

DARCIO DE FREITAS REZENDE

**PLANEJAMENTO DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO
ASSISTIDO POR COMPUTADOR ATRAVÉS DE UM SISTEMA
ESPECIALISTA BASEADO NA TECNOLOGIA DE FEATURES :
UM MODELO DE DESENVOLVIMENTO VOLTADO PARA A
REALIDADE INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre.
Curso de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica, Área de Fabricação, Universidade
Federal de Santa Catarina. Orientador: Prof.
Ph. D. João C. E. Ferreira

FLORIANÓPOLIS, SETEMBRO DE 1996

**PLANEJAMENTO DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO
ASSISTIDO POR COMPUTADOR ATRAVÉS DE UM SISTEMA
ESPECIALISTA BASEADO NA TECNOLOGIA DE FEATURES :
UM MODELO DE DESENVOLVIMENTO VOLTADO PARA A
REALIDADE INDUSTRIAL**

Florianópolis, Setembro de 1996AGRADECIMENTOS

A página de agradecimentos, momento em que a satisfação de um trabalho concluído permite relembrar com prazer as alegrias e dificuldades vividas nesta etapa. A certeza de que, sem a participação dos amigos, o fácil seria difícil e o difícil impossível traz o desejo de agradecer a todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

Se na alegria a família passa despercebida, é nas dificuldades que se dá conta do quanto é importante. Aos meus pais, Ailly Borges de Rezende e Jerônima Aparecida de Rezende, aos meus irmãos, Daiton de Freitas

Rezende, Élide de Freitas Rezende e Estela de Freitas Rezende e ao meu irmão-cunhado Sílvio Delfino de Souza, aquele obrigado por vocês existirem!

Os momentos difíceis do primeiro trimestre (e os que ainda estavam por vir) talvez não tivessem sido superados sem a presença dos amigos Júlio Romero S. Fernandes, Eurípedes Barsanulpho L. Júnior, Victor Muniz Rosa e Fabiano Luis Zermiani que, apesar de hoje estarem espalhados por este nosso Brasil, sabem como ninguém que amigo é coisa pra se guardar do lado esquerdo do peito. Valeu a força amigos da República Pão-de-queijo!

A habilidade no trato com as pessoas, a serenidade frente às dificuldades e a capacidade de dar a volta por cima são lições (que ficarão para sempre) ensinadas pelo amigo Adílson Ulrico Butzke. Tchê Magrão, valeu a pena te conhecer!

A capacidade de apresentar e a paciência e boa vontade em ouvir sugestões são virtudes nem sempre fáceis de se combinar numa só personalidade. Quero agradecer ao amigo prof. João Carlos E. Ferreira que, tendo sempre acreditado no meu trabalho e estado sempre disposto a conversar, reúne estas qualidades tão necessárias à função de orientador.

À empresa SLC (Schneider Logemann Companhia), em especial ao pessoal do DIUS, agradeço pela hospitalidade nas vezes em que lá estive e pela boa vontade em fornecer informações tão necessárias a um trabalho que se propõe tenha aplicação industrial.

Ao amigo Nílson Luiz Maziero, companheiro dos trabalhos de segunda a segunda e das cervejas de sábado à noite (que renderam intermináveis discussões existenciais), um abraço e um muito obrigado pelas sugestões (que não foram poucas) sempre tão bem embasadas em sua experiência empresarial.

Aos amigos do laboratório, em especial aos amigos Fernando Santana Pacheco (um especialista em sistemas especialistas) e Fernando Furlan Neto (especialista em AutoCAD) e a todos os companheiros de luta (esse tempo de pós-graduação não é fácil), aquele abraço e um desejo sincero de boa sorte nos degrais que ainda estão por vir.

Ao Sr. Arlindo e
à Dona Jerominha,
meus pais

RESUMO

Este trabalho se propõe a apresentar uma metodologia de desenvolvimento de sistemas CAPP que favoreça a adaptação do sistema criado à realidade de cada empresa que o utilize. O modelo proposto utiliza a abordagem de sistema CAPP generativo, *off-line* e por peça. A solução apresentada se destina a peças rotacionais que sejam fabricadas em células de manufatura com estratégia de usinagem bem definida. Dentre as atividades de planejamento de processos, o modelo prevê a realização da análise da peça, a seleção de superfícies de referência para a fabricação, a seleção de métodos de usinagem, a seleção de máquinas, ferramentas de corte e dispositivos de fixação e o seqüenciamento das operações. A tecnologia de *features*, aliada à

análise orientada a objeto, é utilizada como forma de representação das informações do sistema. Ênfase especial é dada à comunicação CAD/CAPP, que é estabelecida através do mapeamento de *features* de projeto em *features* de fabricação. A geração dos planos de processo é realizada por um sistema especialista, que utiliza uma base de conhecimento criada com base na estratégia de usinagem utilizada para as peças da célula. A criação do plano de processos se baseia na atribuição de operações de usinagem às *features* que constituem a peça. Máquinas, ferramentas e dispositivos de fixação são selecionados para estas operações, que posteriormente são seqüenciadas. De acordo com o modelo apresentado, a adaptação do sistema a outras células de manufatura se dá através da construção de uma nova base de conhecimento, que espelhe a nova estratégia de usinagem utilizada, assim como da atualização dos bancos de dados de máquinas, ferramentas e dispositivos de fixação utilizados na nova célula. Como implementação do modelo proposto tem-se a construção de um *software* destinado a microcomputadores da linha PC, com sistema operacional DOS. Dados fornecidos pela empresa SLC (Schneider Logemann Companhia) do setor agrícola foram utilizados para a modelagem de uma célula de manufatura à qual o sistema foi adaptado. Para a verificação da validade do modelo, planos de processo foram gerados para as peças fabricadas na célula, cujos resultados são mostrados neste trabalho. O interfaceamento entre os módulos de CAD e CAPP certamente é a maior contribuição deixada pelo *software* desenvolvido, já que poderá ser reutilizado em novas células, tornando o tempo de adaptação bastante reduzido. Com vistas à integração CAD/CAPP/CAM novos trabalhos que podem ser desenvolvidos na mesma linha de pesquisa são propostos, assim como o rumo que deve ser seguido no desenvolvimento de novos sistemas CAPP.

ABSTRACT

This work intendeds to show a new methodology for the development of CAPP systems in such a way that the system can easily be adjusted to new factory conditions. The proposed model is based on the generative and off-line approaches. The presented solution is supposed to be used on rotational parts made on manufacturing cells that follow a well defined machining strategy. Among the process planning activities, the system is supposed to carry out part drawing analysis, the selection of operational references, machining methods, machine tools and tooling, and the arrangement of machining operations sequence. The system's information model is based on feature technology coupled with object oriented analysis. The CAD/CAPP communication is achieved through feature mapping. Process plans are built under the management of an expert system, whose knowledge base is adjusted to the machining strategy of the particular manufacturing cell. The process plan is generated through the assignment of machining operations to part features.

Machine tools, tooling and fixtures are selected for each machining operation. According to the proposed model, the system's adaptation to a new manufacturing cell is achieved by building a new knowledge base with rules corresponding to the manufacturing cell's current machining strategy, containing information on the updated machines, tools and fixtures. In order to validate the proposed model, it was built a software system that runs on microcomputers, under the DOS operating system. Information received from the SLC company (Schneider Logemann Companhia) was used to model a manufacturing cell to which the system was adapted. The process plans generated for the parts made on the manufacturing cell are presented through this work to show the system's behaviour. The link between CAD and CAPP modules is surely the main contribution left by the developed software as it will be much easier and faster to adapt the system to a new manufacturing cell. As far as CAD/CAPP/CAM integration is concerned, it is presented a list of future researches that must be carried out, as well as the trends in the development of CAPP systems.

SUMÁRIO

Lista de figuras	xi
Lista de tabelas	xiv
Lista de abreviaturas	xv
Resumo	xvii
<i>Abstract</i>	xviii
1-Introdução	1
2-Revisão da literatura	5
2.1-Planejamento dos Processos de Fabricação	5
2.1.1-Fases de um Planejamento de Processos	6
2.1.1.1-Roteamento do processo	6
I-Análise do desenho da peça	7
II-Seleção de métodos de usinagem	9

III-Divisão da rota de processo em etapas	12
IV-Concentração/Separação de operações	14
V-Seleção de tratamentos térmicos	17
VI-Definição de operações auxiliares	17
2.1.1.2-Planejamento detalhado das operações	18
I-Seleção de máquinas-ferramentas	18
II-Seleção de ferramentas	19
III-Seleção de dispositivos de fixação	19
IV-Seleção de superfícies de referência para a fabricação	20
V-Determinação de sobremetais	23
VI-Determinação de dimensões e tolerâncias de usinagem	26
VII-Seleção de condições de corte	28
VIII-Estabelecimento de tempos padrão	29
IX-Documentação do plano de processo	29
2.1.2-Plano de Processo por Peça X Plano por Lote	31
2.1.3-Plano de Processo <i>on-line</i> X <i>off-line</i>	32
2.2-Planejamento de Processos de Fabricação Auxiliado por Computador	33
2.2.1-Abordagens de sistemas CAPP	33
2.2.2-Técnicas de implementação de sistemas CAPP	35
2.2.3-Requisitos para o desenvolvimento de sistemas CAPP	36

2.3-A utilização de <i>features</i> como base de informação.....	37
2.3.1-Diferentes visões sobre <i>features</i>	37
2.3.2-O elo de ligação entre as atividades de projeto e manufatura.....	40
2.3.2.1-Reconhecimento de <i>features</i>	41
2.3.2.2-Mapeamento de <i>features</i>	43
2.3.3-Pesquisas em <i>features</i> que vêm sendo realizadas.....	45
2.4-A utilização de sistemas especialistas.....	47
2.4.1-O que são sistemas especialistas.....	47
2.4.2-Partes constituintes de um sistema especialista.....	48
2.4.3-Formas de representar o conhecimento.....	49
2.4.4-Como funciona um sistema especialista.....	51
2.4.4.1-Um sistema especialista realizando encadeamento para frente.....	52
2.4.4.2-Um sistema especialista realizando encadeamento para trás.....	53
2.4.5-Campo de aplicação de sistemas especialistas.....	55
2.4.6-Vantagens da utilização de sistemas especialistas.....	56
2.5-A análise orientada a objeto.....	57
3-Modelo proposto para o sistema.....	61
3.1-Características do modelo.....	61
3.1.1-Abordagem do sistema.....	61
3.1.2-Plano por peça X por lote.....	61

3.1.3-Sistema <i>on-line</i> X <i>off-line</i>	61
3.1.4-Domínio de Peças	62
3.1.5-Funções executadas	62
3.1.6-Grau de Automatização	63
3.1.7-Modelo de informações	63
3.1.8-Comunicação CAD/CAPP	64
3.1.9-Plataforma a que se destina	65
3.1.10-Técnica de Programação	66
3.2-Recursos utilizados no desenvolvimento do sistema	66
3.2.1- <i>Hardware</i>	66
3.2.2- <i>Software</i>	67
3.3-A estrutura do sistema	67
3.3.1-As etapas de funcionamento do sistema	67
3.3.2-A operação de usinagem como a base para o planejamento de processos	68
3.3.3-Aquisição de conhecimento: a estratégia de usinagem como a chave para a base de conhecimento	72
3.3.4-A personalização como meio de adaptação à realidade industrial	72
4-Aplicação do modelo proposto a um caso específico	75
4.1-A família de peças	75
4.2-A célula de manufatura	77
4.3-Estratégias de usinagem	80

4.4-0 mapeador de <i>features</i>	81
4.5-As operações executadas na célula.....	81
4.6-Base de conhecimento.....	89
4.7-Uma peça exemplo.....	103
4.7.1-Definição do desenho de projeto da peça.....	103
4.7.2-Mapeamento de <i>features</i> de projeto em fabricação.....	106
4.7.3-Definição da posição de usinagem.....	106
4.7.4-Atribuição de operações de usinagem a cada <i>feature</i>	108
4.7.5-Seleção da máquina utilizada para cada operação.....	108
4.7.6-Seleção da ferramenta utilizada para cada operação.....	109
4.7.7-Seleção do dispositivo de fixação utilizado para cada operação.....	118
4.7.8-Definição da seqüência de operações.....	119
5-Discussão, Conclusões e Futuros Trabalhos	121
5.1-Adequação do modelo.....	121
5.2- Sistemas CAPP: caminhos que devem ser seguidos.....	124
5.3-Futuros trabalhos que podem ser desenvolvidos.....	125
Referências Bibliográficas	127
Anexo A-Hierarquia de classes do sistema	136
A.1-Material	136
A.2-Peça	139
A.3-Máquina	144

A.4-Ferramenta	146
A.5-Dispositivo de Fixação	154
A.6-Operação	156
Anexo B-Regras e funções utilizadas no sistema	158
B.1-Inverte	158
B.2-Atribui Operação	160
B.3-Seleciona Máquina	173
B.4-Seleciona Ferramenta	175
B.5-Seleciona Dispositivo de Fixação	180
B.6-Define Seqüência	181
Anexo C-Interface Gráfica Utilizada	184

Lista de Abreviaturas

ADDL	Artifact and Design Description Language
ap	Profundidade de Corte
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAQ	Computer Aided Quality
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAM-I	Computer Aided Manufacturing-International
CAPP	Computer Aided Process Planning
CIM	Computer Integrated Manufacturing

CNC	Comando Numérico Computadorizado
DOS	Disk Operating System
ECM	Electrochemical Machining
EDM	ElectroDischarge Machining
f	Avanço de Corte
FDL	Functional Description Language
GT	Tecnologia de Grupo
IT	ISO Tolerance
MRP	Manufacturing Resource Planning
NC	Comando Numérico
OIR	Organization of Industrial Research
PC	Personal Computer
PDGL	Part Design Graph Language
SLC	Schneider Logemann Companhia
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
vc	Velocidade de Corte

Lista de Figuras

Fig. 1.1: Ciclo de vida comercial do produto 2

Fig. 1.2: Tendências do mercado 2

Fig. 1.3: Atividades relacionadas à vida de um dado produto 3

Fig. 1.4: O planejamento de processos é o elemento de ligação entre projeto e manufatura 4

Fig. 2.1: Diferentes formas de dimensionamento. (a) cotagem paralela. (b) cotagem em série. (c) cotagem combinada 8

Fig. 2.2: Diferentes alternativas de seqüências de usinagem de uma peça. (a) desenho da peça. (b) seqüência adequada. (c) seqüência incorreta 9

Fig. 2.3: Relação entre referências de projeto, fabricação, posicionamento e medição nas superfícies de uma peça 21

Fig. 2.4: Situação onde as referências de projeto e fabricação não são as mesmas. (a) Projeto. (b) Fabricação 22

Fig. 2.5: Superfície que será usinada mostrando dimensões e sobremetal parcial com respectivas tolerâncias 24

Fig. 2.6: Dimensões das operações executadas numa superfície plana externa, juntamente com os sobremetals adotados 27

Fig. 2.7: Esboço de um roteamento de processo 30

Fig. 2.8: Esboço de um plano de operações 30

Fig. 2.9: (a) Anel a ser fabricado. (b) Barra utilizada como matéria-prima 31

Fig. 2.10: (a) Furação para uma única peça. (b) Furação para várias peças de uma só vez 32

Fig. 2.11: Partes constituintes de um sistema especialista 49

Fig. 2.12: Relações entre as partes constituintes de um sistema especialista com encadeamento para frente 52

Fig. 2.13: Fluxo de execução num sistema especialista com encadeamento para frente 53

Fig. 2.14: Relações entre as partes constituintes de um sistema especialista com encadeamento para trás 54

Fig. 2.15: Sistema especialista realizando encadeamento para trás para provar uma hipótese (H0) 55

Fig. 2.16: Definição da classe pessoa 58

Fig. 2.17: A hierarquia da família automóvel 59

Fig. 2.18: A classe automóvel é composta por chassi, motor e carroçaria, entre outros 59

Fig. 3.1: Posições que uma operação pode assumir. (a) Externa. (b) Interna. (c) Fora de centro. 70

Fig. 3.2: Direções de corte aceites numa operação. (a) Longitudinal. (b) Transversal. (c) Perfil. 70

Fig. 3.3: Lados de corte que uma operação pode assumir. (a) Esquerda. (b) Direita. (c) Central. 71

Fig. 3.4: Arquitetura do sistema mostrando partes fixas e móveis que o constituem 73

Fig. 4.1: *Lay-out* da célula para a qual o sistema foi ajustado 78

Fig. 4.2: Ferramentas de corte seleccionadas para a célula 79

- Fig. 4.3: Operação de serrar realizada na serra 82
- Fig. 4.4: Operação de endireitar realizada na prensa hidráulica 82
- Fig. 4.5: Operação de chanfrar realizada no torno universal 83
- Fig. 4.6: Operação de cilindramento realizada no torno 83
- Fig. 4.7: Operação de faceamento realizada no torno 84
- Fig. 4.8: Operação de corte realizada no torno 84
- Fig. 4.9: Operação de roscar_externo realizada no torno 85
- Fig. 4.10: Operação de perfilar_côncavo realizada no torno 85
- Fig. 4.11: Operação de perfilar_convexo realizada no torno 86
- Fig. 4.12: Operação de sangramento realizada no torno 86
- Fig. 4.13: Operação de furação realizada no torno ou furadeira 87
- Fig. 4.14: Operação de escareamento realizada no torno ou furadeira 87
- Fig. 4.15: Operação de roscar_interno realizada na furadeira 88
- Fig. 4.16: Operação de chanfrar_esquerda realizada no torno 88
- Fig. 4.17: Comunicação dos módulos do sistema especialista 91

Fig. 4.18: Definição de contornos. (a) Crescente. (b) Decrescente 92

Fig. 4.19: Peça com furo que pode ser executado no torno. (a) Furo posicionado na esquerda impossibilitando a sua execução. (b) Com a inversão da peça o furo pode agora ser executado no torno 93

Fig. 4.20: Desenho de projeto da peça exemplo 104

Fig. 4.21: *Features* presentes na peça exemplo 104

Fig. 4.22: Quadro de diálogo onde as características de uma *feature* chanfro são definidas 105

Fig. 4.23: Quadro de diálogo onde o projetista define a barra utilizada na fabricação da peça 105

Fig. 4.24: Arquivo de dados da peça após o mapeamento um-para-um 107

Lista de Tabelas

Tab. 2.1: Precisão e acabamento superficial, obtidos por diversos processos, na usinagem de uma superfície cilíndrica externa 10

Tab. 2.2: Rotas de usinagem utilizadas numa superfície cilíndrica externa 12

Tab. 2.3: Sobremetal que deve ser utilizado no torneamento de uma superfície cilíndrica externa 26

Tab. 4.1: Operações de usinagem atribuídas a cada *feature* da peça exemplo 108

Tab. 4.2: Máquina selecionada para cada operação 109

Tab. 4.3: Ferramentas que podem ser utilizadas na execução de cada operação 110

Tab. 4.4: Número de ocorrência das ferramentas da Lista de Ocorrência Maior que Zero 111

Tab. 4.5: Lista das ferramentas que têm o maior número de ocorrência 112

Tab. 4.6: Teste sobre a Lista de Maior Ocorrência 112

Tab. 4.7: Lista das Operações Frequentes 113

Tab. 4.8: Teste sobre a Lista de Operações Frequentes 113

Tab. 4.9: Operação Principal em cada iteração 114

Tab. 4.10: Lista das ferramentas principais 114

Tab. 4.11: Lista das Ferramentas Seleccionadas 115

Tab. 4.12: Evolução da situação das ferramentas da Lista de Ocorrência Maior que Zero 117

Tab. 4.13: Ferramenta selecionada para a execução de cada operação 118

Tab. 4.14: Dispositivo de fixação selecionado para cada operação 119

Tab. 4.15: Plano de processo gerado para a peça exemplo 120

1-Introdução

Para o enquadramento do assunto, é interessante que se faça uma caracterização da tendência existente no mercado mundial em que a indústria está envolvida, em particular, a de produção de equipamento mecânico. De acordo com MOURÃO (1990), o panorama econômico das últimas décadas pode ser dividido em três etapas.

Até a década de 70, a indústria regia-se pelas economias de escala, caracterizando-se portanto, pela produção

em grandes quantidades de produtos com um pequeno número de variantes, um período de maturidade relevante na vida do produto (figura 1.1, curva A) e utilização de equipamento automático de produção. Quanto à qualidade, esta assentava-se fundamentalmente na mera inspeção dos produtos.

Na década de 80, o período de maturidade do produto começou a diminuir, o número de produtos e respectivas variantes a aumentar e, paralelamente, a dimensão das séries de produção a diminuir. Ao nível dos meios de produção, esta situação provocou o aparecimento de sistemas flexíveis de manufatura e de montagem. O controle da qualidade do produto começa a dar lugar ao controle do processo e, mais recentemente, à introdução de sistemas de qualidade.

Com o final da década de 80 e início da década de 90, a redução do período de maturidade (e por consequência do ciclo de vida do produto, figura 1.1, curva B), a diminuição das séries de produção e o incremento da variedade do produto começam a acentuar-se, mostrando uma consolidação da tendência apresentada (figura 1.2).

