aspectos de projeto e processo sob determinado ponto de vista funcional e domínio do contexto de aplicação (Proposta conceitual de Santos e Dias);
  - b) É o conjunto formado pelo conceito funcional e, respectivos constituintes de uma sentença funcional sob determinado ponto de vista funcional e domínio do contexto de aplicação (Proposta conceitual de Santos e Dias);
  - c) É o conjunto definido pelo conhecimento teleológico e conhecimento comportamental com suas, respectivas sintaxes sob determinado ponto de vista funcional e domínio do contexto de aplicação (Proposta conceitual de Santos e Dias);
- (10) **Conhecimento funcional tácito ou idiossincrático:** É o conhecimento que é aceito por um projetista, mas não é necessariamente compartilhado e aceito por seus colegas (COYNE et al., 1990);

(11) **Conhecimento funcional empírico:**

- a) É o conhecimento obtido de experiências em projetos do mesmo, ou de outros, domínios de aplicação e que só é comunicado indiretamente por metáfora e analogias (adaptado de NONAKA; TAKEUCHI, 1997);
- b) É o conhecimento obtido através do desenvolvimento de processo de tentativa e erro (adaptado de TIWANA, 2000);

(12) **Conhecimento teleológico:** É o conhecimento que define o propósito funcional (meta, finalidade ou objetivo) da ação do verbo sobre a sentença funcional a partir da intenção da realização de um comportamento (in)desejado da interação entre as geometrias de DGs de peça distintas sob as restrições/requisitos espaciais e de projeto (EPP) da relação entrada/saída de energia, material e sinal (informação) (Proposta conceitual de Santos e Dias)

(13) **Corpus lingüístico:** Segundo SARDINHA (2004 apud Sanches,1996), um *corpus* lingüístico é um conjunto de dados lingüísticos (pertencentes ao uso oral ou escrito da língua, ou a ambos), sistematizados segundo determinados critérios, suficientemente extensos em amplitude e profundidade, de maneira que sejam representativos da totalidade do uso lingüístico ou de algum de seus âmbitos, dispostos de tal modo que possam ser processados por computador, com a finalidade de propiciar resultados vários e úteis para a descrição e análise;

(14) **Corpus lingüístico de sentenças funcionais:** É um conjunto de sentença funcional, onde cada sentença funcional contém um conjunto de constituintes com sintaxe e semântica (expresso na sua estrutura superficial ou semântica) de uso oral e/ou escrito em linguagem natural por projetistas (Proposta conceitual de Santos e Dias);

(15) **Estrutura epistêmica:** É o conhecimento de fatos e inter-relacionamentos acerca do âmbito da realidade na qual o problema deve ser resolvido (PAHL et al. 2005);

(16) **Estrutura superficial de uma sentença funcional:** A estrutura superficial de uma sentença funcional é formada pelo conjunto de constituintes da sentença funcional. Porém, quando parte ou todos os constituintes de uma sentença funcional expressar de modo denotativo um conjunto de valores semânticos conhecidos e relacionados a um determinado domínio do contexto de projeto diz-se que a sentença funcional possui conhecimento funcional referenciado explicitamente. Por exemplo, a sentença funcional (Acoplar pino prismático) do domínio do contexto de projeto de peça. O termo composto pino prismático exprime de modo denotativo um conjunto de

valores semânticos conhecidos e relacionados ao domínio do contexto de projeto de peça. Por exemplo, poder-se-ia ter um pino prismático triangular, quadrangular ou sextavado. Por esse motivo, diz-se que duas sentenças funcionais com o mesmo conteúdo sintático podem ter diferentes significados (Proposta conceitual de Santos e Dias);

- (17) **Estrutura profunda de uma sentença funcional:** A estrutura profunda de uma sentença funcional é formada pelo conjunto de valores semânticos e não denotativos dos constituintes da sentença funcional. Assim, quando os constituintes da sentença funcional não denotarem um conjunto de valores semânticos conhecidos e relacionados a um ponto de vista funcional e domínio do contexto de projeto diz-se que a sentença funcional possui conhecimento funcional referenciado implicitamente. Para capturar o conhecimento especializado do domínio de aplicação, as estruturas profundas de uma sentença funcional podem ser representadas por formalismos da IA tais como *Frames* (Proposta conceitual de Santos e Dias);
- (18) **Estrutura sintática funcional:** Uma estrutura sintática funcional é formada por um conjunto de constituintes contidos em uma sentença funcional, possuem um qualificador semântico e são relacionadas aos aspectos de projeto e processo. Exemplos de qualificadores semânticos são: tipo de geometria, localização, noção de quantidade, processo causal e processo de projeto.
- (19) **Feature funcional:** É definida como uma entidade geométrica padrão bem definida que tem uma funcionalidade relevante associada com o projeto da peça (MUKHERJEE; LIU, 1997);
- (20) **Função<sup>1</sup>:**
- a) É uma descrição textual em linguagem natural formada pelo par (verbo, substantivo) e é derivada dos fluxos da conversão de energia, material e sinal (informação) da relação entrada/saída específicos da tarefa de projetar (PAHL; BEITZ, 1996; PAHL et al. 2005);
  - b) É uma descrição textual de comportamento abstrato escrita por humanos com o intuito de realizar uma tarefa específica em um projeto (UMEDA et al., 1990);

---

<sup>1</sup> Nesta tese, os termos “função”, “sentença funcional”, “descrição textual de função em linguagem natural” ou “descrição textual de função” são equivalentes.