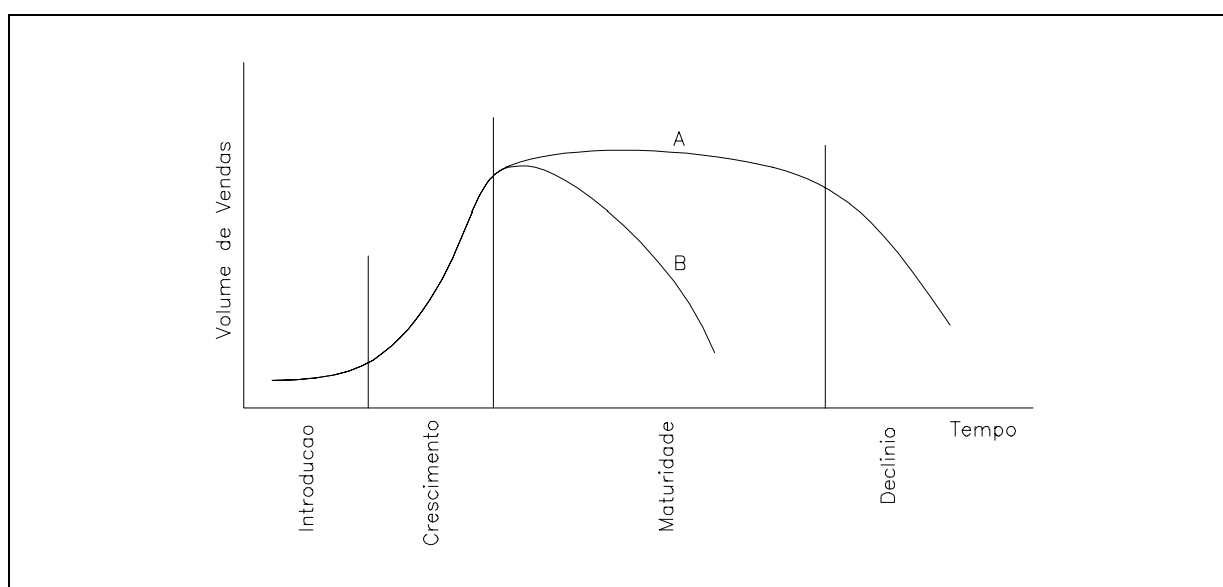


Fig. 1.1: Ciclo de vida comercial do produto.

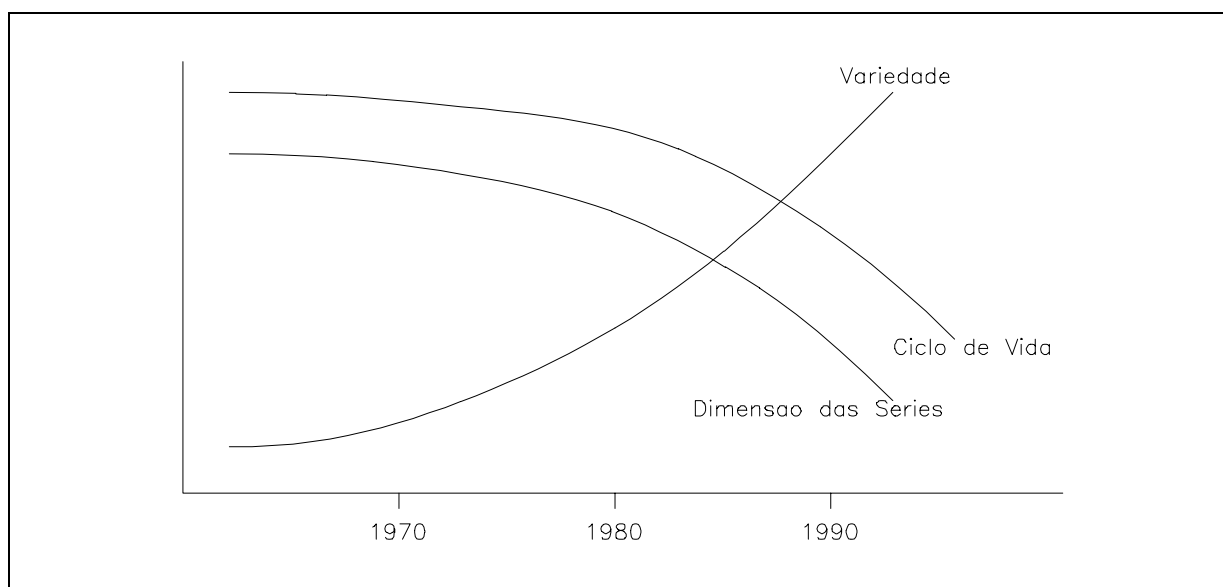


Fig. 1.2: Tendências do mercado.

A existência de um maior número de fabricantes faz com que a concorrência seja elevada e que o mercado passe a ser ditado pelas necessidades do consumidor. A situação criada pela redução do ciclo de vida comercial do produto faz com que o seu tempo de lançamento no mercado seja um aspecto crítico.

Uma maior integração entre as atividades do ciclo produtivo é considerada como elemento fundamental na busca pela diminuição do tempo de desenvolvimento, aumento de qualidade e diminuição de custos de produção. Vários trabalhos têm sido desenvolvidos neste sentido e termos como **Engenharia Concorrente** e **Engenharia Simultânea** têm se tornado bastante conhecidos.

De acordo com ALTING (1993), as atividades relacionadas ao ciclo de vida de um dado produto são aquelas apresentadas na figura 1.3.

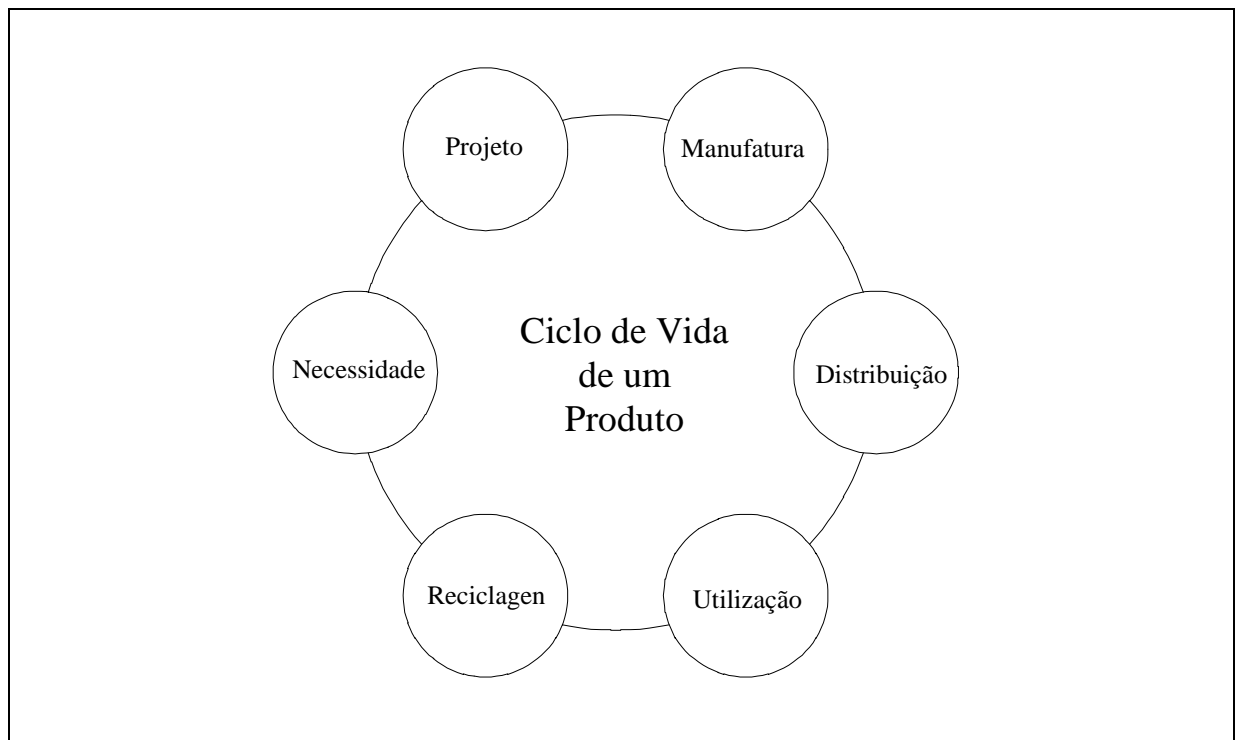


Fig. 1.3: Atividades relacionadas à vida de um dado produto.

Dentre as atividades apresentadas na figura 1.3, projeto e manufatura têm recebido especial atenção devido à sua importância no ciclo de vida de um produto. De acordo com HOUTEN (1991), o planejamento de processos aparece como elemento de ligação entre as atividades de projeto e manufatura (figura 1.4). Devido à presença de pequenos lotes, a necessidade de um tempo reduzido entre as etapas de projeto e fabricação e à grande quantidade de informações manipuladas, grande interesse tem sido despertado pela automatização do planejamento de processos. Vários são os trabalhos apresentados na literatura no sentido de promover a integração entre CAD e CAM: (CAM-I, 1986), (ERVE, 1988), (HUANG, 1988), (FERREIRA, 1990), (HOUTEN, 1991), (GU e ZHANG, 1994), entre outros. Contudo, uma solução definitiva ainda não foi apresentada e muito desenvolvimento ainda deve ser realizado.

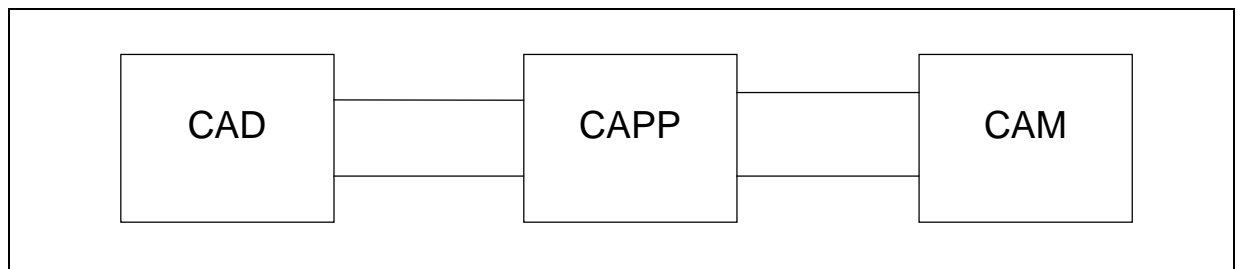


Fig. 1.4: O planejamento de processos é o elemento de ligação entre projeto e manufatura.

Os sistemas CAPP apresentados na literatura normalmente procuram resolver um problema muito genérico. Talvez esta seja uma das causas das dificuldades encontradas na adaptação à realidade industrial.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia de desenvolvimento de sistemas CAPP, onde a adaptação do sistema criado às condições específicas de cada empresa (tipos de peça, máquinas e ferramentas presentes, etc) seja possível. Atenção especial é conferida à passagem de dados entre os módulos de CAD e CAPP.

Um sistema CAPP baseado nesta metodologia foi desenvolvido. Uma descrição deste sistema, assim como dos planos de processo gerados, é apresentada ao longo deste trabalho.

2-Revisão da literatura

Este trabalho se propõe a apresentar um modelo para o desenvolvimento de sistemas CAPP. Os termos que constituem a base para o desenvolvimento do trabalho são revistos nos tópicos que se seguem.

2.1-Planejamento dos Processos de Fabricação

Planejamento de processos pode ser definido como a atividade de selecionar e definir os processos que devem ser

executados para transformar um material bruto em um produto acabado (SALOMONS, HOUTEN e KALS, 1993, p.114). Planejamento de processos é a seleção e seqüenciamento de processos de manufatura para converter uma matéria prima em um componente acabado, de acordo com especificações funcionais (IRANI, KOO e RAMAN, 1995, p.17). De acordo com Wysh et al. citados por HUANG (1988, p.11), o planejamento de processos pode ser definido como o módulo responsável pela conversão de dados de projeto em instruções de trabalho. De acordo com ALTING e ZHANG (1989, p.555) planejamento de processos é definido como a determinação sistemática dos métodos que permitem que um produto seja manufaturado econômica e competitivamente. Apesar das aparentes diferenças entre as definições, o que se procura enfatizar é o processo de transformação de um material bruto em um produto acabado.

Quando se pensa em processos de fabricação, a tarefa de planejamento de processos consiste na escolha de alguns recursos dentre os disponíveis, como máquinas-ferramentas, ferramentas de corte, dispositivos de fixação, definição de seqüência de operações, definição de condições de corte e definição de operações auxiliares.

2.1.1-Fases de um Planejamento de Processos

De acordo com SALOMONS, HOUTEN e KALS (1993, p.114), o planejamento de processos inclui as seguintes tarefas:

- interpretação do modelo do produto;
- seleção de máquinas-ferramentas;
- seleção de *setups*;
- seleção de operações de usinagem e da sua seqüência;

- seleção de ferramentas de corte;
- projeto de dispositivos de fixação;
- determinação de condições de corte;
- determinação de trajetórias de ferramentas;
- geração de programas NC.

Como apresentado em WANG e LI (1991), o planejamento de processos é dividido em duas fases distintas, quais sejam:

- roteamento do processo;
- planejamento detalhado das operações.

A seguir, apresenta-se, como mostrado em WANG e LI (1991), o detalhamento destas duas fases.

2.1.1.1-Roteamento do processo

É um planejamento geral, onde a peça é analisada, as operações necessárias à sua fabricação são identificadas e uma rota de processo é estabelecida.

As etapas presentes no roteamento do processo são mostradas em detalhes nos tópicos que se seguem.

I-Análise do desenho da peça

Como o desenho da peça é a base para a geração do plano de processo, a sua análise deve ser o primeiro passo para a definição da rota do processo. A análise a ser empreendida deve considerar os fatores:

- **estrutura da peça.** As peças fabricadas por usinagem apresentam formas e tamanhos variados, contudo é possível descrever uma peça em termos de formas básicas como cilindros, planos, cones, etc. Uma análise cuidadosa da estrutura da peça é importante, pois a seleção do método de usinagem a utilizar para cada superfície é função da sua forma básica. Por exemplo, uma superfície cilíndrica externa é feita, normalmente, num torno. As dimensões de cada superfície também são de grande importância, pois dentro de um mesmo tipo de superfície, diferentes operações poderão ser necessárias, como no caso de uma superfície de revolução que pode se apresentar na forma de um eixo, um disco, um anel ou um tubo. Assim, se o processista conhece as formas básicas e as dimensões de uma peça saberá quais são os métodos de usinagem mais adequados.

- **observação de superfícies críticas e menos críticas.** Uma superfície é dita crítica quando mantém contato com as superfícies de outras peças, já as que não apresentam este tipo de contato são ditas menos críticas. As superfícies críticas são aquelas que apresentam maior exigência de precisão. Desta forma, o planejamento de processos deverá dar maior prioridade às operações feitas nestas superfícies. Com base na precisão e acabamento especificados para uma superfície crítica, se determina qual o método de usinagem a ser utilizado na operação de acabamento. As operações de desbaste e semi-acabamento são determinadas em função do método especificado para o acabamento. Assim o processista tem idéia dos principais métodos de usinagem que serão utilizados.

- **estudo do material e de tratamentos térmicos.** As propriedades mecânicas do material de uma peça são um fator importante na seleção do método de usinagem, pois apresentam grande influência nas condições de corte que poderão ser utilizadas. Como tratamentos térmicos alteram as propriedades mecânicas, devem ser observados com cuidado.

• **estudo das dimensões entre as superfícies da peça.** As dimensões entre as superfícies de uma peça podem ser apresentadas de três formas. A figura 2.1 (a) mostra a cotação paralela, onde todas as dimensões se referem a uma única superfície. A figura 2.1 (b) mostra a cotação em série. A figura 2.1 (c) mostra a cotação combinada, que por sinal, é o método mais comum de dimensionamento de peças. A forma como as superfícies de uma peça são dimensionadas influencia na seqüência de operações, pois segundo WANG e LI (1991), o princípio de coincidência de cotas deve ser seguido.

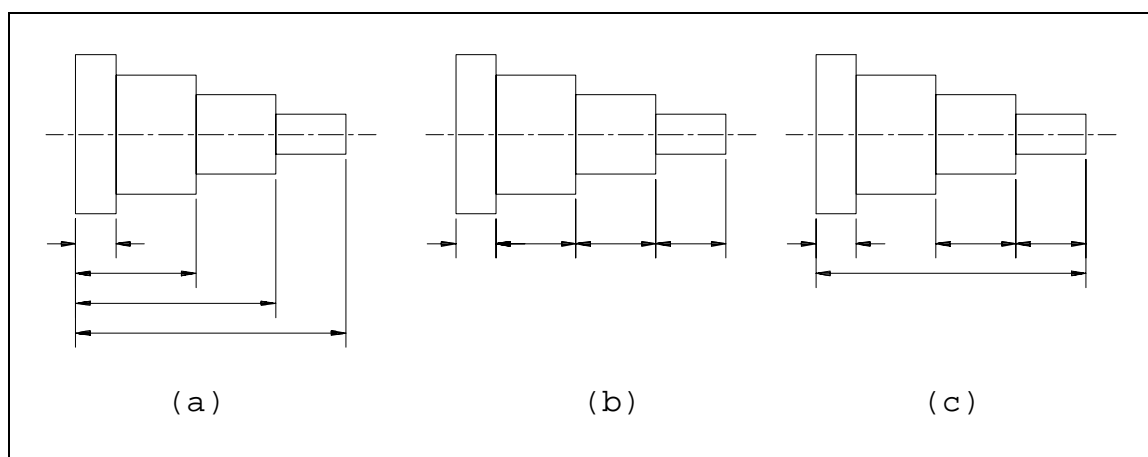


Fig. 2.1: Diferentes formas de dimensionamento. (a) cotação paralela. (b) cotação em série. (c) cotação combinada.

A figura 2.2 (a) mostra o desenho de uma peça com suas respectivas cotas. As figuras 2.2 (b) e (c) mostram duas possíveis formas de usinar a peça. Na seqüência apresentada em (b), as dimensões do desenho serão diretamente obtidas na fabricação, ou seja, ocorre a coincidência entre cotas de projeto e de fabricação. Na seqüência apresentada em (c) duas dimensões de projeto serão obtidas numa única operação de usinagem, o que leva, inevitavelmente, a uma redução nas tolerâncias desta operação, pois será necessária uma transferência de cotas (LOPES, 1983). Assim, a seqüência apresentada em (b) é, obviamente, mais adequada que a

apresentada em (c). Percebe-se então, que a seqüência de usinagem é função das cotas do desenho da peça.

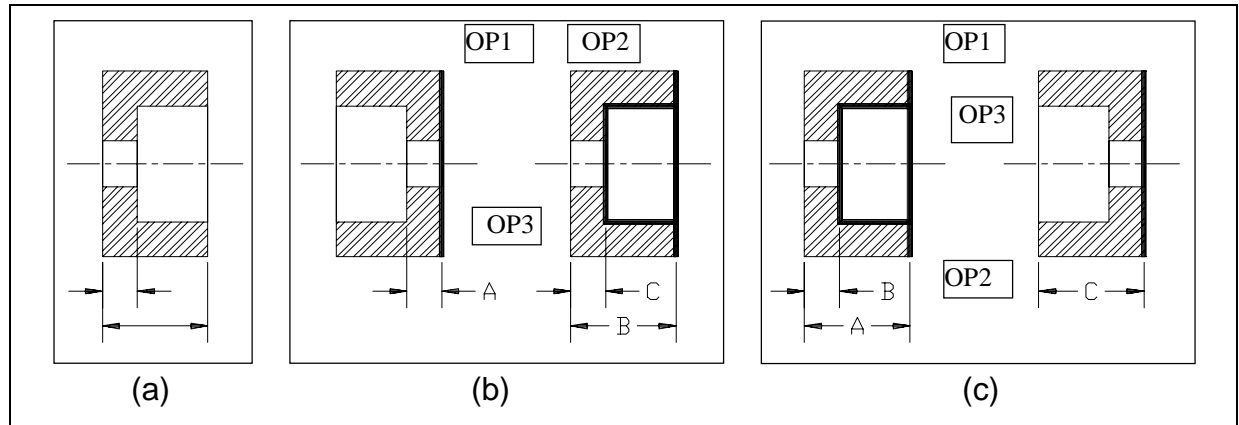


Fig. 2-2: Diferentes alternativas de seqüências de usinagem de uma peça. (a) desenho da peça. (b) seqüência adequada. (c) seqüência incorreta.

II-Seleção de métodos de usinagem

A seleção do método de usinagem de uma determinada superfície é uma das etapas mais importantes do planejamento de processo, pois o método utilizado está diretamente ligado à precisão obtida e aos custos de produção. Para que o processista possa escolher adequadamente um método de usinagem, é necessário que tenha conhecimento dos diversos processos disponíveis, assim como das características que os cercam, como máquinas e ferramentas necessárias.

Como processos convencionais de usinagem pode-se citar: torneamento, furação, fresamento, mandrilamento, retificação, entre outros. Para a usinagem de peças complexas ou de materiais de baixa usinabilidade (ligas de alta dureza), utilizam-se processos não-convencionais de usinagem como: eletro-erosão (EDM), usinagem eletroquímica (ECM), usinagem por ultrassom, etc.

Cada método de usinagem pode garantir uma certa precisão, sob determinadas condições. A tabela 2.1 a seguir mostra a precisão e o acabamento superficial, que podem ser

obtidos por diversos processos, na usinagem de uma superfície cilíndrica externa. É importante observar que estes dados se referem a condições padrão de máquinas, ferramentas, condições de corte e operador.

Tab. 2.1: Precisão e acabamento superficial, obtidos por diversos processos, na usinagem de uma

PROCESSO		CLASSE DE TOLERÂNCIA (IT)	ACABAMENTO SUPERFICIAL Ra(μm)
Torneamento	Desbaste	12-13	10-80
	Semi-Acabamento	10-11	2,5-10
	Acabamento	7-9	1,25-2,5
	Ultraprecisão	5-6	0,08-1,25
Torneamento de Canais	Em um passe	11-12	10-20
	Em dois passes	10-11	2,5-10
Retificação	Desbaste	7-9	0,63-2,5
	Semi-Acabamento	6-7	0,16-0,63
	Acabamento	5-6	0,08-0,16
Lapidação	Semi-Acabamento	5-6	0,04-0,63
	Acabamento	3-5	0,008-0,08
Super-Acabamento		3-5	0,008-0,16
Polimento			0,008-1,25

superfície cilíndrica externa.

A seleção de um método de usinagem, para uma dada superfície, deve considerar os seguintes fatores principais:

- forma da superfície;
- dimensões da superfície;
- precisão e acabamento superficial requeridos;
- forma geral da peça;
- peso da peça;
- material da peça e tratamento térmico aplicado;

- volume de produção.

Para a seleção de métodos de usinagem para uma peça, determina-se, em primeiro lugar, o método de usinagem para a operação final das superfícies mais críticas. A tabela 2.2 a seguir mostra rotas de usinagem que podem ser utilizadas para uma superfície cilíndrica externa.

No.	ROTEAMENTO	CLASSE DE TOLERÂNCIA (IT)	ACABAMENTO SUPERFICIAL
			Ra(μm)
1	Torneamento de Desbaste	12-13	10-80
2	Torneamento de Desbaste- Torneamento de Semi-Acab.	9-11	2,5-10
3	Torneamento de Desbaste- Torneamento de Semi-Acab.- Torneamento de Acabamento	7-9	1,25-2,5
4	Torneamento de Desbaste- Torneamento de Semi-Acab.- Torneamento de Ultraprecisão	5-6	0,08-1,25
5	Torneamento de Desbaste- Torneamento de Semi-Acab.- Retificação de Desbaste	7-9	0,63-2,5
6	Torneamento de Desbaste- Torneamento de Semi-Acab.- Retificação de Desbaste- Retificação de Acabamento	5-6	0,08-0,16
7	Torneamento de Desbaste- Torneamento de Semi-Acab.- Retificação de Desbaste- Retificação de Semi-Acab.- Lapidação	3-6	0,008-0,63
8	Torneamento de Desbaste- Torneamento de Semi-Acab.- Retificação de Desbaste- Retificação de Acabamento.- SuperAcabamento	3-5	0,008-0,16
9	Torneamento de Desbaste- Torneamento de Semi-Acab.- Retificação de Desbaste- Retificação de Acabamento.- Polimento	4-5	0,008-1,25

Tab. 2.2: Rotas de usinagem utilizadas numa superfície cilíndrica externa.

III-Divisão da rota de processo em etapas

Uma rota de processo pode ser dividida em diferentes etapas, quais sejam:

- desbaste. Grande parte do material da peça em bruto é removida através de uma operação de desbaste, ou seja, este tipo de operação visa dar à peça uma forma próxima à final. Sendo assim, o importante é a taxa de remoção de material e não o acabamento da superfície;
- semi-acabamento. O objetivo deste tipo de operação é, para superfícies menos críticas, obter o acabamento final. Já para superfícies críticas serve de preparação para a operação de acabamento;
- acabamento. Tem como objetivo garantir que superfícies críticas tenham a precisão e acabamento superficial requeridos. Sendo assim, a quantidade de material removida num passe de acabamento é mínima.

A divisão de uma rota de processo em etapas pode ser explicada com base nos seguintes motivos:

- redução da influência da deformação da peça na precisão das superfícies usinadas. Durante uma operação de desbaste, devido às severas condições de corte utilizadas, a peça fica submetida a grandes esforços, os quais provocam deformações. As dimensões obtidas, após o desbaste, são então afetadas pela deformação da peça. Como os esforços são menores numa operação de semi-acabamento e ainda mais reduzidos

numa operação de acabamento, a deformação da peça, em cada etapa, será menor e as dimensões finais estarão mais próximas das desejadas;

- detectar defeitos internos no material o mais cedo possível. Se uma peça apresenta defeitos internos, que não podem ser corrigidos, todo trabalho de usinagem que for feito nesta peça será perdido. Assim, a detecção de prováveis defeitos deve ser executada o mais cedo possível. Em uma peça que apresente defeitos internos, estes serão revelados, muito provavelmente, durante as operações de desbaste e portanto o agrupamento destas operações em uma etapa torna a detecção dos defeitos mais rápida;
- evitar que superfícies acabadas sejam danificadas. Durante a fixação, o processo de corte e o transporte de uma peça, esta fica sujeita a choques que podem danificar suas superfícies. A execução de todas as operações de desbaste e semi-acabamento antes do acabamento diminui esta possibilidade.

A decisão por dividir uma rota de processo em etapas dependerá do grau de influência da deformação da peça na precisão. Para peças precisas de pequena rigidez a divisão do processo em etapas é de grande utilidade. Para peças de baixa precisão e de grande rigidez a divisão do processo em etapas não é tão importante assim (inclusive deve ser evitada), já que eleva os custos de produção (pois aumenta a quantidade de setups) e não traz benefícios.

Um aspecto que não pode ser esquecido, durante a divisão do processo em etapas, é a necessidade de acabamento das superfícies de referência para a fabricação mesmo durante o desbaste.

IV-Concentração/Separação de operações

Antes de introduzir os conceitos de concentração e separação de operações é necessário que se tenha uma definição mais precisa do significado de operação, assim como da terminologia utilizada.

Um processo de fabricação é composto por um conjunto de operações que garantem que a matéria-prima seja convertida no produto acabado, sendo assim, o componente básico do processo de fabricação é a **operação**.

Uma operação fica caracterizada quando é definido o equipamento e a peça em que é realizada. Uma operação é constituída por um conjunto de **operações elementares**. Uma operação elementar fica caracterizada quando não há mudança da ferramenta, da superfície usinada e das condições de corte utilizadas. Uma operação elementar é composta por um conjunto de passes. Um **passo** é caracterizado por um movimento único da ferramenta na direção do avanço ao longo da superfície usinada.

Para a execução de uma operação, são necessárias várias atividades (fixar a peça, trocar ferramentas, ligar a máquina-ferramenta, avançar a ferramenta até que toque na peça, medir a superfície usinada, etc). Dentre estas, o *setup* da peça é uma atividade de grande importância. O **setup** consiste no posicionamento e fixação da peça. Se uma operação é executada com um único posicionamento e fixação da peça então diz-se que é realizada em um único *setup*.

Após a seleção dos métodos de usinagem e a definição das etapas do processo, a usinagem das superfícies que são executadas na mesma etapa pode ser organizada em operações. O número de operações presentes num processo de fabricação depende

do critério utilizado para a organização das operações: concentração ou separação.

O conceito de concentração diz que cada operação deve ser formada pelo maior número possível de operações elementares. O conceito de separação diz que cada operação deve ser o mais simples possível. Percebe-se então, que são conceitos antagônicos.

A concentração de operações é caracterizada por operações complexas e em pequeno número, resultando em:

- simplificação da programação da produção devido ao menor número de operações;
- diminuição do tempo de manuseio da peça, pois o número de *setups* também diminui;
- utilização de equipamentos mais sofisticados;
- necessidade de operadores de máquinas mais capacitados devido à maior complexidade das operações.

A separação de operações é caracterizada por operações simples e em grande número, resultando em:

- utilização de equipamentos e ferramentas simples;
- programação da produção bem mais complexa.

A decisão pela concentração ou separação das operações baseia-se nos seguintes fatores:

- processo dividido em etapas. Quando a fabricação da peça deve ser dividida em etapas de desbaste, semi-acabamento e acabamento, as operações elementares de

diferente natureza não podem ser agrupadas em uma operação;

- volume de produção. Para pequenos volumes de produção adota-se sempre o conceito de concentração, visando simplificar a programação da produção. Quando se trabalha com grandes volumes de produção dois caminhos podem ser seguidos:

⇒ separação das operações. É adotada em plantas com equipamentos tradicionais. A eficiência do processo se baseia na simplicidade das operações;

⇒ Concentração das operações. É adotada quando se dispõe de equipamentos avançados (máquinas CNC);

- tamanho e peso da peça. Para peças grandes e pesadas (difíceis de manusear) adota-se a concentração;

V-Seleção de tratamentos térmicos

As operações de tratamento térmico, utilizadas em uma peça, são selecionadas com base em especificações de projeto ou necessidades do processo de fabricação. Dentre os tratamentos térmicos mais comumente utilizados pode-se citar: recozimento, normalização, envelhecimento, têmpera e revenido. As operações de usinagem assim como a qualidade da peça são influenciadas pelo tratamento térmico selecionado. Para que um correto seqüenciamento das operações seja feito, é necessário que tanto o objetivo de cada tratamento térmico quanto seu impacto na qualidade da superfície obtida sejam cuidadosamente analisados.

VI-Definição de operações auxiliares

Além das operações de usinagem e de tratamentos térmicos, algumas operações auxiliares são definidas, num plano de processo. Operações auxiliares são aquelas que não estão

diretamente relacionadas com a produção da peça. Dentre as operações auxiliares mais comuns pode-se citar: inspeção dimensional, superficial, pesagem e limpeza. Em geral as operações auxiliares são efetuadas depois das operações de usinagem.

2.1.1.2-Planejamento detalhado das operações

É um planejamento específico, onde cada operação definida no roteamento do processo é detalhada em termos de máquinas, ferramentas, superfícies de referência para a fabricação, dispositivos de fixação, condições de corte, etc.

As etapas presentes no planejamento detalhado das operações são mostradas em detalhes nos tópicos que se seguem.

I-Seleção de máquinas-ferramentas

A máquina-ferramenta selecionada para uma dada operação influi tanto na precisão quanto na produtividade e no custo de usinagem. Na seleção de uma máquina-ferramenta os seguintes fatores devem ser observados:

- a precisão da máquina deve ser adequada à precisão requerida pela operação;
- a área de trabalho da máquina deve apresentar dimensões compatíveis com as da peça que será usinada;
- a potência da máquina deve ser suficiente para a execução da operação;
- a rigidez da máquina deve se manter durante o corte;

- a produtividade da máquina deve ser adequada ao volume de produção desejado;
- as máquinas disponíveis devem ser, sempre que possível, utilizadas.

II-Seleção de ferramentas

A seleção de ferramentas de corte leva em conta vários aspectos (geometria, material, tamanho, rigidez, etc) que dependem em grande parte do método de usinagem, da estratégia adotada, das dimensões da superfície a ser trabalhada, do material da peça e da precisão desejada. Sempre que possível deve-se optar por ferramentas padronizadas.

Um algoritmo para seleção de ferramentas de corte, que tem por objetivo minimizar o número de ferramentas selecionadas para a execução de uma peça é apresentado por ERVE (1988).

Um fabricante de ferramentas (SANDVIK, 1993) sugere como opção inicial, a seleção de ferramentas de uso geral (ampla gama de aplicação). Se os resultados da utilização desta ferramenta não forem satisfatórios, ferramentas específicas são apresentadas para cada tipo de corte e material.

III-Seleção de dispositivos de fixação

Dispositivos de fixação são necessários para sujeitar a peça na máquina-ferramenta. Sempre que possível deve-se utilizar dispositivos de fixação padronizados como placas, pinças e prismas. Dispositivos específicos são utilizados somente quando absolutamente necessário, para garantir a precisão ou aumentar a produtividade. Quando o volume de produção é pequeno e o produto apresenta mudanças freqüentes, dispositivos de fixação específicos tendem a aumentar os tempos de preparação e os

custos de produção. Detalhes sobre a seleção de dispositivos de fixação podem ser encontrados na referência LIOU e SUEN (1992).

IV-Seleção de superfícies de referência para a fabricação

Todas as cotas que aparecem em um desenho são definidas em relação a uma referência. Para o planejamento de processos as seguintes referências são de grande importância:

- referência de projeto: é um ponto, linha ou superfície a partir do qual a posição de um outro ponto, linha ou superfície é definida em um desenho de projeto. As dimensões num desenho de projeto são chamadas de dimensões de projeto;
- referência de fabricação: é um ponto, linha ou superfície a partir do qual a posição de uma superfície, que deve ser usinada, é definida em um desenho de fabricação. As dimensões num desenho de fabricação são chamadas de dimensões de fabricação;
- referência de posicionamento: é uma superfície da peça que define a sua posição, na direção da dimensão de fabricação, para a sua fixação na máquina-ferramenta. Assim, a posição da superfície a ser fabricada, em relação à ferramenta utilizada, depende da referência de posicionamento;
- referência de medição: é um ponto, linha ou superfície a partir do qual a posição de uma determinada superfície é medida após a usinagem;
- referência de montagem: é um ponto, linha ou superfície que determina a posição de uma peça em um conjunto, ou a posição de um subconjunto em uma máquina.

As dimensões de projeto, juntamente com suas tolerâncias, representam restrições a que cada elemento da peça está submetido. Uma dimensão de projeto é definida com base em requisitos funcionais de cada elemento. Já as dimensões de fabricação, com as respectivas tolerâncias, representam os requisitos que os processos de fabricação devem satisfazer. As dimensões de fabricação são elaboradas de tal forma que as dimensões de projeto sejam sempre garantidas. Percebe-se então, que há uma relação direta entre referências e dimensões de projeto e fabricação.

Por outro lado, a seleção de métodos de posicionamento e medição estão diretamente relacionados às dimensões de fabricação. Na verdade, as referências de projeto, posicionamento e medição são conectadas através da referência de fabricação, como ilustrado na figura 2.3.

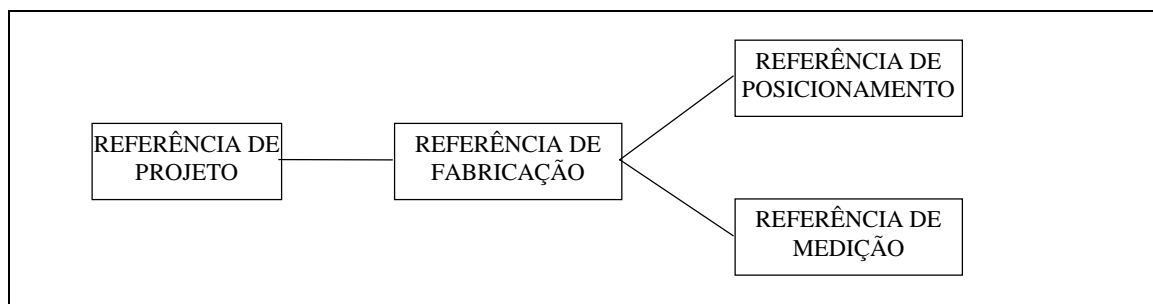


Fig. 2.3: Relação entre referências de projeto, fabricação, posicionamento e medição nas superfícies de uma peça.

A referência de fabricação é a entidade a partir da qual a posição da superfície que será usinada é cotada. Na operação de acabamento de uma superfície, se a referência de fabricação é a mesma da referência de projeto, então a dimensão e a tolerância de fabricação serão obtidas diretamente da dimensão e tolerância de projeto. Caso não ocorra a coincidência entre referências de fabricação e projeto, há então, a necessidade de realizar uma transferência de cotas (LOPES, 1983). A figura 2.4 (a) mostra o desenho de projeto de uma peça.

A figura 2.4 (b) mostra o desenho de fabricação da mesma peça. A cota "C", assim como a sua tolerância, são determinadas através da transferência de cotas.

As tolerâncias das cotas recebem as denominações:

- cota "A" = δ_a
- cota "B" = δ_b
- cota "C" = δ_c

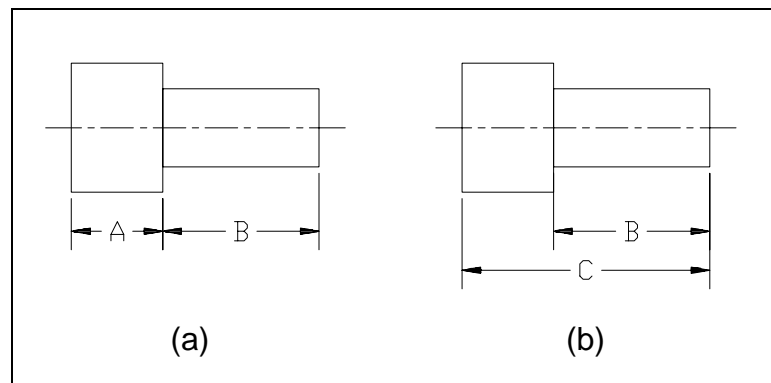


Fig. 2.4: Situação onde as referências de projeto e fabricação não são as mesmas. (a) Projeto. (b) Fabricação.

A cota "A" será obtida indiretamente através da cota "C". As dimensões de fabricação devem garantir que as dimensões de projeto sejam atendidas. O valor da cota "C" e da sua tolerância são então calculados (LOPES, 1983):

$$C=A+B \quad (1);$$

$$\delta_c=\delta_a-\delta_b; \quad (2);$$

Observa-se que há uma redução na tolerância de fabricação (isto é, $\delta_c < \delta_a$). Isto significa que pode haver a necessidade de um processo de fabricação mais preciso, que certamente terá um maior custo. O mesmo raciocínio pode ser

desenvolvido com relação à coincidência entre referências de fabricação/posicionamento e fabricação/medição.

De acordo com o exposto anteriormente, percebe-se que não havendo coincidência entre referências de fabricação e referências de projeto, posicionamento e medição, resulta num estreitamento das tolerâncias, o que deve ser evitado. Este é o chamado **princípio de coincidência de referências**. É importante observar que nem sempre é possível seguir este princípio, já que as referências para posicionamento e medição nem sempre poderão coincidir com a referência de projeto.

Na seleção de referências para a fabricação de operações finais (de acabamento) as seguintes regras devem ser utilizadas:

- as referências de fabricação devem ser adequadas para a medição, para que possam ser diretamente inspecionadas;
- as referências de projeto devem ser utilizadas como referências para a fabricação sempre que possível, para evitar a transferência de cotas e a conseqüente redução de tolerâncias de fabricação;
- as referências de fabricação devem coincidir com as referências de posicionamento, para que não haja necessidade de transferência de cotas e a conseqüente redução de tolerâncias de fixação.

V-Determinação de sobremetais

O sobremetal é uma camada de material que deve ser removida da peça em bruto para que se obtenha a dimensão e acabamento desejados. O sobremetal retirado em uma dada operação é chamado de sobremetal parcial, enquanto o sobremetal que é

retirado durante todo o processo de usinagem de uma superfície é chamado de sobremetal total.

A cada operação em uma superfície está associada uma dimensão que deve ser obtida. O sobremetal a ser retirado numa operação depende das tolerâncias desta operação assim como das tolerâncias da operação anterior. A figura 2.5 mostra uma superfície que tem dimensão L_{i+1} (com tolerância D_{i+1}) que será usinada até a dimensão L_i (com tolerância D_i). O valor nominal do sobremetal é Z_i (com as variações $Z_{i \text{ mín}}$ e $Z_{i \text{ máx}}$).

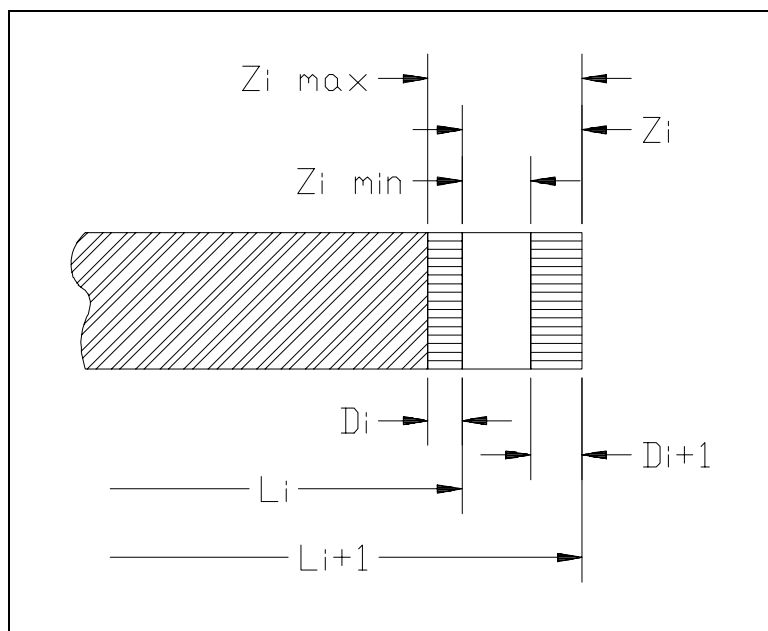


Fig. 2.5: Superfície que será usinada mostrando dimensões e sobremetal parcial com respectivas tolerâncias.

O sobremetal adotado para as operações executadas numa superfície influencia de forma significativa na qualidade final e na produtividade do processo. Uma camada excessiva de sobremetal leva a um consumo exagerado de material, perda de tempo e de recursos, o que eleva os custos de produção e diminui a produtividade. Se a camada de sobremetal é muito fina, a rugosidade superficial e a camada afetada pela operação anterior não serão completamente removidas, o que pode levar a uma qualidade superficial inadequada.