- (21) **Frame:** É um esquema de representação de conhecimento concebido para capturar as conexões implícitas das informações em um domínio de problema em estruturas de dados explicitamente organizados (LUGER, 2004);
- (22) **Ícone de projeto:** São parcelas de conhecimento sobre elementos de dado domínio de aplicação, tais como objetos, processos, agentes, fenômenos, entre outros, na forma de episódios, procedimentos, regras, entre outros tipos de conhecimento, que auxiliam no reconhecimento das relações entre necessidades dos clientes e requisitos de projeto, com as funções do produto (OGLIARI, 1999);
- (23) **Modelagem funcional *ad hoc* de conhecimento funcional:** Santos e Dias propõem que a modelagem funcional *ad hoc* seja a modelagem funcional referenciada por diferentes tipos de conhecimento idiossincrático sobre projetos em domínio de diferentes contextos de aplicação e por profissionais de diversas áreas do ciclo de vida do produto e com pontos de vista funcionais diferentes. Por causa dessa diversidade de referências é que acontece a inconsistência, reuso indevido ou impossível e a categoria imprópria de conhecimento funcional durante a modelagem funcional. Assim:
- a) A inconsistência de conhecimento funcional acontece quando os projetistas tentam utilizar os mesmos propósitos funcionais de sentenças funcionais oriundas de diferentes áreas do ciclo de vida do produto em domínios de diferentes contextos de aplicação. Nesse caso, necessita-se analisar as sentença funcional do *corpus* lingüístico de sentença funcional para estabelecer as relações possíveis entre os propósitos funcionais, tipos de comportamento (in)desejado para o produto, subsistema ou peça e os tipos de geometria;
  - b) O (re)uso indevido ou impossível de conhecimento funcional acontece porque as informações funcionais explícitas/implícitas nas sentenças funcionais não estão formalizadas em uma representação de conhecimento funcional adequada. Nesse caso, muitos conceitos funcionais são utilizados de forma errada porque um mesmo constituinte, por exemplo, um verbo tem um propósito funcional com um valor semântico diferente para diferentes grupos de profissionais. Portanto, há a necessidade da organização de uma estrutura hierárquica comum para os constituintes das sentenças funcionais, tais como os verbos, substantivos, advérbios e suas combinações. Neste trabalho de pesquisa um dos objetivos é, analisar as descrição textual de função do *corpus*

lingüístico de sentenças funcionais e pelo menos, propor uma estrutura hierárquica das características semânticas para os substantivos baseada nos atributos gerais e específicos de Fonseca (2000) e

- c) **Categorização imprópria de conhecimento funcional** acontece devido à forma como determinados constituintes são valorados semanticamente pelos projetistas. Por exemplo, há quem utilize o mesmo valor semântico em engenharia mecânica para os substantivos concretos “ranhura” e “rebaixo”. Ainda há os casos em que os projetistas denominam uma mesma forma geométrica com diferentes nomes como “canal” e “sangramento”, dentre outros casos. Justamente por causa dessa diversidade de valoração semântica para os constituintes das sentenças funcionais e dos diferentes modos de uso é que acontece a categorização imprópria das informações funcionais. Portanto, há a necessidade de uma representação de conhecimento funcional com suporte a abordagem lingüística, isto é, com suporte às descrições textuais das funcionalidades em linguagem natural.
- (24) **Metodologia de projeto:** É uma atividade orientada para o atendimento das necessidades humanas, principalmente aquelas que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos de nossa cultura (BACK, 1993);
- (25) **Multi-modelagem:** É o conjunto dos diferentes modelos gerados e atualizados simultaneamente durante o processo de desenvolvimento do produto, tais como os modelos funcionais, geométrico, custo, montagem, simulação, dentre outros (ROSA et al. 1992);
- (26) **Ontologia:** Para Studer et al. (1998), uma ontologia pode ser definida como “uma especificação explícita e formal de uma conceitualização compartilhada”. Nessa definição, um conceito pode ser explicado a partir de uma:
- a) **Especificação explícita**, pelas descrições textuais em linguagem natural dos conceitos, instâncias, relações, restrições e axiomas;
  - b) **Formal**, i.é, **maneira formal**, por é declarativamente definida, portanto, compreensível para agentes e sistemas;
  - c) **Conceitualização**, porque se trata de um modelo abstrato de uma área de conhecimento ou de um universo limitado do discurso;

d) **Compartilhado**, por se tratar de um conhecimento consensual, seja por uma terminologia comum da área modelada, ou acordada entre os desenvolvedores dos agentes que se comunicam;

(27) **Parser**: É um algoritmo que usa um dicionário e uma gramática para:

- a) Analisar/verificar se a estrutura sintática de uma sentença funcional é válida (bem formada ou não);
- b) Determinar a árvore sintática;
- c) Identificar, na árvore, os sintagmas (nominais, verbais, preposicionais e adjetivais) e seus constituintes que, geralmente, têm artigo e um núcleo (substantivo, verbo, preposição e adjetivo);
- d) Empregar o conhecimento sobre a sintaxe da linguagem, morfologia e um pouco da semântica (LIMA; VIEIRA, 2001; RUSSELL; NORVIG, 2004);

(28) **Ponto de vista funcional**: É definido pelo posicionamento (ou postura) do projetista diante do detalhe geométrico da peça. Nesse sentido, o ponto de vista funcional em relação ao:

- a) Posicionamento (postura) do projetista reflete o lugar de onde ele faz a sentença funcional tais como pensando em marketing, vendas, embalagem, transporte, fabricação, materiais, projeto, dentre outros;
- b) Posicionamento do lado do detalhe geométrico da peça reflete a forma como o projetista comunica certos traços físicos (tais como: as propriedades do detalhe geométrico dureza, resistência, viscosidade, isolamento, textura ou atributos: peso, altura, comprimento, largura, cor) na sentença funcional. (Proposta conceitual de Santos e Dias);

(29) **Propósito funcional (de uma função)**: É uma descrição da intenção de projeto ou da meta, ou finalidade, de um projeto. O propósito funcional é abstrato e subjetivo, ou melhor, é um conhecimento teleológico (CHANDRASEKARAN; GOEL; IWASAKI, 1993);

(30) **Sintagma**: É um conjunto de elementos lingüísticos inter-relacionados, a exercer, sob um rótulo definido, uma função morfossintática específica na frase.

(31) **Substantivo**: É a palavra variável com que designamos os seres em geral, sejam eles animados ou inanimados, reais ou imaginários, concretos ou abstratos (FARACO; MOURA, 1994);



- (32) **Substantivo abstrato:** É o substantivo que designa não propriamente os seres, mas estados, ações, sensações ou qualidades dos seres. Os seres designados pelos substantivos abstratos têm existência dependente de outros seres (MESQUITA, 1994; FARACO; MOURA, 1994);
- (33) **Substantivo abstrato simples:** É o substantivo abstrato que apresenta um só elemento formador, ou um só radical (FARACO; MOURA, 1994);
- (34) **Substantivo abstrato composto:** É o substantivo abstrato que apresenta mais de um elemento formador, ou mais de um radical (FARACO; MOURA, 1994);
- (35) **Substantivo concreto:** É o substantivo que designa os seres que têm, ou que acredita-se ter, subsistência própria, independente de outros seres (FARACO; MOURA, 1994);
- (36) **Substantivo concreto simples:** É o substantivo concreto que apresenta um só elemento formador, ou um só radical (FARACO; MOURA, 1994);
- (37) **Substantivo concreto composto:** É o substantivo concreto que apresenta mais de um elemento formador, ou mais de um radical (FARACO; MOURA, 1994);
- (38) **Verbo:** É a palavra variável que exprime um fato (ação, estados ou mudanças de estados dos seres e fenômenos da natureza), situando-o temporalmente (MESQUITA, 1994; FARACO; MOURA, 1994);

## APÊNDICE A - AUTÔMATO DE ESTADO FINITO

### A.1 INTRODUÇÃO

Quando se fala sobre a análise léxica, termos como *token*, padrão e lexema tem significados específicos. Em geral, existe um conjunto de cadeias de entrada (como, por exemplo, uma descrição textual de função em linguagem natural) para as quais o mesmo *token* é produzido como saída. Esse conjunto de cadeias pode ser descrito por uma regra chamada de um padrão associado ao *token* de entrada. O padrão é dito reconhecer cada cadeia do conjunto de entrada. Um lexema é um conjunto de caracteres de uma linguagem que é reconhecido pelo padrão de algum *token*. Por exemplo, na sentença, ou cadeia de entrada, “Facilitar montagem do pino do pistão”:

- (a) facilitar é um lexema para o *token* “verbo”
- (b) montagem é um lexema para o *token* “substantivo” e assim por diante.

Os lexemas reconhecidos pelo padrão *token* representam cadeias de caracteres da linguagem e podem receber um tratamento conjunto, como instâncias de uma mesma unidade léxica, tais como: instâncias de verbos, substantivos, adjetivos, advérbios. Já um padrão é uma regra que descreve o conjunto de lexemas que podem representar um *token* particular na linguagem.

Sem os reconhecedores de padrões, os autômatos de estado finito, os analisadores léxicos não poderiam utilizar os algoritmos de reconhecimento de padrões mais conhecidos e, conseqüentemente, não haveria analisadores léxicos eficientes.

### A.2 DEFINIÇÃO DE AUTÔMATO DE ESTADO FINITO

Um autômato de estado finito é um programa que toma como entrada uma cadeia de símbolos e responde *sim* se os símbolos formarem uma sentença válida da linguagem e *não* em caso contrário. Um autômato de estado finito pode ser determinístico ou não-determinístico, onde *não-determinístico* significa que mais de uma transição para fora de um estado pode ser possível para o mesmo símbolo de entrada.

### A.3 DEFINIÇÃO DE AUTÔMATO DE ESTADO FINITO NÃO-DETERMINÍSTICO (AFN)

Um AFN é um modelo matemático que consiste em:

- (1) Um conjunto de estados  $S$ ;
- (2) Um conjunto de símbolos de entrada  $\Sigma$  (o alfabeto de símbolos de entrada);
- (3) Uma função inicial  $s_0$  como estado de partida;
- (4) Um conjunto de estados  $F$  distinguidos como estados de aceitação (ou finais).

Um AFN pode ser representado diagramaticamente por um grafo dirigido e etiquetado, chamado de grafo de transições, no qual os nós são os estados e os lados etiquetados representam a função de transição. Esse grafo se parece com um diagrama de transições, mas o mesmo caractere pode etiquetar duas ou mais transições para fora de um mesmo estado e os lados podem ser etiquetados pelo símbolo especial “ $\epsilon$ ”, que denota uma cadeia vazia, bem como pelos símbolos de entrada.