A determinação de sobremetais deve considerar os aspectos:

- qualidade superficial da operação anterior: todo processo de usinagem deixa, na superfície trabalhada, uma rugosidade e uma camada afetada pelo corte, que são proporcionais ao sobremetal utilizado. Cada operação posterior visa remover a rugosidade superficial e a camada afetada, produzida pela operação anterior, ao mesmo tempo em que aumenta a precisão dimensional e qualidade superficial. A qualidade e precisão finais de uma superfície são então obtidas com a redução gradual da camada afetada pelo corte e da rugosidade superficial de cada operação. A figura 2.6 mostra as dimensões obtidas pelas operações executadas numa superfície plana externa, juntamente com os sobremetais adotados;
- tolerância da operação anterior: para garantir que o sobremetal de uma operação seja suficiente para remover a rugosidade superficial e a camada afetada pelo corte anterior, deve-se ter em mente a tolerância dimensional obtida na operação anterior. A figura 2.5 mostra que o valor de $Z_i \text{ mín}$ é dado por $(L_{i+1} - D_{i+1} - L_i)$ e portanto depende da tolerância obtida na operação anterior (D_{i+1}).

Com o objetivo de facilitar a determinação de sobremetais, foram construídas tabelas de recomendações, como a tabela 2.3, que traz valores de sobremetais a utilizar em operações de torneamento de superfícies cilíndricas externas.

Tab. 2.3: Sobremetal que deve ser utilizado no torneamento de uma superfície cilíndrica externa.

DIÂMETRO (mm)	SOBREMETAL NO DIÂMETRO (mm)				OPERAÇÃO ANTERIOR	
	DESBASTE		SEMI-ACAB.			
	COMPRIMENTO (mm)					
	<=200	>200-400	<=200	>200-400		
<=10	1,5	1,7	0,8	1,0		
>10-18	1,5	1,7	1,0	1,3		
>18-30	2,0	2,2	1,3	1,3		
>30-50	2,0	2,2	1,4	1,5	IT14	IT12-13
>50-80	2,3	2,5	1,5	1,8		
>80-120	2,5	2,8	1,5	1,8		
>120-180	2,5	2,8	1,8	2,0		
>180-260	2,8	3,0	2,0	2,3		
>260-360	3,0	3,3	2,0	2,3		

Como exemplo de utilização da tabela 2.3 apresenta-se a determinação do sobremetal que deve ser utilizado numa operação de semi-acabamento de uma superfície cilíndrica externa com 40mm de diâmetro e 300mm de comprimento. Para um diâmetro entre 30-50mm e um comprimento entre 200-400mm a tabela recomenda um sobremetal de 1,5mm nas operações de semi-acabamento. A operação anterior (torneamento de desbaste) deverá fornecer uma superfície com classe de tolerância IT 12-13.

VI-Determinação de dimensões e tolerâncias de usinagem

Cada dimensão de projeto, com as respectivas tolerâncias, é obtida através de uma série de operações de usinagem. Em cada operação executada numa superfície, busca-se obter uma dada dimensão e acabamento superficial.

A dimensão da operação final executada em uma dada superfície é determinada com base na dimensão estabelecida em projeto para aquela superfície. A dimensão de cada operação preparatória é determinada em função do sobremetal estabelecido para a operação seguinte. Assim, as dimensões são calculadas na ordem inversa da sua execução.

A figura 2.6 mostra a relação entre as dimensões das operações e os sobremetais adotados para cada operação executada em uma superfície plana. L_1 é a dimensão da operação final (com tolerância D_1). L_2 , L_3 e L_4 são as dimensões das operações preparatórias (com tolerâncias D_2 , D_3 e D_4 respectivamente). L_5 é a dimensão da matéria-prima bruta (com tolerância D_5). Observa-se que a dimensão de uma operação precedente é dada pela soma da dimensão e do sobremetal da operação atual ($L_2=L_1+Z_1$; $L_3=L_2+Z_2$; etc).

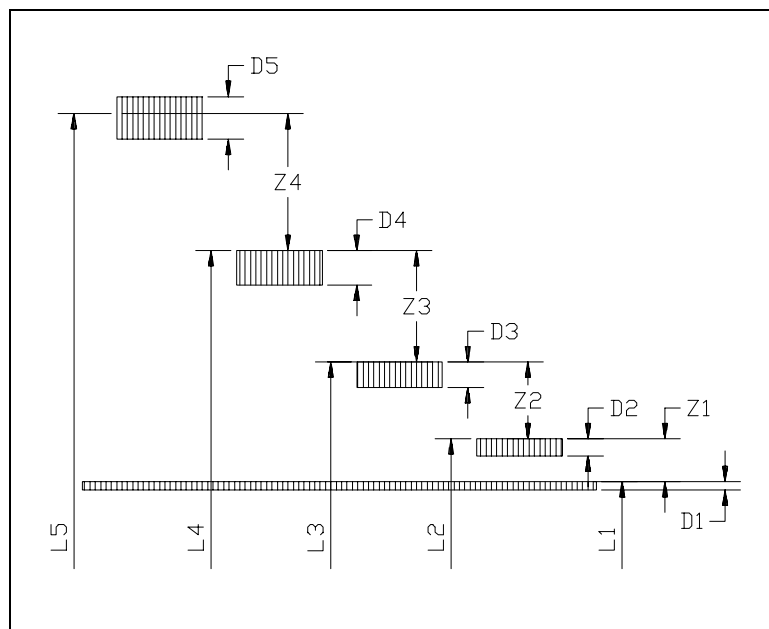


Fig. 2.6: Dimensões das operações executadas numa superfície plana externa, juntamente com os sobremetais adotados.

As tolerâncias de cada operação dependem do processo de usinagem utilizado. Normalmente a tolerância da operação final é aquela especificada em projeto. A tolerância de cada operação preparatória é determinada em função da precisão que pode ser obtida no processo escolhido para a sua execução. As tolerâncias escolhidas para um processo são de grande importância, pois, se forem muito estreitas, métodos precisos deverão ser utilizados, se forem muito largas, ocorrerá uma grande variação no sobremetal da operação seguinte, o que pode impedir que se consiga a precisão e qualidade superficial desejados.

VII-Seleção de condições de corte

As condições de corte utilizadas numa operação influenciam de forma bastante significativa na precisão dimensional e na qualidade superficial obtidas, assim como na vida da ferramenta e produtividade de um processo.

A seleção de condições de corte envolve a determinação de três parâmetros: profundidade, avanço e velocidade de corte. O primeiro passo é a determinação da profundidade de corte (a_p). Se é possível a execução da operação em um único passe, então a profundidade de corte é determinada em função do sobremetal. Em operações de desbaste, a profundidade de corte é função da potência da máquina-ferramenta, do comprimento da aresta de corte, da rigidez da peça, do método de fixação, etc. Desta forma, podem ser necessários vários passes de usinagem para a remoção do sobremetal, com profundidades de corte menores. A profundidade de corte está sempre associada à natureza da operação executada. Operações de semi-acabamento e acabamento geralmente são realizadas em um único passe devido ao pequeno sobremetal utilizado.

Uma vez que a profundidade de corte tenha sido determinada, deve-se selecionar um avanço (f) adequado. O avanço utilizado depende da capacidade da máquina-ferramenta (para operações de desbaste) e da qualidade superficial desejada (para operações de semi-acabamento e acabamento).

Com os valores de a_p e f determinados segue-se ao cálculo da velocidade de corte (v_c). Aqui, de acordo com a teoria da economia da usinagem (STEMMER, 1993), pode-se determinar a velocidade mais adequada à máxima produção ou ao mínimo custo.

Como o objetivo de utilizar condições ótimas de corte, diferentes metodologias são utilizadas. HUANG (1988) apresenta

uma metodologia de otimização baseada no diagrama apXf. SILVA (1994) apresenta uma proposta de otimização de condições de corte baseada no ajuste dos coeficientes da equação expandida de Taylor, a partir de dados experimentais, para cada par material-ferramenta.

VIII-Estabelecimento de tempos padrão

Os tempos padrão estabelecidos para as operações são a base para o planejamento da produção, levantamento de custos, etc. O tempo padrão é o tempo necessário para a execução de uma operação, sob condições bem determinadas.

IX-Documentação do plano de processo

Depois que o conjunto de processos de fabricação foi completamente planejado, deve ser devidamente documentado. Aqui duas formas de documentos são elaboradas: o roteamento e o plano de operações. Estes documentos são a base para a organização do chão-de-fábrica assim como para a realização de cada operação.

O roteamento mostra o processo de fabricação da peça como um todo. Contém as operações do processo, equipamentos e ferramentas que devem ser utilizados em cada operação e tempos estimados para cada operação. A figura 2.7 mostra o esboço de um roteamento de processo.

O plano de operações é um documento detalhado para cada operação, que informa ao operador como cada operação deve ser executada. Contém informações de como a peça deve ser fixada, seqüência de operações elementares, equipamento e ferramentas a utilizar, condições de corte que devem ser adotadas, etc. Para que a operação seja claramente entendida, é comum colocar um desenho da peça, no plano de operações, ilustrando a superfície que deve ser usinada, assim como as dimensões e tolerâncias que

devem ser alcançadas. A figura 2.8 mostra o esboço de um plano de operações.

EMPRESA	ROTEAMENTO DO PROCESSO			No. DO PRODUTO:			PAGINA: DE TOTAL:	
				No DA PEÇA:				
				DESCRIÇÃO:				
MATERIAL:				PEÇAS POR METRO:		QUANTIDADE:		
OP No.	NOME DA OPERAÇÃO	MAQUINA	FERRAMENTA	FIXAÇÃO	MEDIÇÃO	TEMPO PADRÃO	OBSERVAÇÃO	
			PROCESSISTA			APROVADO		
			DATA			DATA		
ALTERAÇÃO	APROVADO	DATA						

Fig. 2.7: Esboço de um roteamento de processo.

EMPRESA	PLANO DE OPERAÇÃO			No. DO PRODUTO:			PAGINA: DE TOTAL:	
				No DA PEÇA:				
				DESCRIÇÃO:				
OP No.	NOME DA OPERAÇÃO	MATERIAL	DUREZA	MAQUINA	FIXAÇÃO	TEMPO PADRÃO		
DESENHO DA PEÇA ILUSTRANDO AS DIMENSÕES DA SUPERFÍCIE QUE DEVE SER USINADA, ASSIM COMO A FORMA DE FIXAÇÃO								
Seq. No.	OP. ELEMENT.	FERRAMENTA	MEDIÇÃO	N (RPM)	F (MM/REV)	AP (MM)	OBSERVAÇÃO	
			PROCESSISTA			APROVADO		
			DATA			DATA		
ALTERAÇÃO	APROVADO	DATA						

Fig. 2.8: Esboço de um plano de operações.

2.1.2-Plano de Processo por Peça X Plano por Lote

Quando se faz um plano de processo para uma determinada peça, uma série de operações são estabelecidas, de forma que seja possível fabricar a peça a partir de uma dada matéria-prima. Tome-se como exemplo, a fabricação de um anel a partir de uma barra (figura 2.9).

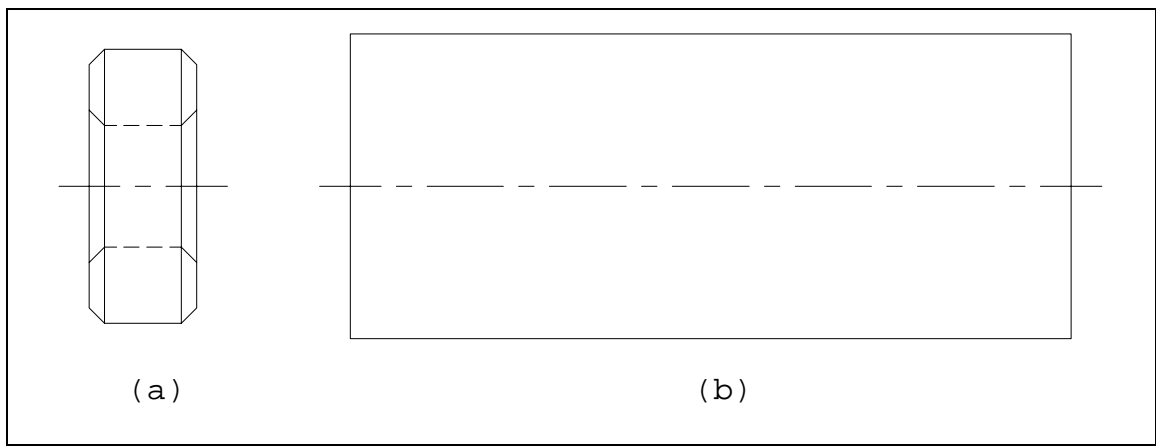


Fig. 2.9: (a) Anel a ser fabricado. (b) Barra utilizada como matéria-prima.

Uma das operações que devem ser realizadas é a furação da barra, até que o diâmetro interno do anel seja atingido. Vários detalhes do processo referentes à operação de furação, como a escolha de ferramentas, depende de dois parâmetros básicos que devem ser definidos: diâmetro e profundidade do furo.

Quando se pensa na produção de uma única peça, o **plano de processos por peça** irá determinar uma operação de furação com profundidade igual ao comprimento da peça (figura 2.10a). Contudo, quando se pensa na execução de um lote de peças, pode ser bem mais interessante a execução de um furo mais profundo, de forma que o diâmetro interno de várias peças seja garantido em uma única operação de furação (figura 2.10b). Esta operação estaria presente num **plano de processos por lote**.

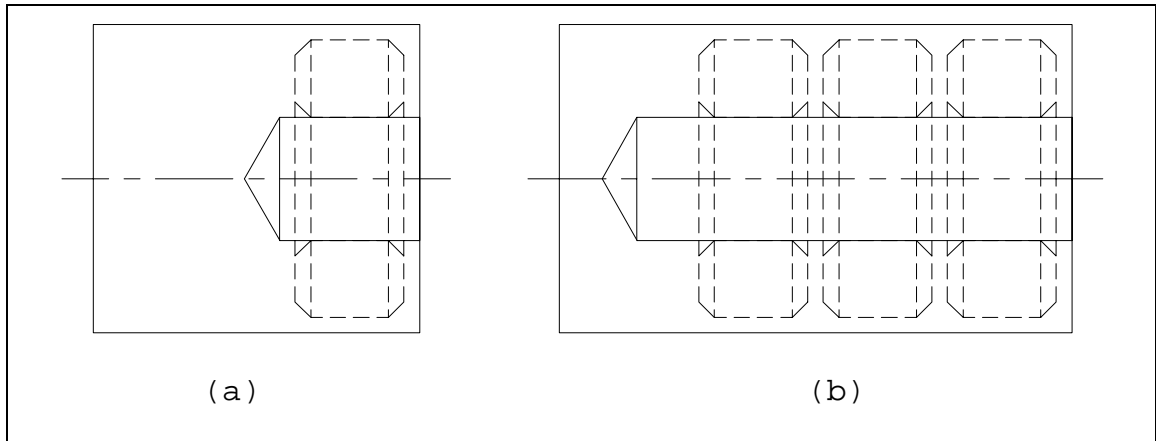


Fig. 2.10: (a) Furação para uma única peça. (b) Furação para várias peças de uma só vez.

O plano de processos de um dado lote é obtido através de algumas modificações feitas no plano de processos da peça. É importante observar que pequenas modificações nas operações necessárias podem levar a uma escolha bem diferente de ferramentas, máquinas, etc.

2.1.3-Plano de Processo *on-line* X *off-line*

Dependendo do nível de integração entre as atividades do ciclo produtivo de uma dada empresa, algumas atividades podem ser realizadas em tempo real. Quando tal situação é encontrada na geração de planos de processo, diz-se que o plano é ***on-line***. Isto porque todo o plano é gerado em função de recursos disponíveis no momento. Caso os planos de processo sejam gerados com uma certa antecedência, não haverá como garantir que os recursos selecionados realmente estarão disponíveis no momento da execução das operações. A este tipo de planejamento de processos, dá-se o nome de plano ***off-line***. Neste caso, é comum a seleção de recursos alternativos, que poderão ser utilizados na execução das operações, caso os recursos principais não estejam disponíveis.

Para que seja possível a utilização de sistemas CAPP para a geração de planos *on-line*, a abordagem de sistemas

generativos (ver seção 2.2.1) se torna essencial, assim como o compartilhamento de dados com um sistema de planejamento da produção (MRP).

Para que seja possível a utilização de sistemas CAPP para a geração de planos *on-line*, a abordagem de sistemas generativos (ver seção 2.2.1) se torna essencial, assim como o compartilhamento de dados com um sistema de planejamento da produção (MRP).

2.2-Planejamento de Processos de Fabricação Auxiliado por Computador

O planejamento de processos auxiliado por computador (CAPP) é tido como parte fundamental de um sistema de manufatura integrada por computador (CIM) por ser responsável pela ligação de dados de projeto (CAD) e fabricação (CAM) (EVERSHEIM e SCHNEEWIND, 1993, p.65). No passado, o desenvolvimento dos sistemas auxiliados por computador foi principalmente concentrado nos sistemas CAD (projeto) e CAM (manufatura). Devido à sua importância no contexto de um sistema CIM, nas últimas décadas grandes esforços têm sido empreendidos no sentido de um maior desenvolvimento de sistemas CAPP.

O ano de 1976 talvez seja o grande marco na corrida pelo desenvolvimento destes sistemas. Naquele ano, dois sistemas foram apresentados, um desenvolvido pela CAM-I (Computer Aided Manufacturing-International) e outro desenvolvido pela OIR (Organization of Industrial Research). Nos anos que se seguiram houve a apresentação de diversos outros sistemas (ALTING e ZANG, 1989, p.553), mas até os dias de hoje a sua aplicação industrial ainda não é uma realidade.

2.2.1-Abordagens de sistemas CAPP

Para a construção de sistemas CAPP duas abordagens básicas são seguidas: variante e generativo. Contudo, alguns sistemas que foram construídos apresentam uma combinação das anteriores dando origem a um terceiro tipo: semi-generativo.

- **variante:** a abordagem variante para o planejamento de processos é comparável à forma manual utilizada por um processista, onde o plano de processos para uma nova peça é obtido através de pequenas alterações executadas em um plano de processos já existente para uma peça similar. Em alguns sistemas variantes, as peças são agrupadas em famílias, caracterizadas por similaridades no processo de fabricação. Para cada família de peças, um plano de processos padrão que contém todas as possíveis operações, é armazenado no sistema. Através da classificação e codificação, um código é definido para cada peça, a partir de uma série de quesitos. Este código é então utilizado para definir a qual família a peça pertence e qual deve ser o plano padrão associado. Em comparação com o planejamento de processos manual, a abordagem variante é bastante vantajosa, pois a manipulação de informações se torna bem mais simples e os planos de processos podem ser padronizados. Contudo, neste tipo de abordagem, a qualidade final do plano de processos ainda depende da habilidade do processista que realiza as modificações necessárias às particularidades de cada peça. Sendo assim, nos sistemas variantes, o computador é apenas uma ferramenta de auxílio às atividades de planejamento de processos;

- **generativo:** neste tipo de abordagem, um novo plano de processos é gerado para cada peça do sistema, sem a intervenção de um processista. São utilizadas tabelas de decisão, árvores de decisão, fórmulas, regras de produção, etc, para definir quais são os procedimentos necessários para converter um material

bruto em uma peça acabada. A entrada de informações sobre a peça para um sistema generativo pode ser do tipo texto, onde o usuário responde a uma série de questões predefinidas, ou do tipo gráfica, onde as características da peça são definidas através de um módulo de CAD. Quando se pensa em um sistema CIM, a utilização de uma interface gráfica para a definição da peça é a maneira mais interessante, pois desta forma a comunicação entre os módulos de CAD e CAPP fica prontamente estabelecida. A grande vantagem deste tipo de abordagem é que os planos de processo gerados são padronizados e completamente automatizados. Este tipo de abordagem torna-se bastante atraente para empresas que trabalham com uma grande variedade de produtos que são feitos em pequenos lotes;

- **semi-generativo:** este tipo de sistema aparece devido à dificuldade encontrada em se criar sistemas puramente generativos. Estes sistemas são um misto de sistemas variante e generativo. Aqui, várias tarefas que seriam realizadas pelo processista, num sistema variante, são automatizadas, mas algumas modificações no plano de processos gerado ainda são necessárias.

2.2.2-Técnicas de implementação de sistemas CAPP

Para cada abordagem de sistemas CAPP existe uma técnica de implementação mais adequada. As mais utilizadas são: tecnologia de grupo e sistemas especialistas.

- **tecnologia de grupo:** a tecnologia de grupo (GT) pode ser definida como o estudo de uma grande população de itens aparentemente diferentes e a sua divisão em grupos com características similares. A utilização típica da tecnologia de grupo aparece no conceito de famílias de peças, onde a codificação e a classificação são utilizadas. Grande parte dos sistemas CAPP variantes, relatados na literatura, se utilizam da tecnologia de grupo como ferramenta de implementação;

• **sistemas especialistas:** de acordo com ALTING e ZANG (1989, p.561) um sistema especialista pode ser definido como uma ferramenta que tem a capacidade de absorver conhecimento em um domínio específico, e utilizar este conhecimento para propor alternativas de solução (para uma revisão mais aprofundada ver seção 2.4). Até o começo dos anos 80, apesar dos esforços empreendidos, o desenvolvimento de sistemas CAPP não havia apresentado resultados muito satisfatórios. Isto porque o planejamento de processos é uma área onde não existem soluções algorítmicas, a capacidade de raciocinar é essencial e as ferramentas computacionais existentes até aquele momento eram muito limitadas neste sentido. Os sistemas especialistas, devido à capacidade de simular o processo de raciocínio de um ser humano, se apresentam como uma das ferramentas mais adequadas para o desenvolvimento de sistemas CAPP generativos.

2.2.3-Requisitos para o desenvolvimento de sistemas CAPP

De acordo com EVERSHEIM e SCHNEEWIND (1993, p.68) futuros desenvolvimentos de sistemas CAPP deverão incluir os seguintes itens:

- comunicação com outras aplicações como planejamento de montagem;
- integração com sistemas CAM para geração de programas de comando numérico;
- utilização de ferramentas de inteligência artificial para o processo de decisão;
- integração com sistemas CAD através de bases de dados compartilhadas. Neste ponto a utilização da tecnologia de *features* é fundamental (uma revisão sobre *features* é apresentada na seção 2.3).