Um exemplo de grafo de transições para um AFN que reconhece a linguagem  $(a/b)^*abb$  é mostrado na Figura A-1. Nessa Figura, o conjunto de estados do AFN é  $\{0, 1, 2, 3\}$  e o alfabeto de símbolos de entrada é  $\{a, b\}$ . O estado “0” na Figura A-1 é o estado de partida e o estado final, ou de aceitação, “3” é indicado por um círculo duplo.

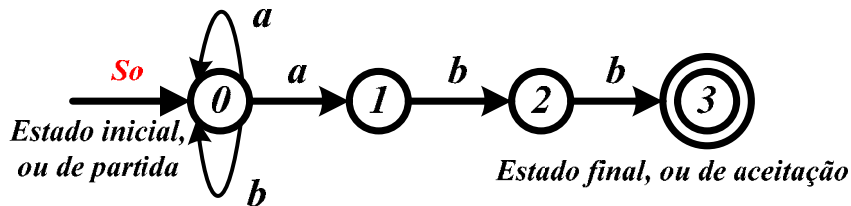


Figura A-1: Exemplo de um autômato finito não determinístico (AFN)

Um AFN aceita uma cadeia de símbolos de entrada se e somente se existir algum percurso o grafo de transição, a partir do estado inicial até algum estado de aceitação, tal que as etiquetas dos lados ao longo do percurso soletrem a cadeia de símbolos. O AFN da Figura A-2 aceita as cadeias de símbolos de entrada  $abb$ ,  $aabb$ ,  $babb$ ,  $aaabb$ , ... Por exemplo, a cadeia de símbolos  $aabb$  é aceita pelo percurso a partir de “0”, seguindo o lado etiquetado “a” até o estado “0” de novo e, então, segue para os estados “1”, “2” e “3” através dos lados etiquetados “a”, “b” e “b” respectivamente. Um percurso pode ser representado por uma seqüência de

transições de estado chamados movimentos. O seguinte diagrama mostra os movimentos realizados ao se aceitar a cadeia de entrada aabb:

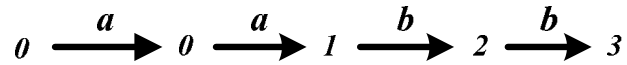


Figura A-2: Exemplo do fluxo de uma cadeia de símbolos de um autômato finito não determinístico (AFN)

#### A.4 DEFINIÇÃO DE AUTÔMATO DE ESTADO FINITO DETERMINÍSTICO (AFD)

Um AFD é um caso especial de autômato finito não determinístico no qual:

- (1) Nenhum estado possui uma transição “ $\epsilon$ ”, isto é, uma transição à entrada “ $\epsilon$ ” e
- (2) Para cada estado “s” e símbolo de entrada “a” existe no máximo um lado etiquetado “a” deixando “s”.

Um autômato finito possui o máximo uma transição, a partir de cada estado, para qualquer símbolo de entrada. Como consequência, é muito fácil determinar se um AFD aceita uma cadeia de símbolos de entrada, dado que existe no máximo um único percurso, rotulado por aquela cadeia de símbolos, a partir do estado inicial. O algoritmo mostrado na Figura A-3 simula o comportamento de um AFD, dada uma cadeia de símbolos de entrada.

```

S := S0;
C := próximo_caractere;
Enquanto C ≠ eof faça
    S := movimento (S, C);
    C := próximo_caractere
Fim;
Se S estiver em F então
    retornar “sim”
Senão retornar “não”;

```

Figura A-3: Exemplo de um script (rotina, simulação de um comportamento) de um AFD

Na simulação tem-se:

**Entrada:** Uma cadeia de símbolos de entrada terminada por um caractere de fim de arquivo “*eof*”. Um AFD “D” com estado de partida  $S_0$  e conjunto de estados de aceitação F;

**Saída:** A resposta “sim” se “D” aceitar os símbolos de entrada, “não” em caso contrário;

**Método:** Aplicar o algoritmo da Figura A-3 para a cadeia de símbolos de entrada. A função movimento (S, C) fornece o estado para o qual existe uma transição a partir do estado

“s” e caractere de entrada “C”. A função Próximo retorna o próximo caractere da cadeia de símbolos de entrada.

## **APÊNDICE B - *FRAMES***

### **B.1 INTRODUÇÃO**

Embora não exista um consenso geral, ou universal, para a representação de conhecimento, muitos esquemas de representação foram propostos para representar e armazenar conhecimento, tais como roteiros, redes semânticas, *Frames* e grafos conceituais. Por exemplo, os *Frames* são módulos de conhecimento que se tornam ativos em situações apropriadas, e servem para oferecer uma interpretação dessas situações. Os *Frames* fornecem uma estrutura dentro da qual novos dados podem ser interpretados em termos de conceitos adquiridos de estruturas anteriores.

O termo *Frame* popularizou-se na década de setenta devido ao surgimento da teoria de *Frames*. A teoria de *Frames* surgiu inicialmente como o resultado de um artigo escrito por Minsky (1975). Nesta época, a utilização de *Frames* foi recomendada como básica para o entendimento de percepção visual. O desenvolvimento de linguagens para a manipulação de *Frame* foi em parte motivado para a manipulação de sistemas de IA baseado em *Frame*.

### **B.2 DEFINIÇÃO DE *FRAME***

*Um Frame é um esquema de representação de conhecimento concebido para capturar as conexões implícitas da informação em um domínio de problema em estruturas de dados explicitamente organizadas* (LUGER, 2004).

A diferença entre *Frame* e regra de produção está na própria forma de representação de conhecimento. Nos sistemas de regra de produção o conhecimento está estruturado como um conjunto de asserções, ou regras de produção “se ..., então ...”, cada um referindo-se a um ou mais fatos sobre os objetos de projeto. No esquema de representação de conhecimento com *Frame* a principal característica é que a fatorização do conhecimento está centrada na própria representação de conhecimento sobre cada um dos objetos de projeto.

De acordo com Minsky (1975), um *Frame* pode ser visto como uma estrutura de dados estática usada para representar situações estereotipadas (algo que se adequa a um padrão fixo

ou geral) bem compreendidas. Segundo Minsky, parece que nós humanos utilizamos estruturas similares a *Frames* para organizar o próprio conhecimento sobre o mundo. Nós seres humanos utilizamos informações estruturadas por experiências passadas para nos ajustarmos a cada nova situação.

### B.3 ESTRUTURA DOS *FRAMES*

Um *Frame* é uma descrição de um objeto complexo. O *Frame* é identificado por um *nome* e consiste de um conjunto de *slots*, onde cada *slot* é formado por um conjunto de *facetas*. Os *Frames* possuem, pelo menos, dois *slots*:

- (a) *Nome* para identificar o *Frame* atual;
- (b) *Nome do slot principal* para tratar as informações do *Frame* atual

Assim,

- (a) *Slot* consistem de um conjunto de atributos chamados *facetas*;
- (b) *Facetas* consistem de um conjunto de informações que descrevem o *slot* que a contém. As informações descritas no *slot* podem definir explicitamente os valores semânticos que o *slot* pode assumir ou indicar de que forma deduzir o seu valor. As *facetas* têm um papel fundamental na expressividade dos *Frames*, por permitirem expressar restrições semânticas sobre os *slots*.

Um exemplo de um *Frame* chamado e <sentença funcional> com dois *slots* é apresentado na Figura B-1. Os *slots* são denominados, respectivamente, de:

- (a) *slot*: = verbo e
- (b) *slot*: = substantivo.

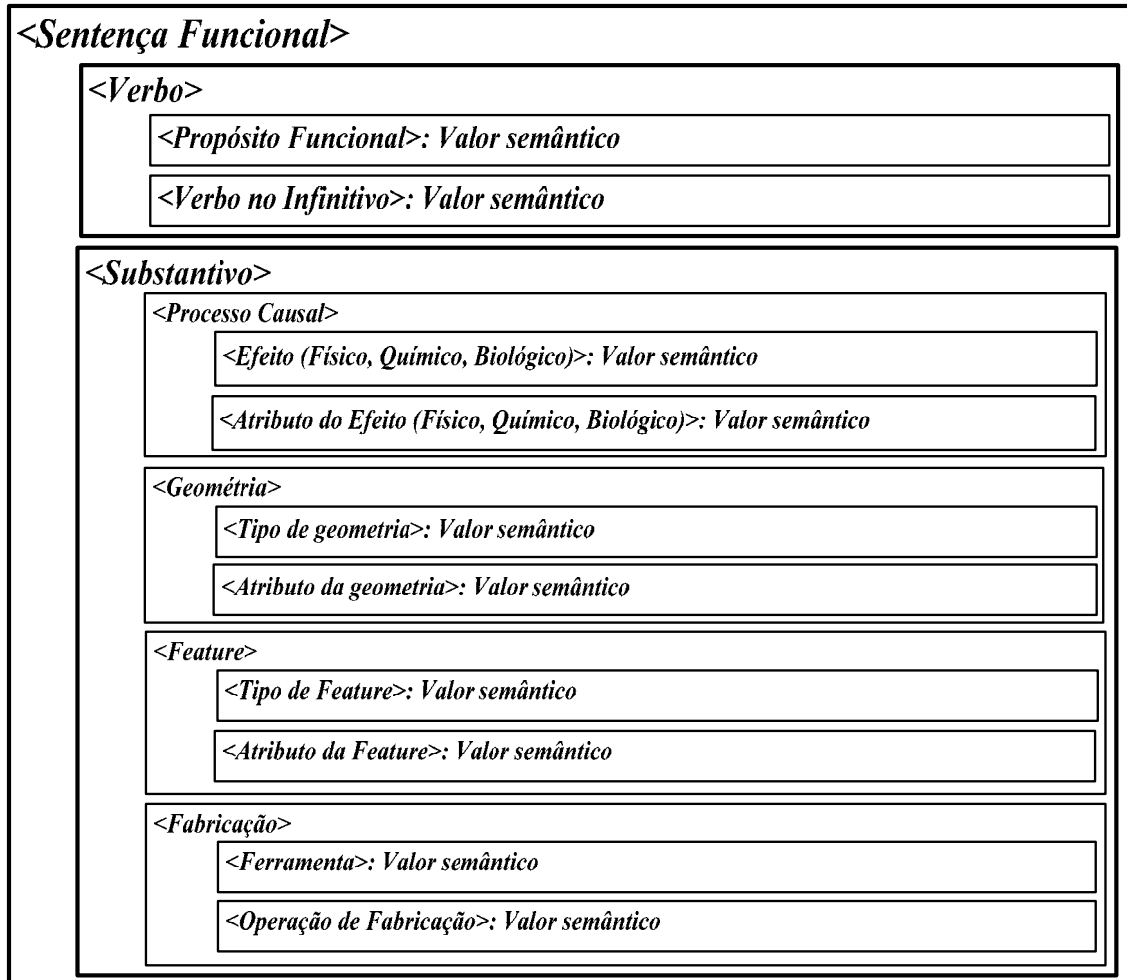


Figura B-1: Exemplo de um *Frame* chamado e <sentença funcional> com dois *slots* <Verbo> e <Substantivo>

O *slot* denominado de <verbo> tem duas facetas denominadas de:

- (1) <Processo Funcional > com seu respectivo valor semântico;
- (2) <Verbo no Infinitivo> com seu respectivo valor semântico.