2.3-A utilização de *features* como base de informação

Devido à globalização por que passa a economia mundial, as empresas estão expostas a uma grande concorrência e a redução de custos e tempos de produção passa a ser uma questão fundamental para a sobrevivência destas empresas.

A integração entre as etapas do ciclo produtivo é um dos caminhos que devem ser explorados na busca pela redução de custos e tempos de produção. De acordo com JASTHI et al. (1994, p.67) a modelagem do produto é o ponto central para a promoção de tal integração.

Num sistema de produção integrado, o modelo do produto, definido no módulo de CAD, deve estar disponível para outros módulos (CAE, CAPP, CAM, CAQ, etc) para que estes possam realizar suas funções, assim como estes módulos devem ser capazes de enviar informações de volta para o módulo de CAD a fim de que alterações que sejam necessárias na peça possam ser efetuadas ainda na etapa de projeto (por problemas detectados na fabricação, por exemplo). A utilização de *features* como base de informação para a modelagem do produto é o caminho para se atingir esta integração (TÖNSHOFF et al., 1994, p.757). De acordo com SALOMONS et al. (1993, p.113) a tecnologia de *features* é o caminho mais adequado para se promover a integração entre as atividades de projeto, planejamento de processos, fabricação, inspeção, etc.

2.3.1-Diferentes visões sobre *features*

De acordo com SHAH, MÄNTYLÄ e NAU (1994, p.1), o primeiro trabalho relacionado com *features* foi realizado por Grayer durante seu doutorado em Cambridge, em 1976, onde *features* foram utilizadas para a automatização da geração de programas NC com base em desenhos feitos em um CAD.

Como as pesquisas em *features* são relativamente recentes, várias definições são apresentadas, cada uma formulada com base em conceitos de uma área específica. A seguir apresentam-se algumas definições encontradas na literatura:

- SHAH, ROGERS et al. (1990, p.233) apresentam o conceito de *features de forma* como sendo elementos físicos de uma peça que podem ser identificados por uma forma e por alguns atributos;
- MAYER et al. (1994, p.49) apresentam várias definições de *feature*, cada uma aplicada a uma área distinta:

⇒ *feature de forma*: entidades relacionadas com a geometria e topologia de uma peça;

⇒ *feature de tolerância*: entidade relacionada com os desvios aceitáveis nas dimensões de uma peça;

⇒ *feature de material*: entidade relacionada com as propriedades mecânicas de uma peça;

⇒ *feature funcional*: entidade relacionada com a funcionalidade da peça;

⇒ *feature de montagem*: entidade relacionada às operações de montagem;

- *feature* é uma forma geométrica definida por um conjunto de parâmetros que têm significado especial para engenheiros de projeto e fabricação (JASTHI et al., 1994, p.68);
- IRANI et al. (1995, p.21) definem *feature* do ponto de vista de planejamento de processos: *feature* pode ser identificada como uma modificação na forma, no

acabamento superficial ou nas dimensões de uma peça, produzida por um determinado conjunto de operações;

- ERVE (1988, p.30) apresenta uma definição do ponto de vista de planejamento de processos, onde *features* de forma são tratadas como características de uma determinada peça, com uma forma geométrica definida, que podem ser utilizadas para especificação de processos de usinagem, fixação e medição;
- SALOMONS et al. (1993, p.115) em sua revisão sobre pesquisas com projeto baseado em *features* apresentam um série de definições, algumas das quais foram coletadas na literatura. Assim, *features* podem ser:

⇒ um conjunto de informações referentes à forma assim como outros atributos de uma peça, de tal forma que este conjunto possa ser manipulado em projeto, manufatura e montagem (definição apresentada pelos autores);

⇒ configurações geométricas específicas formadas em uma superfície, aresta ou canto de uma peça. Este conceito é elaborado tendo por base o ponto de vista de planejamento de processos (Glossário Ilustrado de *Features* da CAM-I);

⇒ uma forma genérica que tem algum significado em engenharia (Wingard);

⇒ um conjunto de informações usado para descrever uma peça. Cada *feature* possui informações relativas à funcionalidade, projeto e manufatura (Giacometti e Chang);

⇒ uma forma geométrica ou entidade cuja presença ou dimensões são requeridas para a realização de

pelo menos uma das atividades de um sistema CIM (Luby);

⇒ uma entidade capaz de armazenar informações do produto que podem ajudar a atividade de projeto assim como a comunicação do projeto com a fabricação ou entre quaisquer outras atividades de engenharia (Shah);

⇒ uma entidade manipulada durante atividades de projeto, engenharia e manufatura (Relatório da CAM-I).

Em grande parte das definições apresentadas, busca-se estabelecer uma associação entre *feature* e forma geométrica. Isto se dá porque grande parte das aplicações que utilizam *features* são voltadas para a área de planejamento de processos, onde a forma geométrica é essencial, e o termo *feature* é utilizado para se referir a *feature* de forma. Para que *features* possam ser utilizadas como elemento de ligação entre as atividades do ciclo produtivo devem ser capazes de armazenar informações geométricas (forma e dimensões) e outros tipos de informações que sejam necessárias para a realização de alguma etapa do ciclo produtivo.

2.3.2-O elo de ligação entre as atividades de projeto e manufatura

Projeto e manufatura talvez sejam as etapas do ciclo produtivo que tiveram o maior avanço tecnológico das últimas décadas, com o desenvolvimento de sistemas CAD (de auxílio ao projeto) e dos sistemas CAM (de auxílio à geração de programas NC). Contudo, este desenvolvimento se deu de forma isolada, e a comunicação de sistemas CAD/CAM é hoje um grande problema, ocasionando um aumento exagerado no tempo de desenvolvimento de qualquer produto.

Este problema ocorre devido ao pequeno desenvolvimento dos sistemas CAPP, que na verdade têm a tarefa de promover a ligação entre dados de projeto e fabricação. A passagem de dados de projeto para planejamento de processos e deste para a fabricação deve então ser o ponto estudado.

Para a geração de um plano de processos, é necessário que uma análise detalhada da peça seja empreendida. Quando se deseja utilizar o computador para a geração de planos de processo, a utilização da tecnologia de *features* facilita a análise da peça (SALOMONS, 1995). Sendo assim, é interessante que os dados manipulados por um sistema CAPP estejam na forma de *features* de manufatura. De acordo com SHAH, MÄNTYLÄ e NAU, (1994, p.3) existem essencialmente duas formas de se fazer a preparação de dados de um produto, com base em *features* de manufatura, para o planejamento de processos:

- reconhecimento de *features* de manufatura a partir de um modelo sólido;
- mapeamento de *features* de projeto em *features* de manufatura.

Nos tópicos que se seguem, as duas abordagens são apresentadas.

2.3.2.1-Reconhecimento de *features*

Neste tipo de abordagem, a peça criada no CAD é representada em termos de um modelo sólido. As *features* de manufatura são identificadas, com base neste modelo sólido, de forma automática ou de forma interativa.

Dentre as técnicas de reconhecimento mais utilizadas pode-se citar:

- método de secção: é tipicamente utilizado para a geração de trajetórias de ferramentas para fresamento em 2,5D;
- decomposição convexa: neste algoritmo ocorre a decomposição do volume do sólido em várias partes. A decomposição é efetuada a partir da subtração do volume do sólido da menor casca convexa que o envolve. O processo se repete até que o resultado da subtração seja um sólido de volume nulo;
- métodos baseados no contorno: neste método, para cada *feature*, condições geométricas e topológicas que devem ser satisfeitas são identificadas. Para que o reconhecimento de uma determinada *feature*, no modelo sólido, seja executado, é feita uma procura no banco de dados geométrico para verificar se as condições relativas a esta *feature* são satisfeitas;
- decomposição celular: este método tem sido aplicado para a determinação de volumes que devem ser usinados, a partir da subtração do modelo sólido da peça do modelo sólido da matéria-prima.

A revisão apresentada acima é apenas uma introdução às técnicas utilizadas. Detalhes de cada técnica podem ser encontrados nas referências: HENDERSON et al. (1994), KIM (1994) e SAKURAI e CHIN (1994). Dentre os trabalhos encontrados na literatura, que se utilizam de reconhecimento de *features* pode-se citar: FERREIRA (1990), ABDOU e CHENG (1993) e SHAH, ROGERS et al. (1990).

Alguns pesquisadores apresentam restrições com relação ao reconhecimento de *features* como BRONSVOORT e JANSEN (1994, p.316), que afirmam que o reconhecimento é de certa forma redundante, pois durante a etapa de projeto, informações de alto

nível sobre o produto são transformadas em informações geométricas de baixo nível. Durante o reconhecimento de *features* as informações geométricas são reprocessadas com o fim de recuperar as informações de alto nível perdidas.

2.3.2.2- Mapeamento de *features*

Neste tipo de abordagem, uma biblioteca de *features* de projeto é colocada à disposição do projetista, que cria a peça através da instanciação das *features* presentes nesta biblioteca (SHAH, BHATNAGAR e HSIAO, 1988, p.489). Sendo assim, o modelo da peça é representado em termos de *features* de projeto. As *features* de manufatura são obtidas através da conversão ou mapeamento das *features* de projeto para o domínio da manufatura. De acordo com Shah citado por SHAH, MÄNTYLÄ e NAU (1994, p.5) o mapeamento de *features* pode ser feito de diferentes maneiras, quais sejam:

- um-para-um: quando a *feature* resultante do mapeamento é idêntica à *feature* mapeada (do outro domínio);
- reparametrização variante: quando diferentes conjuntos de atributos são utilizados para representar a mesma *feature* em diferentes domínios;
- agregação discreta: quando duas ou mais *features* de um domínio são mapeadas para uma única *feature* em outro domínio;
- decomposição discreta: quando uma *feature* é mapeada para duas ou mais *features* em outro domínio;
- conjugação: quando uma *feature* (obtida após o mapeamento) é resultante de apenas algumas partes de duas ou mais *features* de um outro domínio.

Uma revisão mais detalhada sobre mapeamento de *features* pode ser encontrada nas referências GADH (1994) e SHAH, SHEN e SHIRUR (1994).

Para que seja possível ter o modelo da peça em termos de *features* de projeto, é necessário que se realize um projeto por *features*. De acordo com Finger e Dixon citados por SALOMONS (1995, anexo A1), a utilização do computador no auxílio às atividades de projeto pode se dar em três etapas, quais sejam:

- projeto conceitual ou preliminar;
- projeto estrutural ou de configuração;
- projeto paramétrico ou detalhado.

Sistemas de projeto por *features* têm sido construídos, como os relatados em SHAH, HSIAO e ROBINSON (1990) e YOU, CHU e KASHYAP (1989), mas são adequados somente para a etapa de detalhamento. As etapas de projeto estrutural e conceitual ainda não dispõem de sistemas baseados em *features*.

O planejamento de processos necessita, além da definição da geometria da peça, de dados como tolerâncias, acabamentos superficiais e especificações de material (SHAH, MÄNTYLÄ e NAU, 1994, p.3). Se estes dados já estão prontos no modelo derivado de um CAD baseado em *features*, então, quando comparado a um sistema de reconhecimento de *features*, esta abordagem permite uma redução significativa no esforço empreendido para a comunicação CAD/CAPP. Por outro lado, ao utilizar um sistema de projeto por *features*, o projetista deve se limitar à utilização das *features* presentes na biblioteca. Esta seria então uma desvantagem do projeto por *features* em relação ao reconhecimento de *features*.

2.3.3-Pesquisas em *features* que vêm sendo realizadas

A tecnologia de *features* está ainda na sua infância, sendo necessária a realização de pesquisas referentes à sua aplicação nas etapas do ciclo produtivo. De acordo com SALOMONS (1995) as pesquisas em *features* têm sido encaminhadas nas áreas que se seguem:

- representação de *features*: procura definir como as *features* serão representadas internamente no computador. Dois aspectos devem ser considerados:
 - ⇒ forma: pode ser volumétrica ou superficial;
 - ⇒ significado de engenharia: é uma área onde os métodos estão muito pouco desenvolvidos. Nielsen citado por SALOMONS (1995) apresenta um trabalho onde as relações geométricas entre as *features* são utilizadas para capturar significado de engenharia;
- definição de *features*: procura definir quais os atributos tanto geométricos quanto tecnológicos que devem estar associados às *features*;
- *features* e restrições: procura definir quais as relações entre as restrições que são impostas sobre a peça e as *features* que a constituem;
- validação de *features*: procura determinar quais são as condições que devem ser satisfeitas para que as *features* sejam válidas. Por exemplo, um furo (*feature* negativa) não pode existir sem que esteja mergulhado num bloco ou eixo (*feature* positiva);

- múltiplas visões em features: devido às diferentes necessidades de diferentes aplicações, um mesmo componente pode ser visto de várias formas. Muitas vezes é interessante migrar de uma aplicação para outra e uma transformação de *features* se torna necessária. Esta área estuda os mecanismos de transformação de um domínio para outro. Por exemplo, pode ser necessária a análise de uma mesma peça por *softwares* de CAE e CAPP. Certamente as informações necessárias a cada *software* seriam diferentes;
- padronização de features: pesquisas nesta área buscam classificar e padronizar *features*. Os primeiros esforços neste sentido foram feitos para a padronização de *features de forma* e são relatados em CAM-I (1986). Esforços têm sido feitos no sentido de uma padronização não só de *features de forma*, mas de todas as informações necessárias no ciclo de vida de um produto através da norma STEP (SHAH e MATHEW, 1991);
 - features e linguagens: linguagens podem ser utilizadas para representar e definir *features*. Vários são os trabalhos citados por SALOMONS (1995) que buscam estabelecer linguagens adequadas para a descrição de *features*: Express, ADDL (Linguagem de Descrição de Projeto), FDL (Linguagem de Descrição Funcional) e PDGL(Linguagem Gráfica para o Projeto de Peças).

2.4-A utilização de sistemas especialistas

O planejamento dos processos de fabricação tem uma característica bastante peculiar: não existe um algoritmo predefinido para a geração dos planos de processo. Assim, se faz

necessária a utilização de uma metodologia de programação especialmente voltada para a solução de problemas desta natureza. A tecnologia de sistemas especialistas se apresenta como uma alternativa bastante atrativa.

A utilização de sistemas especialistas de forma comercial é bastante recente (teve seu começo na década de 80), mas, de acordo com WATERMAN (1986), pesquisas são desenvolvidas desde a década de 60. Os sistemas especialistas constituem um ramo importante da inteligência artificial. Nos tópicos que seguem apresenta-se uma introdução à teoria de sistemas especialistas.

2.4.1-O que são sistemas especialistas

De acordo com a definição apresentada em GIARRATANO e RILEY (1994) sistemas especialistas são programas de computador que se utilizam de conhecimento e procedimentos de inferência para resolver problemas bastante complexos que necessitam, para a sua solução, de um conhecimento bastante específico.

Neste sentido, pode-se dizer que sistemas especialistas são *softwares* que procuram imitar a forma de raciocínio de um especialista no assunto, para a solução de um determinado problema.

Pelo fato dos sistemas especialistas se utilizarem de uma base de conhecimento para a solução de problemas, os termos "sistemas baseados no conhecimento" e "sistemas especialistas baseados no conhecimento" são muitas vezes utilizados como sinônimos de sistemas especialistas, embora não restrinjam o conhecimento utilizado ao obtido de um especialista no assunto. Assim, o termo sistema especialista é utilizado, atualmente, para se referir aos sistemas baseados em conhecimento, mesmo que

este tenha sido obtido a partir de livros e revistas que lidam com o assunto em questão.

2.4.2-Partes constituintes de um sistema especialista

Como apresentado em WATERMAN (1986), os sistemas especialistas são constituídos por duas partes distintas, quais sejam:

- uma base de conhecimento;
- um motor de inferência.

A base de conhecimento, por sua vez, é dividida em duas partes:

- dinâmica: é a base de dados (fatos) sobre a qual o sistema trabalha;
- estática: é o conhecimento que o sistema tem a respeito das relações entre os fatos;

O motor de inferência também é dividido em duas partes básicas, quais sejam:

- interpretador: promove a ligação das partes estática e dinâmica da base de conhecimento;
- controlador: rege o funcionamento do interpretador, no sentido de controlar a ordem em que este estabelece as ligações da base de conhecimento.

A figura 2.11 mostra a estrutura de um sistema especialista.

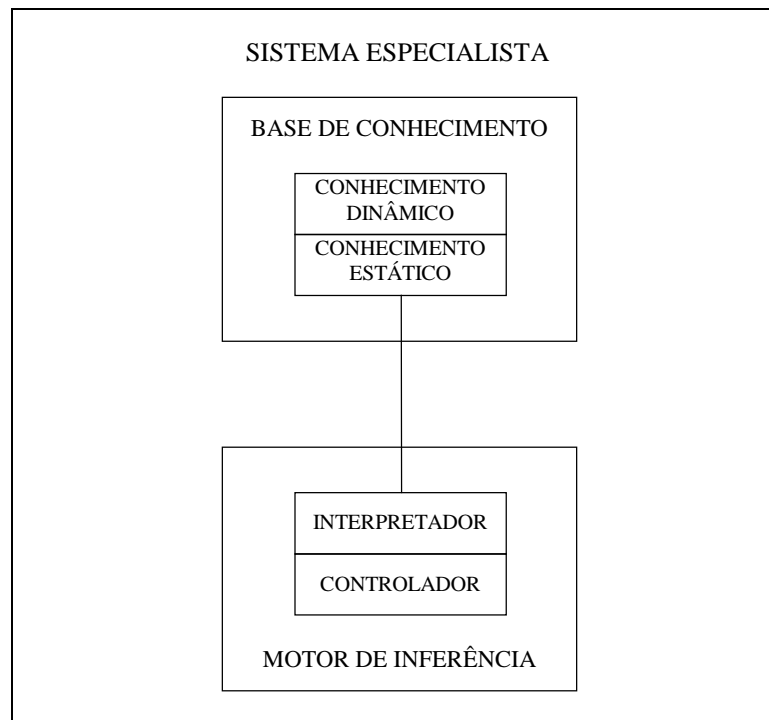


Fig. 2.11: Partes constituintes de um sistema especialista.

2.4.3-Formas de representar o conhecimento

Diferentes formas podem ser utilizadas para representar uma base de conhecimento. A seguir, apresenta-se a forma mais comum de representar as partes estática e dinâmica de uma base de conhecimento:

- conhecimento dinâmico: é geralmente representado por **fatos** do tipo: "A peça tem um furo".
- conhecimento estático: a forma mais difundida de se representar o conhecimento estático, em um sistema especialista, é através de **regras** do tipo *IF THEN*. Uma possível regra seria:

⇒ Se

* "A peça tem um furo"

⇒ Então

* "Deve haver uma operação de furação".

O novo fato "Deve haver uma operação de furação" é gerado, pela regra acima, quando o fato "A peça tem um furo" estiver presente na base de fatos. Aos fatos que servem de base para o disparo de uma dada regra dá-se o nome de premissa da regra, aos que são gerados quando a regra é executada dá-se o nome de conclusão da regra.

Uma forma mais recente e bastante eficiente, apresentada por GIARRATANO e RILEY (1994), de se representar o conhecimento é a utilização de classes para modelar um sistema (detalhes sobre classes podem ser obtidos na seção 2.5, onde apresenta-se uma revisão sobre a análise orientada a objeto). Neste tipo de representação, os fatos são substituídos pelos atributos dos objetos de cada classe. As regras (conhecimento dinâmico) passam então a atuar sobre os atributos dos objetos. O novo modelo seria assim representado:

Classe: Furo

Diâmetro:

Profundidade:

Operações:

Um possível objeto pertencente à classe furo teria os atributos:

Diâmetro: 10 mm

Profundidade: 50 mm

Operações: vazio.

Como exemplo de uma regra que atuaria sobre este objeto, tem-se:

⇒ Se

* existe um objeto da **classe furo** com:

Diâmetro = D

Profundidade = P

⇒ Então

* associe ao atributo Operações deste objeto uma operação de Furar com Diâmetro = D e Profundidade = P.

O objeto passaria a ter então, os seguintes valores:

Diâmetro: 10 mm

Profundidade: 50 mm

Operações: Furar, Diâmetro = 10 mm, Profundidade = 50 mm.

2.4.4-Como funciona um sistema especialista

O funcionamento de um sistema especialista depende da forma como é utilizado. Pode-se utilizar um sistema especialista como um sistema simulador ou como um sistema que analisa a veracidade de hipóteses.

Quando utilizado como um simulador tem-se o que se chama de encadeamento para frente (*forward chaining*). Quando utilizado para analisar a veracidade de hipóteses tem-se o que se chama de encadeamento para trás (*backward chaining*).

2.4.4.1-Um sistema especialista realizando encadeamento para frente

O encadeamento para frente é adequado para determinar quais são as conseqüências de um dado fato ocorrido em um dado sistema.

Seu funcionamento pode ser descrito com base nas relações existentes entre os elementos que o constituem. Como mostrado na figura 2.12, o interpretador fica continuamente monitorando a base de fatos e a base de regras com o objetivo de construir uma lista (agenda) das regras que têm suas premissas satisfeitas pelos fatos já existentes. Uma regra que seja colocada no topo da agenda será a primeira a ser executada. A ordem em que as regras são colocadas na agenda e a sua execução são ditadas pela estratégia adotada pelo controlador.

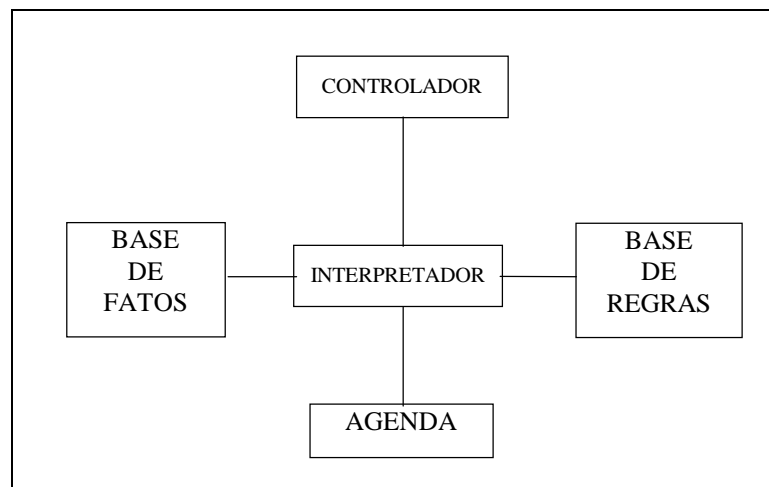


Fig. 2.12: Relações entre as partes constituintes de um sistema especialista com encadeamento para frente.

Dentre as estratégias comumente utilizadas por um controlador pode-se citar: execução **em largura** e **em profundidade**.

Suponhamos que duas regras "R1" e "R2" tenham suas premissas satisfeitas por um fato "A", presente na base de fatos

(figura 2.13). Estas regras são então colocadas na agenda. A execução da regra "R1" leva à criação do fato "B", que satisfaz à regras "R3" e "R4". Estas regras ("R3" e "R4") são agora colocadas na agenda. Se "R3" e "R4" são colocadas acima de "R2", então tem-se uma execução em profundidade. Se "R3" e "R4" são colocadas depois de "R2", então tem-se uma execução em largura.

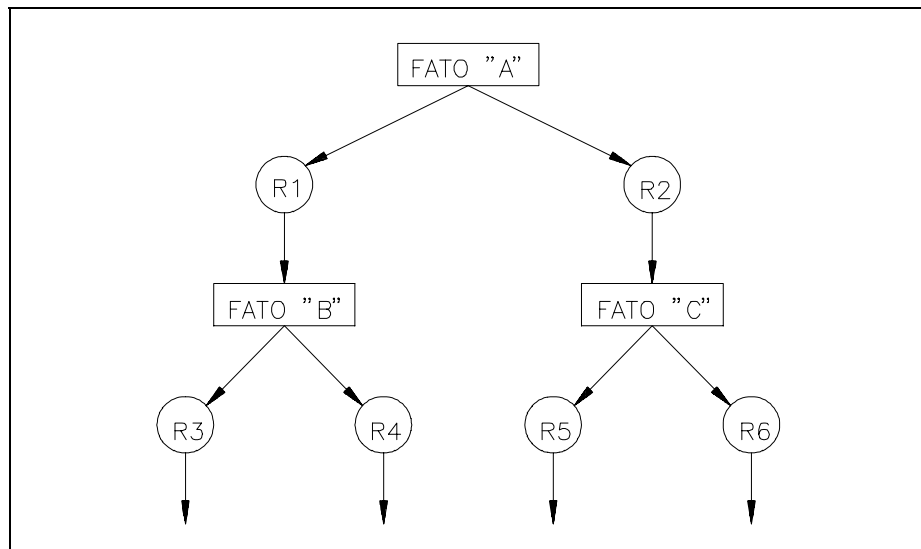


Fig. 2.13: Fluxo de execução num sistema especialista com encadeamento para frente.

2.4.4.2-Um sistema especialista realizando encadeamento para trás

O encadeamento para trás é adequado para determinar quais são as causas que levaram a um dado fato, em um dado sistema, ou simplesmente para verificar se uma determinada hipótese se sustenta, com base nos fatos já conhecidos.

Neste caso as relações entre os elementos que constituem o sistema especialista são diferentes daquelas presentes no encadeamento para frente. De acordo com a figura 2.14, o interpretador recebe um fato (uma hipótese que deve ser provada) e verifica se este já existe na base de fatos. Se sim, então a hipótese é imediatamente provada. Se não, então o interpretador verifica na base de regras quais as regras que têm como conclusão aquele fato. Os fatos que estão nas premissas

dessas regras passam então, a ser hipóteses intermediárias que devem ser provadas. O processo se encerra quando um fato presente na base de fatos dá suporte ao raciocínio desenvolvido, ou quando não há mais caminhos para tentar provar a hipótese.

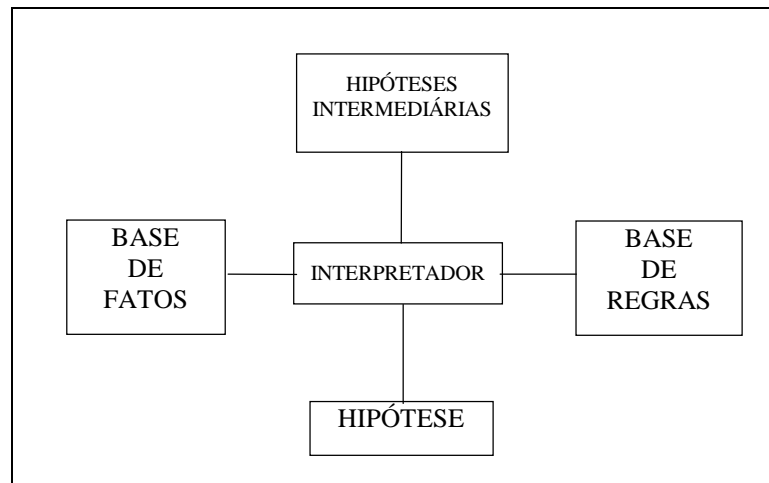


Fig. 2.14: Relações entre as partes constituintes de um sistema especialista com encadeamento para trás.

A figura 2.15 mostra o fluxo de raciocínio num sistema realizando encadeamento para trás. Deseja-se verificar se a hipótese H_0 pode ser provada com base nos fatos já existentes. De acordo com a base de regras, se um dos fatos H_1 , H_2 ou H_3 for verdade então H_0 será provada. Procura-se então provar pelo menos uma das hipóteses intermediárias H_1 , H_2 ou H_3 .

Para que H_1 seja provada é necessário que o fato "A" exista, o que, neste caso não acontece. Então este caminho não prova a hipótese inicial (H_0).

Para que H_2 seja provada é necessário que as duas hipóteses intermediárias (H_4 e H_5) sejam simultaneamente provadas. Para que H_4 seja provada é necessário que exista o fato "B", o que realmente acontece, e portanto H_4 é verdade. Mas ainda resta provar H_5 , que depende da existência dos fatos "C" e "D". Embora exista o fato "D", o fato "C" não está presente e portanto H_5 não pode ser provada. Assim H_2 também não pode ser

provada e novamente tem-se um caminho que não prova a hipótese inicial (H0).

Resta então tentar provar H3. Para que H3 seja provada é necessário que a nova hipótese intermediária H6 seja provada. Para que H6 seja provada é necessário que existam simultaneamente dois fatos: "D" e "E". Os fatos "D" e "E" estão presentes na base de fatos e conseqüentemente H6 é verdade. Sendo H6 uma verdade, H3 também o é, e segue-se que a hipótese inicial (H0) é verdadeira.

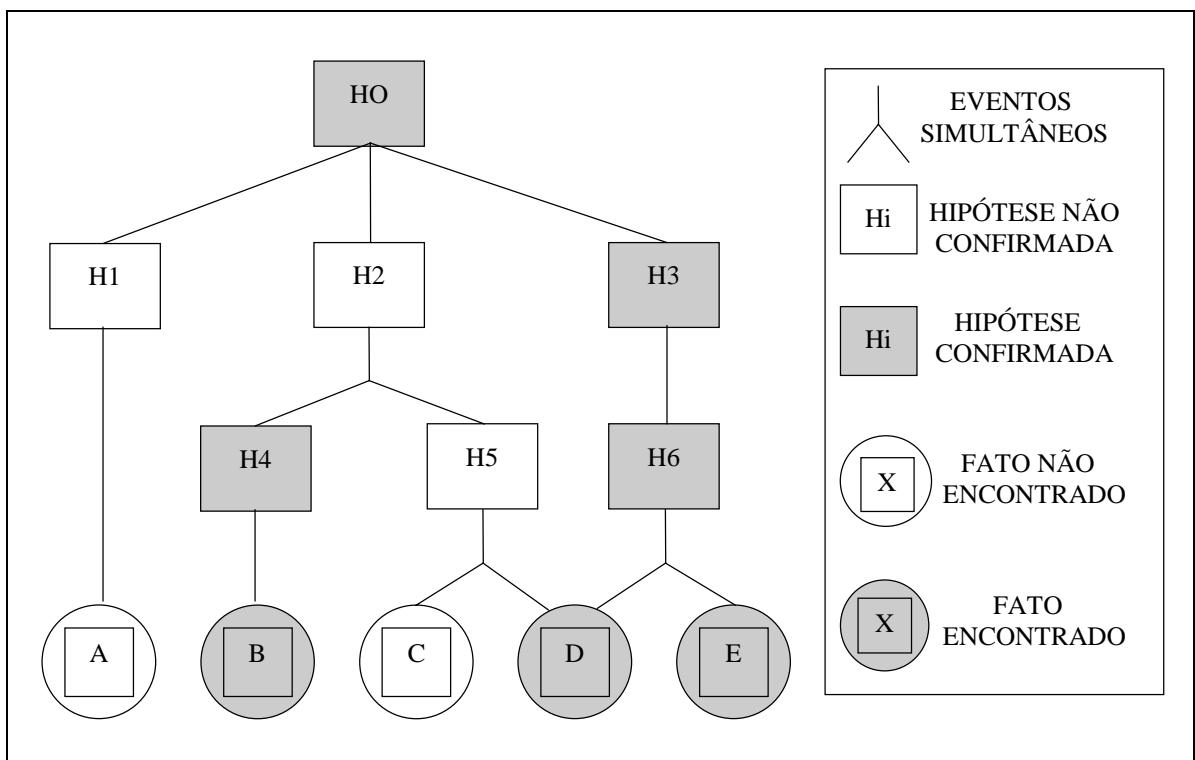


Fig. 2.15: Sistema especialista realizando encadeamento para trás para provar uma hipótese (H0).

2.4.5-Campo de aplicação de sistemas especialistas

Sistemas especialistas são indicados para resolver problemas que não tenham solução algorítmica, quando se consegue expressar o conhecimento sobre o sistema através de regras. Sendo assim, os sistemas especialistas se diferem dos sistemas convencionais em um ponto básico: o controle sobre o fluxo de

execução. Os sistemas convencionais apresentam uma programação procedural, onde a seqüência de execução é um aspecto importante que deve ser previamente definido. Já nos sistemas especialistas não há uma preocupação, por parte do construtor do sistema, com a seqüência de execução, pois esta é indiretamente definida através das regras e dos fatos presentes no sistema.

Os sistemas especialistas são dependentes de uma base de conhecimento criada a partir das regras. A criação de bases de conhecimento para um domínio amplo hoje ainda não é uma realidade, devido às dificuldades encontradas em se aglomerar e manipular diferentes áreas de conhecimento. O caminho mais utilizado, atualmente, é a construção de bases de conhecimento para um domínio bastante restrito.

Desta forma, o campo de aplicação dos sistemas especialistas passa a ser o dos sistemas com domínios reduzidos sobre os quais se pode expressar o conhecimento na forma de regras, quando um algoritmo não é adequado ou simplesmente não existe para a solução do problema.

2.4.6-Vantagens da utilização de sistemas especialistas

Os sistemas especialistas apresentam uma série de características positivas, dentre as quais pode-se citar:

- disponibilidade: uma vez construído, o sistema estará disponível em qualquer computador que seja adequado à sua execução;
- custo reduzido: o custo de desenvolvimento quando dividido pelo total de usuários pode ser bastante atrativo;

- permanência: ao contrário de especialistas humanos, um sistema especialista não morre e portanto o seu conhecimento é permanente;
- regularidade: o funcionamento de um sistema especialista não será afetado pelo cansaço nem por problemas emocionais. Assim, numa situação de emergência, onde várias horas de trabalho sejam necessárias e decisões importantes estejam envolvidas, a utilização de um sistema especialista pode ser bastante interessante;
- descrição da linha de raciocínio: a conclusão a que um sistema especialista chega pode ser explicada através da linha de raciocínio desenvolvida, o que aumenta a confiabilidade da decisão tomada.

Apesar de tantas características positivas, **os sistemas especialistas são incapazes de absorver o senso comum**, pois este não pode ser descrito em termos de regras. Desta forma, a utilização de um sistema especialista é bastante vantajosa quando se pensa no seu uso em conjunto com um especialista no assunto. O sistema especialista trabalha então, no sentido de fazer sugestões que podem ser ou não aceitas por um humano.

2.5-A análise orientada a objeto

O passo inicial para o desenvolvimento de qualquer *software* é a sua especificação. Para a realização da especificação de um sistema este deve ser modelado adequadamente. A análise de um sistema procura identificar a relação entre os seus componentes, se utilizando de modelos preconcebidos.

Dentre as diversas formas de análise de sistemas (diagrama de fluxo de dados, análise funcional, etc) a análise

orientada a objeto é uma ferramenta recente que tem se tornado cada vez mais utilizada. A seguir é apresentada uma breve introdução ao assunto. Uma revisão aprofundada sobre o assunto pode ser encontrada em COAD e YOURDON (1992).

A análise orientada a objeto procura modelar as informações de um sistema de tal forma que dados estejam fortemente ligados às funções que os manipulam. O conceito básico utilizado é o de classes, onde todos os entes presentes no sistema são identificados como objetos (instâncias) pertencentes a uma dada classe.

A cada classe são associados atributos e funções (métodos) que manipulam estes atributos. Normalmente os atributos são representados por substantivos, ao passo que os métodos são representados por verbos. A figura 2.16 mostra como exemplo uma possível definição para a classe **pessoa**.

DEFINIÇÃO DA CLASSE PESSOA	
ATRIBUTOS	MÉTODOS
Nome	Andar
Idade	Comer
Sexo	Dormir

Fig. 2.16: Definição da classe pessoa.

As classes são agrupadas em famílias. Dentro de uma mesma família, as classes estão dispostas em uma hierarquia, que vai de uma classe mais genérica (classe base) para as mais específicas (derivadas). As classes derivadas podem herdar os atributos e métodos das classes mais genéricas da mesma família. A relação entre as classes é caracterizada pela seguinte frase: classe derivada É UM(A) classe genérica. A figura 2.17 mostra

uma hierarquia, onde a classe AUTOMÓVEL é a base e as classes CARRO e CAMINHÃO são derivadas.

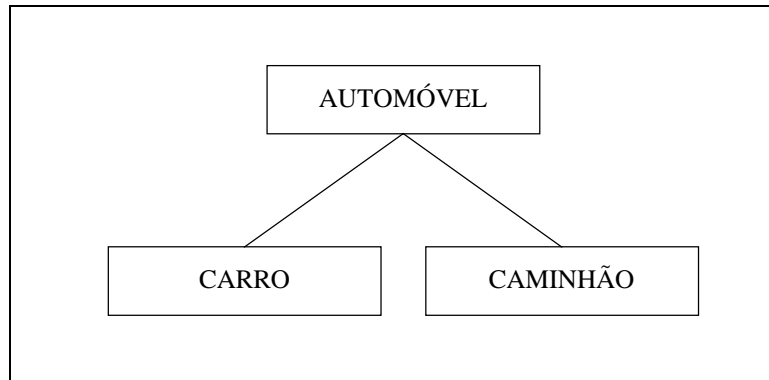


Fig. 2.17: A hierarquia da família automóvel.

O relacionamento entre classes de famílias diferentes se dá através da composição. Neste tipo de relação, uma classe mais complexa pode ter como um de seus atributos um elemento de uma classe mais simples. A relação entre as classes é caracterizada pela seguinte frase: classe composta TEM UM(A) classe simples. A figura 2.18 mostra uma classe complexa (AUTOMÓVEL) composta por outras classes (CHASSI, MOTOR, CARROÇARIA, entre outras).

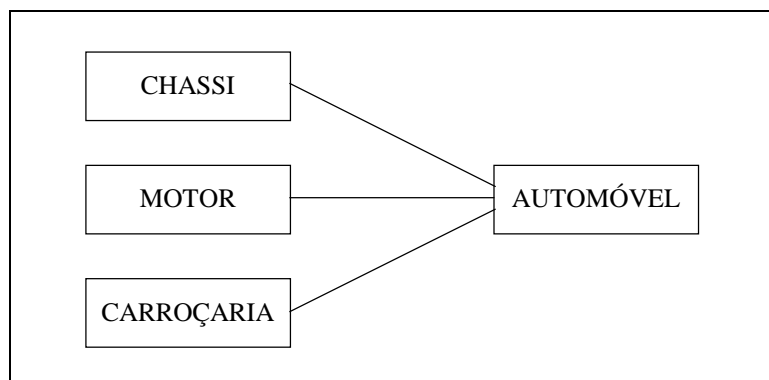


Fig. 2.18: A classe automóvel é composta por chassi, motor e carroçaria, entre outros.

Dentre as vantagens apresentadas pela análise orientada a objeto pode-se citar:

- proteção dos dados: os atributos de uma determinada classe só podem ser acessados e modificados por funções pertencentes à referida classe;
- facilidade de manutenção: devido à modularidade característica dos sistemas orientados a objeto, estes são especificados pelos serviços que prestam e não pela forma interna como são implementados. Assim, se é interessante modificar a forma de implementação de uma dada classe (fazer a manutenção da classe), o funcionamento do sistema não é afetado;
- reutilização: talvez esta seja a grande vantagem da utilização de objetos para representar um sistema. À medida que vários projetos vão sendo executados vai-se criando uma biblioteca de classes. A análise de um novo sistema é feita de uma forma muito mais rápida e organizada quando já se dispõe de uma biblioteca de objetos predefinidos que podem ser reutilizados.

3-Modelo proposto para o sistema

Este trabalho se propõe a apresentar um modelo para o desenvolvimento de sistemas CAPP. Especial atenção é dada à comunicação CAD/CAPP. A aplicação do referido modelo a um caso específico é apresentada no capítulo 4, onde os detalhes do *software* desenvolvido são apresentados. Os tópicos que se seguem apresentam a base sobre a qual se propõe a construção do sistema.

3.1-Características do modelo

Vários são os critérios que podem ser utilizados para caracterizar um sistema CAPP. As seções que se seguem mostram como cada critério foi adotado para o presente trabalho.

3.1.1-Abordagem do sistema

Como apresentado na seção 2.2.1, um sistema CAPP pode ser variante, generativo ou semi-generativo. O modelo de sistema proposto prevê a criação de um sistema **CAPP generativo**.

3.1.2-Plano por peça X por lote

Como apresentado na seção 2.1.2, pode-se gerar planos de processo para uma única peça ou modificar este plano para adaptá-lo a um lote de peças. O modelo de sistema proposto prevê a geração de **planos de processo para uma peça** e não para um lote de peças.

3.1.3-Sistema *on-line* X *off-line*

Como apresentado na seção 2.1.3, os planos de processo podem ser gerados com uma certa antecedência (*off-line*) ou em tempo real (*on-line*). O modelo de sistema proposto prevê a geração de **planos de processo *off-line***.

3.1.4-Domínio de Peças

Pode-se pensar em construir um sistema CAPP para peças rotacionais, prismáticas, chapas, etc. Diferentes domínios de peças requerem diferentes métodos de solução. O sistema proposto se aplica a **peças rotacionais** que sejam executadas em células de manufatura com estratégia de usinagem bem definida.

3.1.5-Funções executadas

Como apresentado na seção 2.1.1, várias são as tarefas que devem ser realizadas para a geração de um plano de processos. O modelo de sistema proposto prevê a execução das seguintes tarefas:

- análise do desenho da peça;
- seleção de superfícies de referência para a fabricação;
- seleção de métodos de usinagem;
- divisão da rota de processo em etapas;
- seleção de máquinas-ferramentas;
- seleção de ferramentas de corte;
- seleção de dispositivos de fixação;
- documentação do plano de processos.

3.1.6-Grau de Automatização

Sistemas CAPP podem apresentar diferentes níveis de automatização, quais sejam:

- **interativo:** o usuário está constantemente envolvido no processo de decisão;
- **semi-automatizado:** algumas decisões necessitam de intervenção humana para a sua realização;
- **automatizado:** todas as decisões são tomadas pelo sistema.

O modelo de sistema apresentado se propõe a ser **completamente automatizado**.

3.1.7-Modelo de informações

Para que o sistema possa identificar as características de cada peça, é necessário que se defina uma forma eficiente de armazenamento de informações tanto geométricas quanto tecnológicas e do seu envio do CAD para o CAPP. Tendo em vista a adequação da tecnologia de *features* a esse propósito, o sistema aqui proposto foi concebido de forma a representar as informações de uma **peça na forma de features** (uma revisão sobre o assunto pode ser encontrada na seção 2.3).

O conceito de *features* adotado aqui é aquele apresentado por SALOMONS et al. (1993), onde **features são definidas como um conjunto de informações referentes à forma, assim como outros atributos de uma peça**. A cada etapa do ciclo produtivo podem estar associados diferentes conjuntos de informações. Sendo assim, tem-se a necessidade de um conjunto de *features* de projeto e de outro de manufatura.