O *slot* denominado de <substantivo> tem quatro outros *slots* denominados de:

- (1) <Propósito Causal> com suas duas facetas;
  - (1.1) Faceta denominada de <Efeito (físico, químico, biológico)> com seu respectivo valor semântico;
  - (1.2) Faceta denominada de <Atributo de Efeito (físico, químico, biológico)> com seu respectivo valor semântico;



- (2) <Geometria> com suas duas facetas;
  - (a) Faceta denominada de <Tipo de Geometria> com seu respectivo valor semântico;
  - (b) Faceta denominada de <Atributo da Geometria> com seu respectivo valor semântico;
  
- (3) <Feature> com suas duas facetas;
  - (a) Faceta denominada de <Feature> com seu respectivo valor semântico;
  - (b) Faceta denominada de <Atributo da Feature> com seu respectivo valor semântico;
  
- (4) <Fabricação> com suas duas facetas.
  - (a) Faceta denominada de <Ferramenta> com seu respectivo valor semântico;
  - (b) Faceta denominada de <Operação da Ferramenta> com seu respectivo valor semântico;

## APÊNDICE C – SGBDOO *DB4Object*

### C.1 INTRODUÇÃO

O *DB4Object* por ser uma aplicação escrita em Java faz uso do JDO (Objetos de dados em Java – *Java Data Objects*). Por isso, se diz que o *DB4Object* tem o Java nativo. Isso implica que o *Db4Object* fornece uma interface que permite o tratamento nativo dos dados como objetos. Conseqüentemente, os dados no *DB4Object* são armazenados como objetos. Em outras palavras, o *DB4Object* elimina o processo de projeto, implementação da base de dados, pois o modelo de classe é o esquema de base de dados.

### C.2 TIPOS DE CONSULTA COM O *DB4object*

O *DB4Object* oferece três (3) tipos de consultas:

(1) Consultas por exemplo (*Query by example* - QBE): São consultas extremamente fáceis e rápidas. Porém há limitação nas consultas, pois não se podem realizar consultas com expressões avançadas como *and* (e), *or* (ou), *not* (não), dentre outros. Além disso, não se pode impor valores “0” ou “nulos”. Adicionalmente, há a necessidade de um construtor para os objetos.

(2) Consultas dinâmicas baseada em nodos (*Simple Object Database Access* - SODA). São consultas de nodos dinâmicos de baixo nível que permitem recorrer diretamente à hierarquia de classes. Ao contrário das consultas nativas, o SODA utiliza *string* – cadeia de caracteres – para identificar os campos. Por outro lado, não temos as características de escrita segura, comprovadas em tempo de compilação e, também, são 100% fatoráveis. Ao contrário do QBE, o SODA permite consultas com “0”;

(3) Consultas Nativas (*Native Query* - NQ). São consultas realizadas com a mesma linguagem de programação. Dessa forma, as consultas nativas são consultas de escritas seguras, realizadas em tempo de execução e 100 % fatoráveis, isto é, modificáveis. Além disso, nas consultas nativas, é possível incluir chamadas de métodos, pois elas são perfeitamente padronizadas e são uma forma segura de programação evolutiva.

O SGBDOO do SISFCO (AL) é orientado por consultas dinâmicas baseada em nodos (SODA) e com listas <genéricas>. Exemplos de algumas consultas realizadas no *DB4Object*

pelo SGBDOO são:

*// Pesquisar por uma sentença funcional em todas as árvores de funções de peças*

```
public Collection<Funcao> getAllFuncoes() {
    List<Funcao> result = db().query(new Predicate<Funcao>() {
        @Override
        public boolean match(Funcao candidate) {
            return true;
        }
    });
    return result;
}
```

*// Pesquisar por uma sentenças funcionais de uma peças em todas as árvores de funções de peça*

```
public Collection<Funcao> getAllFuncoesByModeloPeca(final ModeloPeca modeloPeca) {
    List<Funcao> result = db().query(new Predicate<Funcao>() {
        @Override
        public boolean match(Funcao candidate) {
            return candidate.getModeloPeca() == modeloPeca;
        }
    });
    return result;
}
```

*// Pesquisar por uma sentença funcional pai (como, e.g., uma função global, função parcial ou elementar) em todas as arvores de funções de peça*

```
public Collection<Funcao> getAllFuncoesByPai(final Funcao funcao) {
    List<Funcao> result = db().query(new Predicate<Funcao>() {
        @Override
        public boolean match(Funcao candidate) {
            return candidate.getPai() == funcao;
        }
    });
    return result;
}
```

### C.3 GERENCIAMENTO DE OBJETOS COM O *DB4Object*

O *DB4Object* também fornece um gerenciador de objetos (*ObjectsManager* ()) para consulta (análise) de todos os tipos de objetos como, por exemplo – como mostrado na Figura