Devido à grande variedade e volume de dados manipulados durante a atividade de planejamento de processos, tem-se a necessidade de um sistema de informações bastante organizado, onde sejam evitadas duplicações que levem a inconsistências na base de dados.

Uma forma bastante prática de análise de sistemas, a **análise orientada a objeto** (apresentada na seção 2.5), onde os dados são organizados em classes, é adotada para a representação das informações do sistema.

De acordo com este tipo de análise, dados de uma peça são assim representados:

PECA

Código

Descrição

Tamanho de Lote

Material

Situação (Produção ou Reposição)

Comprimento

Features

No capítulo 4, onde se tem a aplicação do modelo proposto a um caso específico, apresenta-se o exemplo de uma hierarquia de *features* de projeto e de fabricação.

3.1.8-Comunicação CAD/CAPP

A comunicação entre o usuário e o sistema é feita através de um desenho onde são definidas todas as características funcionais da peça (desenho do projeto).

Com o objetivo de facilitar a criação do desenho de projeto, utiliza-se um módulo CAD elaborado com base na **metodologia de projeto por *features***, onde as peças são construídas a partir de uma biblioteca paramétrica de *features* predefinidas. Assim, todas as peças criadas com base na biblioteca serão representadas por um conjunto finito de *features* presentes nesta biblioteca.

É importante salientar que o módulo de CAD foi desenvolvido antes do presente trabalho. O anexo C apresenta os pontos principais de tal interface, mas uma descrição detalhada do referido módulo pode ser encontrada em BUTZKE et al. (1995).

Desta forma, o que se propõe aqui é a utilização da interface gráfica (CAD) previamente desenvolvida e a sua comunicação com o módulo CAPP a ser criado.

O plano de processos para a fabricação de uma determinada peça é feito com base no desenho de fabricação, o qual é obtido a partir do desenho de projeto.

A transformação do desenho de projeto em desenho de fabricação é feita através do **mapeamento de features**, ou seja, uma peça que tenha sido construída com base na biblioteca de *features* de projeto, agora terá a sua representação como elemento a ser fabricado, com base na biblioteca de *features* de fabricação (seção 2.3.2.2). É oportuno ressaltar que o mapeamento de *features* é função da célula de fabricação escolhida, sendo portanto uma parte móvel do sistema (seção 3.3.4).

3.1.9-Plataforma a que se destina

Quando se propõe o desenvolvimento de um *software*, é de suma importância a definição do *hardware* a que se destina, assim como do sistema operacional que deverá ser utilizado. O sistema aqui proposto se destina a **microcomputadores da linha PC**, utilizando o **sistema operacional DOS**.

3.1.10-Técnica de Programação

A tarefa de planejamento de processos de fabricação tem uma característica bastante peculiar: não existe um algoritmo predefinido para a geração de planos de processo. Assim, se faz necessária uma metodologia de programação que permita a utilização de heurísticas que representem a forma de pensar do processista.

A tecnologia de **sistemas especialistas** ou sistemas baseados no conhecimento (seção 2.4) utiliza regras do tipo IF THEN para representar o conhecimento de um especialista sobre algum assunto (no caso, o conhecimento do processista sobre planos de processo). A seqüência de execução não é previamente conhecida e o fluxo de controle é dado pelo disparo das regras que têm suas premissas satisfeitas. Esta técnica de programação é bastante conveniente para problemas que não tenham solução algorítmica, sendo portanto adotada neste sistema.

3.2-Recursos utilizados no desenvolvimento do sistema

Para que seja viável o desenvolvimento do sistema, vários recursos deverão ser utilizados. Estes recursos são listados nos tópicos que se seguem.

3.2.1-Hardware

Como recurso de *hardware* utilizado cita-se:

- **IBM PC AT 486 DX2 66, 8MB RAM, 340MB Winchester.**

3.2.2-Software

Como recursos de *software* utilizados citam-se:

- **DOS 6.02:** sistema operacional;
- **Windows 3.1:** ambiente multitarefa onde ferramentas de desenvolvimento de *software* são utilizadas;
- **AutoCAD R12 para DOS:** plataforma CAD;
- **Borland C++ 4.5 para DOS e Windows:** ferramenta utilizada para o desenvolvimento do sistema;

- **Borland PowerPack para DOS:** ferramenta utilizada para controle de memória em *softwares* voltados para DOS;
- **CLIPS 6.02 para DOS e Windows:** ferramenta utilizada para o desenvolvimento de sistemas especialistas.

Acompanhando os *softwares* utilizados, foram necessários os manuais e livros técnicos: AUTODESK (1992), BORLAND (1994a,b,c,d,e,f,g), NASA (1993a,b,c,d,e), OMURA (1993), PERRY (1994), SOCHA et al. (1993), ARAKAKI et al. (1990) e JALOTE (1991).

3.3-A estrutura do sistema

O modelo proposto deve ter uma estrutura que lhe permita atender aos objetivos do trabalho. Aspectos de interesse desta estrutura são descritos nos tópicos que se seguem.

3.3.1-As etapas de funcionamento do sistema

O sistema aqui proposto apresenta duas fases distintas, quais sejam:

- a definição do desenho de projeto da peça;
- a criação de um plano de processos para a peça.

A primeira fase apresenta uma única etapa:

- criação do desenho de projeto com base na biblioteca de *features* de projeto. O usuário se utiliza da interface gráfica.

A segunda fase apresenta as seguintes etapas:

- transformação de *features* de projeto em *features* de fabricação ou mapeamento de *features* para a criação do desenho de fabricação;
- seleção de superfícies de referência para a fabricação ou definição da posição de usinagem, com base no desenho de fabricação;
- atribuição de operações de usinagem a cada *feature*;
- seleção da máquina utilizada para cada operação;
- seleção da ferramenta utilizada para cada operação;
- seleção do dispositivo de fixação utilizado para cada operação;
- definição da seqüência de operações.

3.3.2-A operação de usinagem como a base para o planejamento de processos

Como pôde ser observado na seção 3.3.1, a quase totalidade das etapas de planejamento de processos é feita com base nas operações que foram atribuídas às *features* (uma operação é atribuída a uma única *feature*, mas várias operações podem ser atribuídas à mesma *feature*). Sendo a operação de usinagem a base sobre a qual se constrói o plano de processos, uma caracterização detalhada de cada operação se faz necessária. A cada operação se associa os seguintes atributos:

- **Nome**: indica o tipo de operação (cilindramento, faceamento, sangramento, etc). É utilizado para a seleção de máquinas, ferramentas e dispositivos de fixação;

- **Índice**: número inteiro que indica a seqüência de operações. Cada operação é criada com um índice aleatório. Durante o seqüenciamento, as operações têm seus índices remanejados de forma que operações com índices menores sejam executadas no início do processo de fabricação;
- **Ferramentas**: contém os nomes das ferramentas que poderão ser utilizadas para a execução da operação. Com base no conjunto ferramentas de cada operação é que se escolhe a ferramenta que será realmente utilizada em cada operação;
- **Dispositivos de Fixação**: contém os nomes dos dispositivos de fixação que poderão ser utilizados para a execução da operação. A seleção de um dispositivo específico é feita a partir das regras de seleção de dispositivos de fixação;
- **Tipo da Máquina** :é utilizado para especificar qual o tipo de máquina mais conveniente para a execução da operação. É uma característica utilizada para selecionar a máquina específica;
- **Máquinas**: contém os nomes das máquinas que poderão ser utilizadas para a execução da operação. A seleção de uma máquina específica é feita a partir das regras de seleção de máquinas;
- **Posição** : classifica as operações quanto à posição da ferramenta em relação à peça trabalhada. Pode assumir os valores: externa, interna ou fora de centro. A

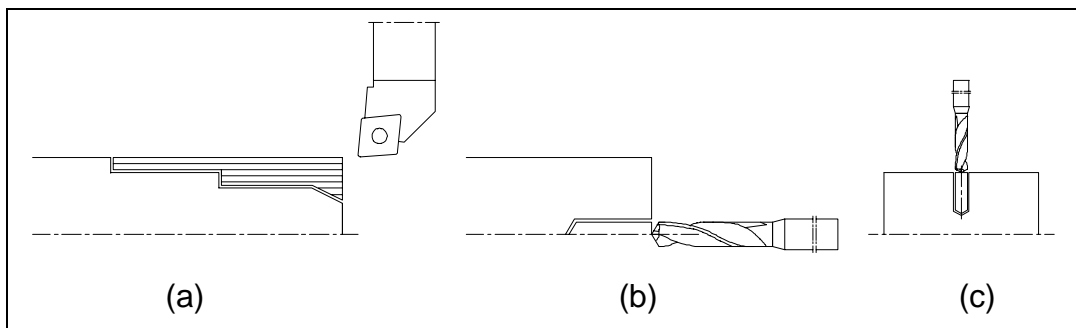


figura 3.1 ilustra as diferentes posições que uma operação pode assumir;

Fig. 3.1: Posições que uma operação pode assumir. (a) Externa. (b) Interna. (c) Fora de centro.

- **Direção de corte**: classifica as operações quanto à direção do avanço da ferramenta ao cortar a peça. Pode assumir os valores: longitudinal, transversal ou perfil. A figura 3.2 ilustra as diferentes direções de corte aceitas numa operação;

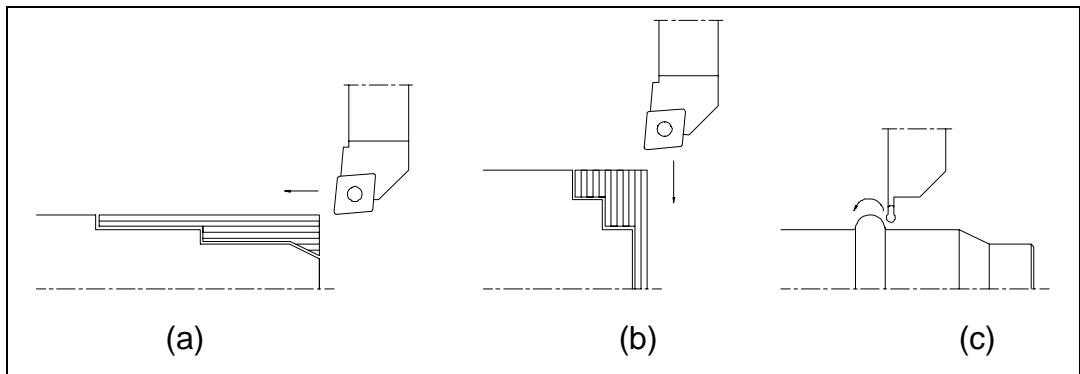
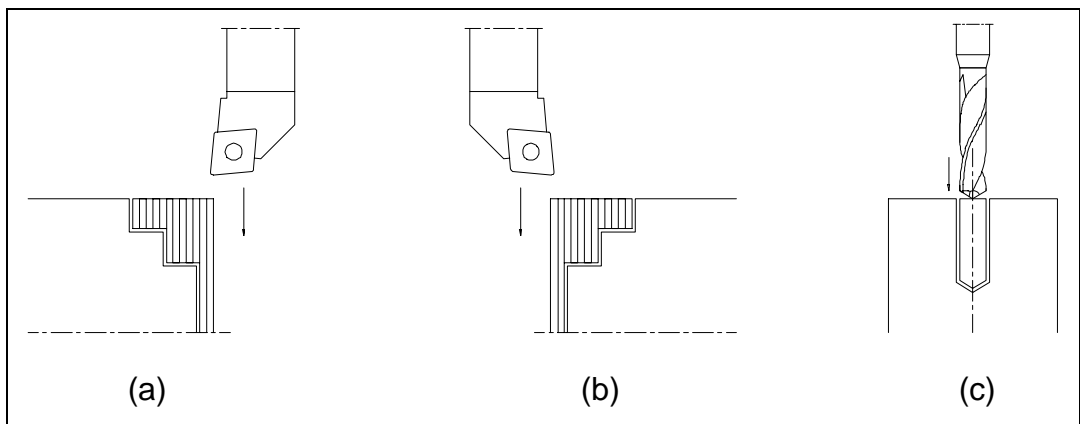


Fig. 3.2: Direções de corte aceitas numa operação. (a) Longitudinal. (b) Transversal. (c) Perfil.

- **Lado de corte**: indica o posicionamento da aresta cortante da ferramenta a ser utilizada em relação à peça. Pode assumir os valores: esquerda, direita, ou central. A figura 3.3 ilustra os diferentes lados de



corte que uma operação pode assumir;

Fig. 3.3: Lados de corte que uma operação pode assumir. (a) Esquerda. (b) Direita. (c) Central.

- **Feature**: contém o nome da *feature* à qual a operação está associada.
- **Qualidade** : indica a qualidade superficial que deverá ser atingida pela operação. Pode ser desbaste, semi-acabamento ou acabamento;
- **Diâmetro, Comprimento, Largura e Profundidade**: são possíveis dimensões de uma operação;

As operações foram divididas em detalhadas e gerais. As detalhadas são aquelas atribuídas às *features* que compõem a peça, enquanto as gerais são aquelas atribuídas à matéria-prima como um todo. Na seção 4.5, onde se tem a aplicação do modelo proposto a um caso específico, apresentam-se exemplos de operações gerais e detalhadas. O enfoque do texto é dado às operações detalhadas, que de agora em diante (por uma questão de simplificação) serão tratadas simplesmente por operações.

3.3.3-Aquisição de conhecimento: a estratégia de usinagem como a chave para a base de conhecimento

O funcionamento de um sistema especialista depende da sua base de conhecimento. No modelo proposto, grande parte das atividades de planejamento de processos será realizada por um sistema especialista (seção 3.1.10). Sendo assim, a aquisição do conhecimento que será utilizado é de grande importância.

Neste sistema, a base de conhecimento será formada por um conjunto de regras do tipo IF THEN. Propõe-se que a definição das regras que compõem esta base de conhecimento seja feita a partir da estratégia de usinagem a ser utilizada. Desta forma, o engenheiro de conhecimento, que é o profissional encarregado de construir a base de conhecimento, buscará extrair do processista

a estratégia utilizada e não o conjunto de regras. Este tipo de enfoque é fundamental, pois o levantamento de uma estratégia de usinagem é muito mais simples e objetivo que a extração de um conjunto de regras.

As regras serão posteriormente definidas de tal forma que a estratégia de usinagem seja respeitada, garantindo assim a consistência da base de conhecimento.

3.3.4-A personalização como meio de adaptação à realidade industrial

Como exposto na seção 3.3.1, o funcionamento do sistema está dividido em duas fases: a definição da peça e a criação do plano de processos.

A primeira, de definição da peça, é função da biblioteca de *features* de projeto existente e não de uma célula de manufatura específica. Desta forma, pode-se criar uma única biblioteca de *features* de projeto que atenda a todas as famílias de peças com que se pretende trabalhar (é bom lembrar que o domínio de aplicação do sistema envolve apenas peças rotacionais), portanto esta é considerada uma parte fixa do sistema.

A segunda, de criação do plano de processos para a peça, é função de condições específicas de uma determinada célula, como: máquinas e ferramentas existentes, estratégia de usinagem utilizada, entre outras. Desta forma, o sistema tem uma parte móvel, que deve ser ajustada a cada célula em que é utilizado.

As partes constituintes do sistema são mostradas na figura 3.4 a seguir.

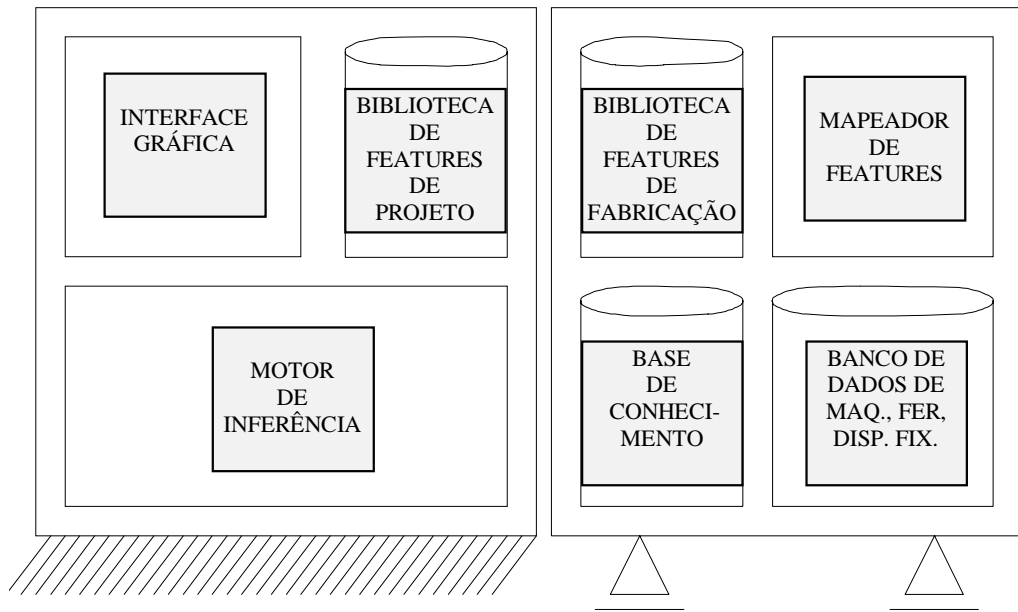


Fig. 3.4: Arquitetura do sistema mostrando partes fixas e móveis que o constituem.

Como mostrado na figura 3.4, o sistema apresenta as seguintes partes fixas (que **não** precisarão ser alteradas de uma célula para outra):

- interface gráfica;
- biblioteca de *features* de projeto;
- motor de inferência.

As partes que deverão ser ajustadas para cada célula em que o sistema seja utilizado são:

- biblioteca de *features* de fabricação;
- mapeador de *features* de projeto em *features* de fabricação;
- base de conhecimento (reflete a estratégia de usinagem);

- bancos de dados de máquinas, ferramentas e dispositivos de fixação.

De acordo com o modelo apresentado, a implementação do sistema em outra célula destinada à fabricação de peças rotacionais será simplesmente uma questão de adaptação de alguns módulos, pois a estrutura geral de comunicação será mantida. Assim, o tempo envolvido na expansão do sistema será bem menor que aquele requerido para o seu desenvolvimento completo.

4-Aplicação do modelo proposto a um caso específico

Com o objetivo de demonstrar a viabilidade do modelo proposto, apresenta-se a seguir a sua aplicação a um caso específico. Dados de uma célula de manufatura da empresa SLC (Schneider Logemann Companhia) do setor agrícola, foram utilizados como base para o desenvolvimento desta aplicação. Os tópicos que se seguem apresentam as características da célula de manufatura para a qual o sistema foi ajustado. Também se apresentam detalhes das partes móveis do sistema que foram adequadas às particularidades da referida célula.

4.1-A família de peças

Como exposto no capítulo 3, o sistema se aplica a peças rotacionais, que podem ser obtidas por operações de torneamento e furação. Uma particularidade apresentada pela família de peças desta célula é que todas as peças apresentam escalonamento somente em um sentido.

A hierarquia de features de projeto utilizada para representar as peças desta célula é mostrada a seguir:

CLASSE FEATURE

Ponto X
Ponto Y
Posição

Operações

CLASSE QUEBRA DE CANTO É UMA FEATURE

Ângulo
Comprimento

CLASSE CHANFRO É UMA QUEBRA DE CANTO

Diâmetro
Sentido

CLASSE ESCAREADO É UMA QUEBRA DE CANTO

Diâmetro
Orientação
Sentido

CLASSE EIXO É UMA FEATURE

Comprimento

CLASSE EIXO CILÍNDRICO É UM EIXO

Diâmetro

CLASSE EIXO CÔNICO É UM EIXO

Diâmetro Esquerdo
Diâmetro Direito

CLASSE CANAL É UMA FEATURE

Diâmetro De Referência
Largura Do Fundo

CLASSE CANAL DE VEDAÇÃO É UM CANAL

Profundidade
Comprimento
Ângulo De Encosto
Raio De Alojamento
Raio De Borda

CLASSE CANAL DE RETENÇÃO É UM CANAL

Diâmetro Interno

CLASSE RASGO É UM CANAL

Diâmetro Interno

CLASSE FURO É UMA FEATURE

Orientação

CLASSE FURO CILÍNDRICO É UM FURO

Diâmetro

CLASSE FURO CILÍNDRICO PASSANTE É UM FURO CILÍNDRICO

Profundidade Do Furo

CLASSE FURO CILÍNDRICO CEGO É UM FURO CILÍNDRICO

Profundidade Do Furo
Sentido

CLASSE FURO CÔNICO É UM FURO

Diâmetro Maior

Diâmetro Menor

CLASSE FURO CÔNICO PASSANTE É UM FURO CÔNICO
Profundidade Do Furo

CLASSE FURO CÔNICO CEGO É UM FURO CÔNICO
Profundidade Do Furo
Sentido

CLASSE JUNÇÃO É UMA FEATURE
Sentido

CLASSE CONCORDÂNCIA É UMA JUNÇÃO
Diâmetro Maior
Raio De Concordância

CLASSE ABAULADO É UMA JUNÇÃO
Diâmetro
Raio De Concordância

CLASSE ROSCA É UMA FEATURE
Diâmetro
Passo
Profundidade Do Filete
Sentido Da Rosca
Perfil

CLASSE ROSCA INTERNA É UMA ROSCA
Orientação

CLASSE ROSCA PASSANTE É UMA ROSCA INTERNA
Profundidade Do Furo

CLASSE ROSCA CEGA É UMA ROSCA INTERNA
Profundidade Roscada
Profundidade Do Furo
Sentido

CLASSE ROSCA EXTERNA É UMA ROSCA
Comprimento Roscado
Comprimento Do Eixo
Sentido

CLASSE ELEMENTO DE FORMA É UMA FEATURE
Diâmetro Do Eixo
Comprimento
Diâmetro Do Elemento
Tipo

É importante comentar que o sistema não se propõe a atribuir uma peça recém criada a uma célula, ou seja, o usuário terá que saber a qual família de peças pertence a nova peça.