C-1:

- (a) Análise dos atributos dos constituintes de todas as funcionalidades do banco de dados (db());
- (b) Análise dos constituintes de todas as funcionalidades do banco de dados (db());
- (c) Análise das sentenças funcionais em todos os modelos de peça do banco de dados (db());
- (d) Análise das (Famílias das) peças na estrutura hierárquica dos modelos de peça no banco de dados (db());

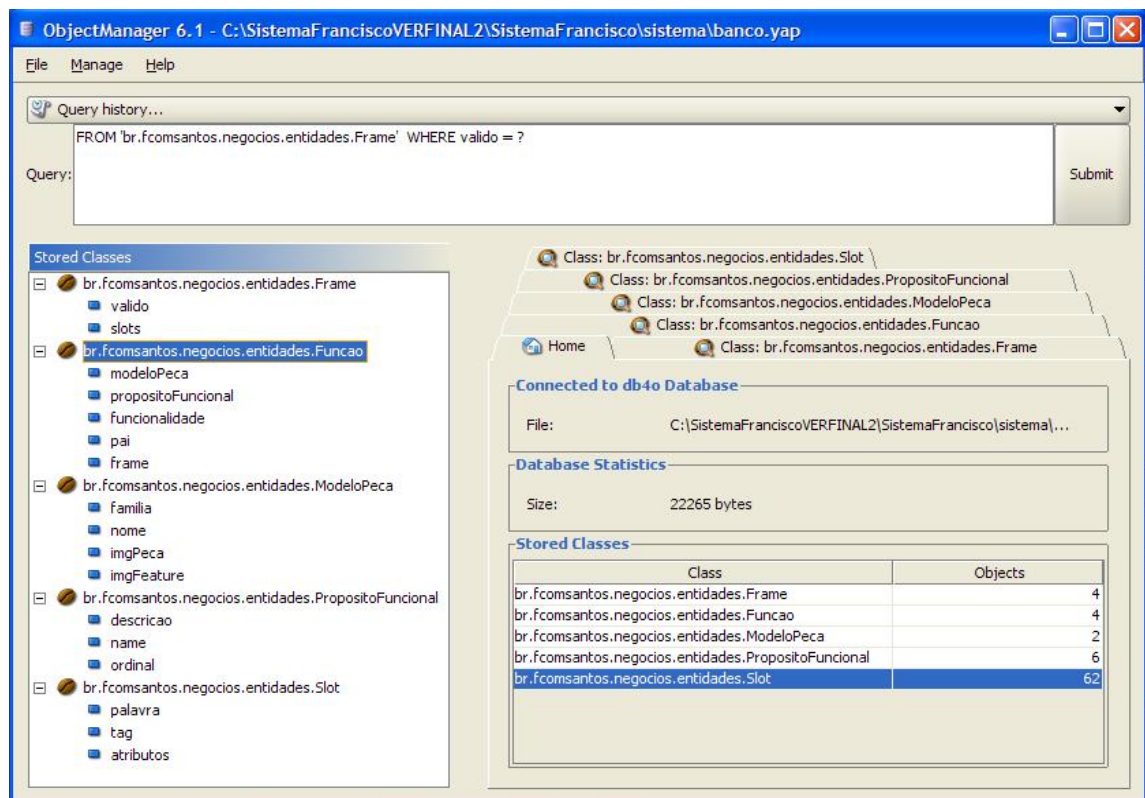


Figura C-1: Interface do Sistema Gerenciador de Objetos do *DB4Objectc* (Gerado pelo *DB4Object*)

Observando os tipos de abas do gerenciador de objetos do *DB4Object*, tem-se uma visão geral da organização e tipos de objetos no banco de dados. Exemplos da organização e tipos de objetos dados na Figura C-1 são:

- (a) *Aba Home*: nessa aba visualizam-se todas as classes instanciadas no SISFCO (AL), tais como, as classes: *Frame*, *Função*, *ModeloPeça*, *Propósito funcional* e *Slots*;
- (b) *Aba Frame*: que se tem a classe *Frame* cujos objetos gerenciados por ela são os próprios *Frames* das sentenças funcionais. A classe *Frame* é responsável pelo gerenciamento de todas as ubIFs contidas nos *slots*, isto é, as ubIFs das facetas e seus valores semânticos –

ver Apêndice B;

(c) *Aba Função*: que se tem a classe *Função* cujos objetos gerenciados são as funções global, parcial e elementar. Cada função tem as seguintes ubIFs: funcionalidade e propósito funcional. Na classe *Função* os objetos ‘*modelopeça*’, ‘*pai*’ e ‘*Frame*’ se constituem como alguns dos serviços oferecidos por esta classe para gerenciamento das ubIFs. Por exemplo, o serviço relacionado ao *modelopeça* é para gerenciar a informação sobre a funcionalidade e propósito funcional para qualquer peça instanciada no *modelopeça*. O serviço *pai* é para gerenciar a informação sobre o tipo da função, se função global ou função parcial. E o serviço *Frame* é para gerenciar as informações sobre um *Frame* válido, isto é, um *Frame* preenchido com os valores semânticos, segundo o ponto de vista funcional, do projetista;

(d) *Aba ModeloPeça*: que se tem a classe *ModeloPeça* cujos objetos gerenciados são a: família; nome; imagem e imagem árvore de *features* da peça;

(e) *Aba Propósito Funcional* tem-se a classe *PropositoFuncional* cujos objetos gerenciados são: descrição, nome e enumeração de controle do tipo de propósito funcional;

(f) *Aba Slots*: tem-se a classe *Slots* cujos objetos gerenciados são palavra, classe gramatical (*tag*) e atributo. A palavra é uma cadeia de caracteres (*string* ou *token*) extraída da sentença funcional, a classe gramatical da cadeia de caracteres é aquela definida pela Gramatical Normativa da Língua Portuguesa do Brasil e o atributo é o valor semântico definido pelo projetista (ou usuário do sistema).

## APÊNDICE D – PUBLICAÇÕES DECORRENTES DO TRABALHO DE PESQUISA

Assim como o projeto conceitual de peça é esquadrihado na árvore de funções de peça, durante a primeira atividade/fase da etapa do projeto conceitual, através de processos cognitivos baseados em modelos mentais, as publicações seguintes delineiam o processo de construção epistêmica do trabalho de pesquisa que culminaram neste trabalho de tese.

### Ano de 2007

(1) SANTOS, F. C. M and DIAS, A. *A Functional Parser Analyzer to Integrate the Functional Knowledge Parts Design Process*. In FAIM2007 - 17th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Philadelphia: USA, 2007a - Disponível em: <http://www.faim2007.org/> (ISBN: 978-1-4276-2092-7);

(2) SANTOS, F. C. M e DIAS, A. *Representação do conhecimento funcional nas descrições textuais de detalhes geométricos no processo de projeto de peça*. In CIBIM8 - 8º Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Cuzco: Peru, 2007b - Disponível em: <http://www.pucp.edu.pe/eventos/congresos/cibim8/>, (ISBN 978-9972-2885-3-1);

(3) SANTOS, F. C. M e DIAS, A. *Recuperação/Integração de conhecimento funcional de detalhe geométrico no processo de projeto de peça*. In CIBIM8 - 8º Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Cuzco: Peru, 2007c Disponível em: <http://www.pucp.edu.pe/eventos/congresos/cibim8/>, (ISBN 978-9972-2885-3-1);

(4) SANTOS, F. C. M e DIAS, A. *Proposal of functional knowledge integration on the part design process applied in the transition from conceptual to preliminary design*. In COBEM2007 - 19th International Congress of Mechanical Engineering, Brasília: DF – Brazil, 2007d;

### Ano de 2008

(5) SANTOS, F. C. M and DIAS, A. *Grammatical and Behavior Analysis of Functional Sentences of Geometric Details of Part*. In FAIM2008 - 18th International Conference on

Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Philadelphia: USA, 2008a - Disponível em: <http://www.faim2008.org/>;

(6) SANTOS, F. C. M e DIAS, A. *Sistema baseado em Frame para apoiar a integração e reuso de conceitos funcionais na modelagem funcional de peça*. In CONEM2008 - 5º Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Salvador: Bahia – Brasil, 2008b;

(7) SANTOS, F. C. M e DIAS, A. *Metodologia baseada na abordagem lingüística para Analisar as Descrições Textuais de Função em Linguagem Natural (DTFLN)*. In SEPEX - 7ª Semana de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFSC, Florianópolis: SC – Brasil, 2008c;

(8) SANTOS, F. C. M e DIAS, A. *Sistema em linguagem natural para Formalizar e Armazenar Conhecimento Funcional explícito/implícito nas descrições textuais de função de Peça*. In SEPEX - 7ª Semana de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFSC, Florianópolis: SC – Brasil, 2008d;

#### Ano de 2009

(9) SANTOS, F. C. M and DIAS, A. System based on Frame to Formalize and (Re)use Functional Knowledge in Functional Modeling of Part. In: *19th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2009)*, Middlesbrough: UK, 2009a - (Acceptance of full Paper);

(10) SANTOS, F. C. M and DIAS, A. System Formalize and (Re)use Functional Knowledge in the Analysis Activity in the Stage of Conceptual Design of Part. In: *2009 ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, Lake Buena Vista, Florida, 2009b - (Accepted Abstract and Paper in the press);

(11) SANTOS, F. C. M and DIAS, A. Sistema baseado em linguagem natural para apoiar a formalização do conhecimento funcional incluído em funcionalidades de peça. In: *9º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica (CIBIM9)*, Islas Canarias, Espanã, 2009c; (Resumo em avaliação e artigo no Prelo);

(12) SANTOS, F. C. M e DIAS, A. Modelo de função baseado na abordagem lingüística para tratar o conhecimento funcional incluído nas sentenças funcionais de peça. In: *9º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica (CIBIM9)*, Islas Canarias, Espanã, 2009d; (Resumo em avaliação e artigo no Prelo);

(13) SANTOS, F. C. M e DIAS, A. Esquema de formalização do conhecimento funcional para a etapa de projeto conceitual baseado na abordagem lingüística. In: *Revista GESTÃO &*

*PRODUÇÃO* (no prelo);

(14) SANTOS, F. C. M e DIAS, A. Modelo de função baseado na abordagem lingüística para a etapa do projeto conceitual. *In: Revista PRODUÇÃO*, (no prelo);

(15) SANTOS, F. C. M and DIAS, A. Model of Function based on the Linguistic Approach to Formalize Functional Knowledge at the Stage of Conceptual Design of a Part. *In: Computer Aided Design*, (Paper in evaluation);