4.2-A célula de manufatura

O modelo proposto para o módulo CAPP prevê a existência de partes móveis, as quais apresentam dependência direta com as características da célula em que o sistema será implementado. Assim, uma definição detalhada dos meios de produção presentes em cada célula de fabricação é de suma importância.

Dentre os recursos que devem ser observados, os mais importantes são:

- máquinas ferramentas disponíveis;
- ferramentas disponíveis;
- dispositivos de fixação utilizados.

A célula para a qual o sistema foi ajustado apresenta as seguintes características:

máquinas ferramentas: a figura 4.1 apresenta o *lay-out* da célula. A listagem das máquinas utilizadas é apresentada no anexo A3.

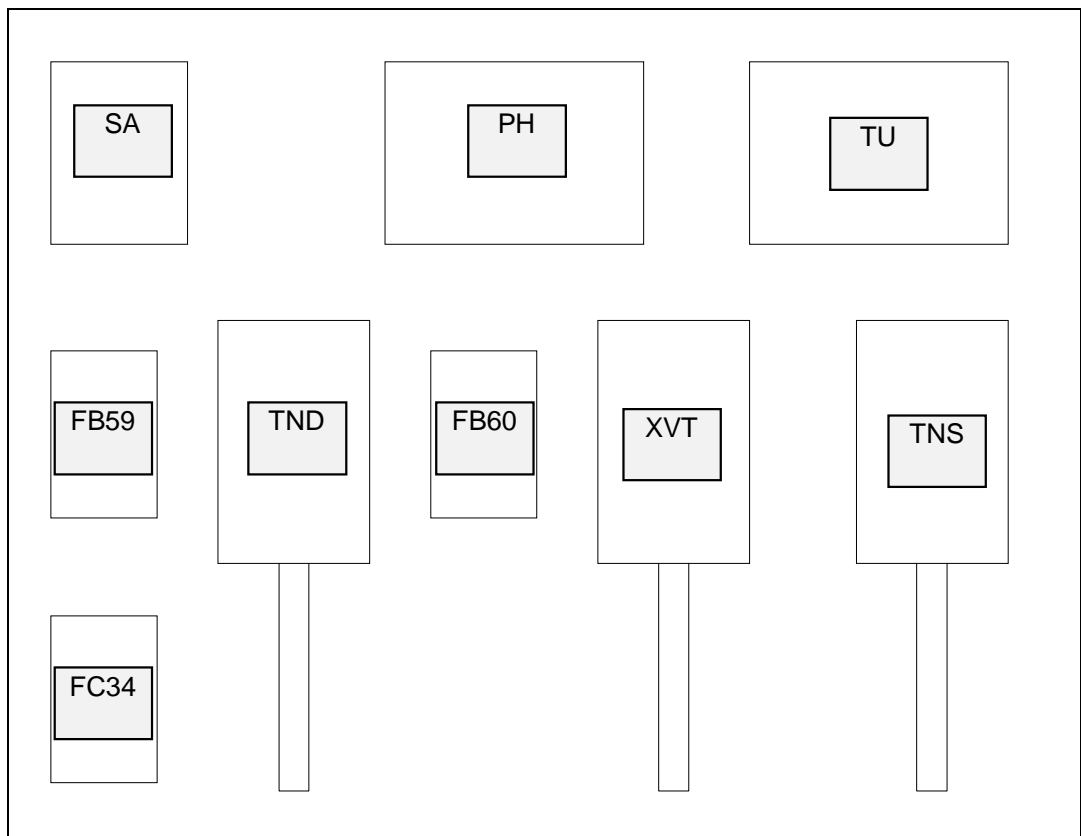


Fig. 4.1: *Lay-out* da célula para a qual o sistema foi ajustado.

Os elementos da célula são especificados abaixo:

- SA-serra automática;
- PH-prensa hidráulica;
- TU-torno universal;
- TND-torno CNC TND 160 com alimentador de barras;
- TNS-torno CNC TNS 42 com alimentador de barras;
- XVT-torno XERVITT com alimentador de barras;
- FB59-furadeira de bancada;
- FB60-furadeira de bancada;
- FC34-furadeira de coluna;

ferramentas de corte: para a execução das peças da célula, foram selecionadas ferramentas de corte

adequadas: (SANDVIK, 1993), (STEMMER, 1993) e (GERLING, 1977). As ferramentas selecionadas são apresentadas na figura 4.2. A listagem completa das ferramentas é apresentada no anexo A4.

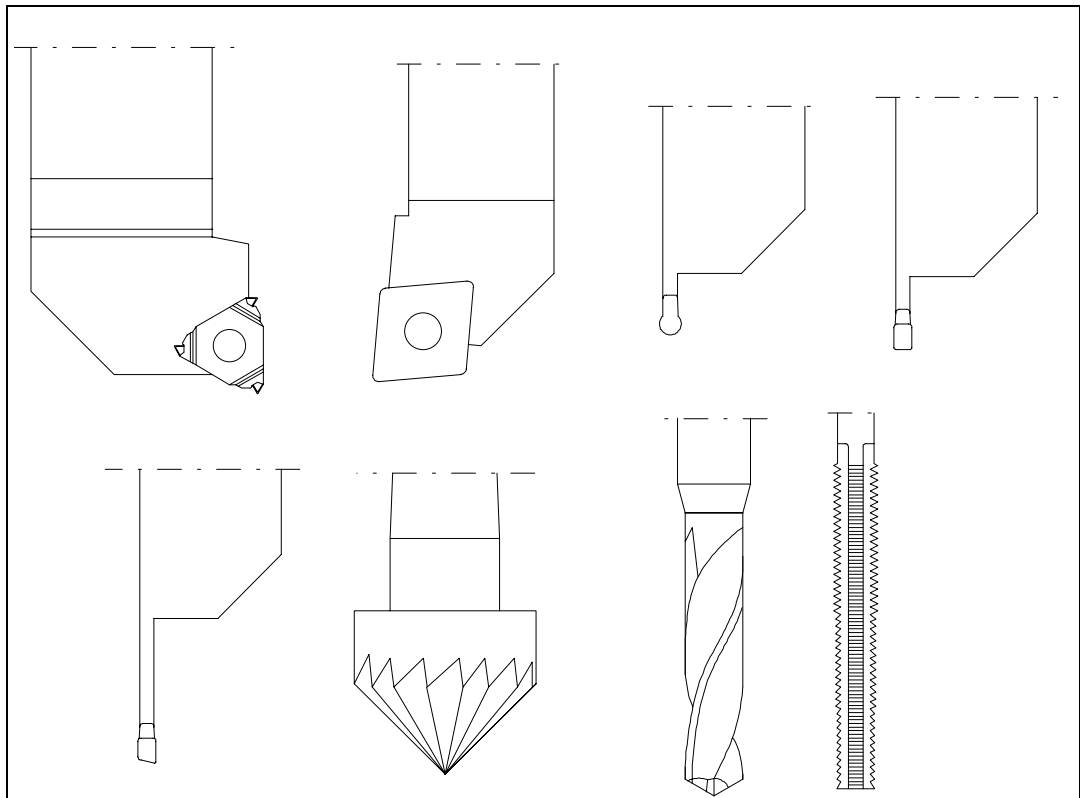


Fig. 4.2: ferramentas de corte selecionadas para a célula.

dispositivos de fixação: os dispositivos que serão selecionados se enquadram nas seguintes categorias:

⇒ pinças de fixação de barras;

⇒ dispositivos específicos de furação;

A listagem completa dos dispositivos utilizados é apresentada no anexo A5.

4.3-Estratégias de usinagem

A célula para a qual o sistema foi ajustado se presta à fabricação de peças de pouca precisão que apresentam

escalonamento em um único sentido, utilizando-se de máquinas-ferramentas modernas (tornos CNC). A estratégia utilizada para a geração de planos de processo para as peças desta célula se baseia nos seguintes pontos:

- os equipamentos são capazes de garantir a precisão requerida para as peças. Assim as tolerâncias das peças não são levadas em consideração para a escolha das máquinas;
- devido à utilização de alimentadores de barras, nos tornos, as operações de torneamento são feitas em um único *setup*;
- todas as operações de torneamento são feitas da direita para a esquerda, ou seja, as ferramentas utilizadas são de corte à esquerda;
- as operações de furação devem, na medida do possível, ser feitas no torno;
- todas as operações de torneamento são feitas antes de qualquer operação que seja feita numa furadeira;
- todas as operações de roscar externo são feitas no torno;
- todas as operações de roscar interno são feitas numa furadeira, com a utilização de um cabeçote de rosqueamento;
- as peças devem sofrer um passe final de acabamento para garantir que não haja rebarbas;
- todas as barras e tubos devem ser cortados em pedaços de 2 metros;
- todas as barras devem ser endireitadas;

- todas as barras e tubos devem ter suas pontas chanfradas com ângulo de 30 graus a fim de que possam ser facilmente colocadas no alimentador de barras.

4.4-O mapeador de *features*

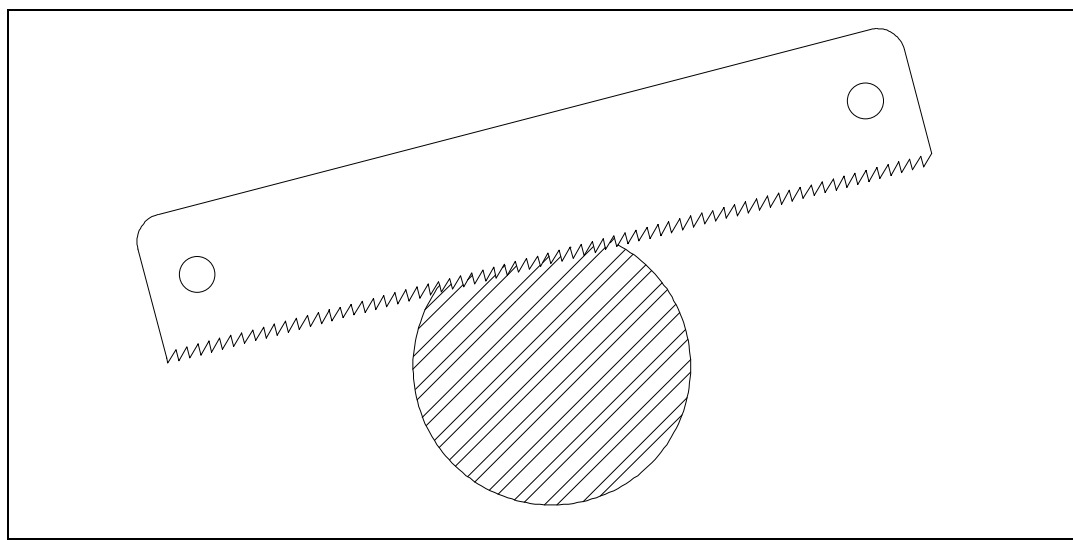
Devido à simplicidade das peças fabricadas nesta célula (peças com escalonamento em um único sentido) o mapeamento de *features* pôde ser feito na proporção de 1:1, ou seja, as bibliotecas de *features* de projeto e de fabricação são idênticas e a hierarquia de classes de *features* de fabricação é a mesma já apresentada para *features* de projeto (seção 4.1). Desta forma os desenhos de projeto e de fabricação são os mesmos e a peça tem uma única representação em todo o sistema.

4.5-As operações executadas na célula

Com base nas características da célula e na estratégia de usinagem adotada, define-se o conjunto de operações que poderão ser realizadas. A seguir apresentam-se os conjuntos de operações gerais e detalhadas:

OPERAÇÕES GERAIS

- **Serrar**: operação executada numa serra automática onde o material (barra ou tubo) é cortado em pedaços menores (2 metros cada). A figura 4.3 ilustra a



operação de serrar.

Fig 4.3: operação de serrar realizada na serra.

- **Endireitar**: operação executada numa prensa hidráulica onde as imperfeições de alinhamento da barra são minimizadas. A figura 4.4 ilustra a operação de endireitar.

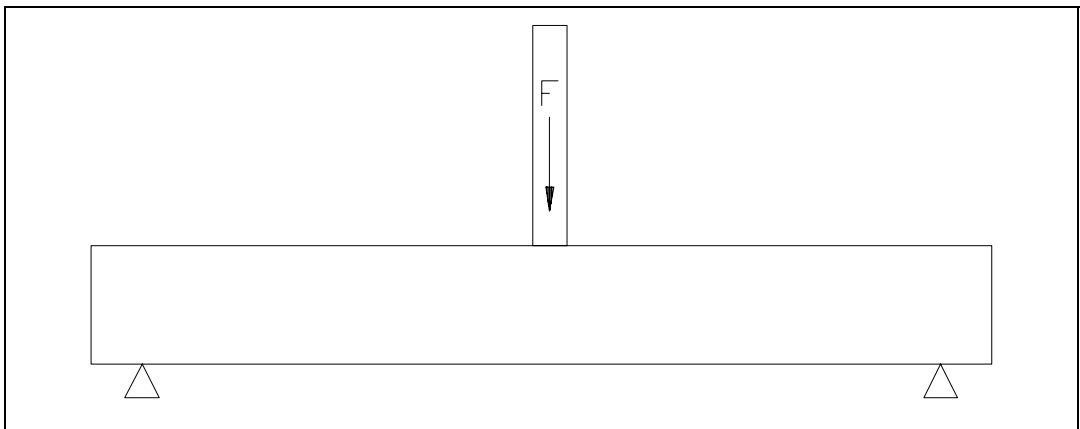
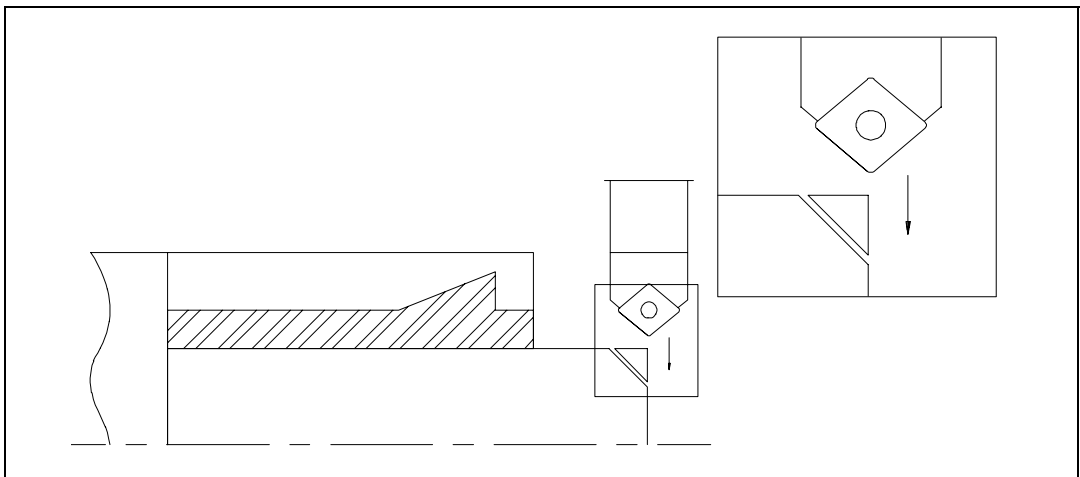


Fig. 4.4: operação de endireitar realizada na prensa hidráulica.

- **Chanfrar**: operação executada num torno universal onde o material (barra ou tubo) tem sua ponta chanfrada com um ângulo de 30 graus a fim de que possa ser introduzido no alimentador de barras. A figura 4.5



ilustra a operação de chanfrar.

Fig. 4.5: operação de chanfrar realizada no torno universal.

OPERAÇÕES DETALHADAS

- **Cilindrar**: operação executada no torno CNC onde a ferramenta se desloca paralelamente ao eixo do torno, no sentido da direita para a esquerda. A figura 4.6 ilustra a operação de cilindramento.

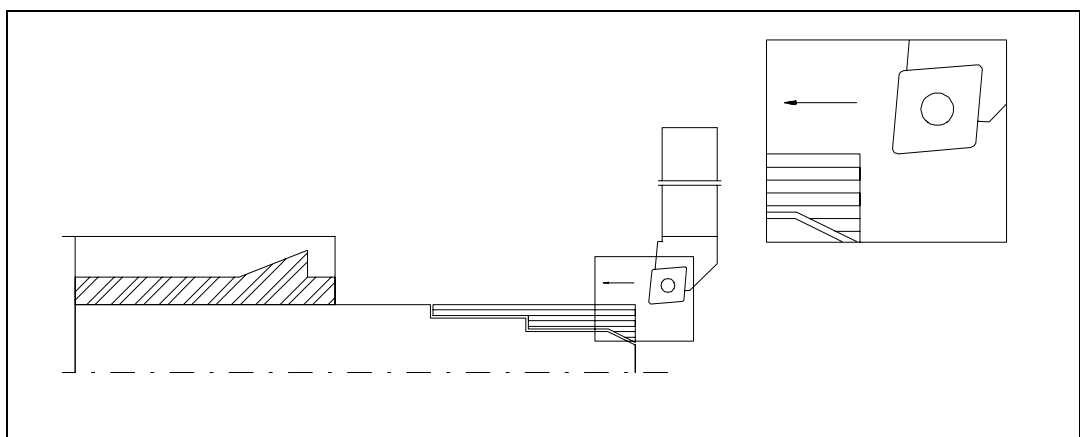


Fig. 4.6: operação de cilindramento realizada no torno.

- **Facear**: operação executada no torno CNC onde a ferramenta se desloca perpendicularmente ao eixo do torno, avançando rumo ao centro de rotação da peça. A

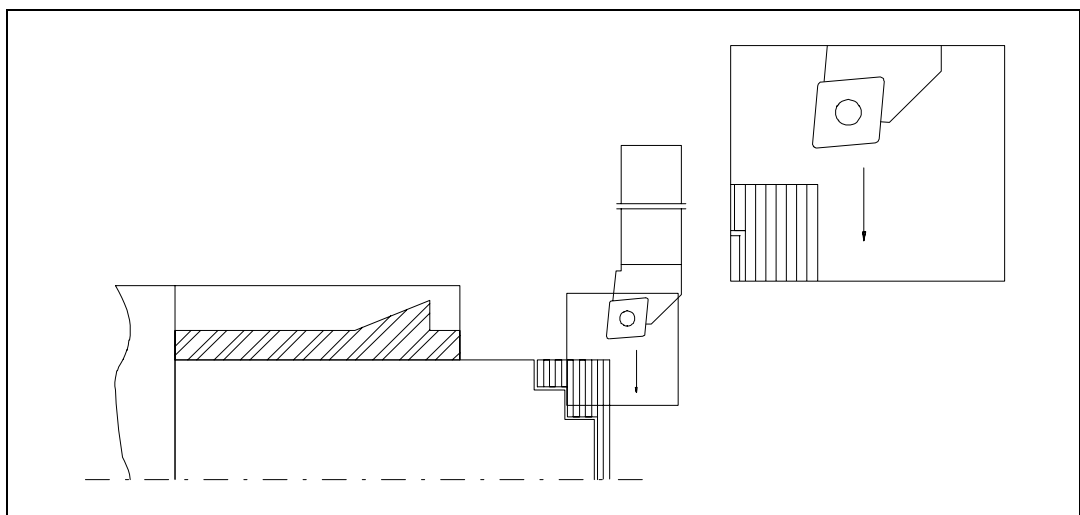


figura 4.7 ilustra a operação de faceamento.

Fig. 4.7: operação de faceamento realizada no torno.

- **Cortar** : operação executada no torno CNC onde a ferramenta se desloca perpendicularmente ao eixo do torno, avançando para o centro de rotação da peça, até que esta seja separada da barra. A figura 4.8 ilustra a operação de corte.

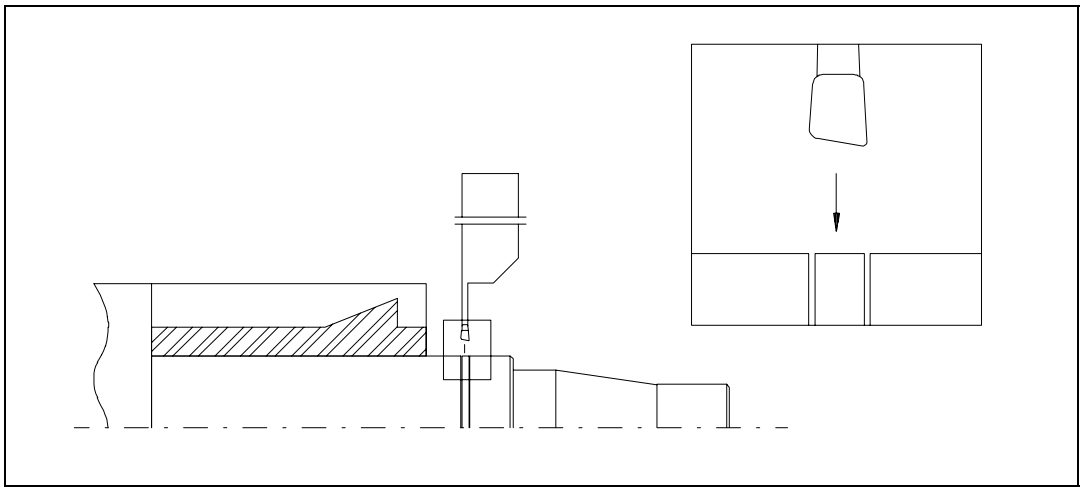
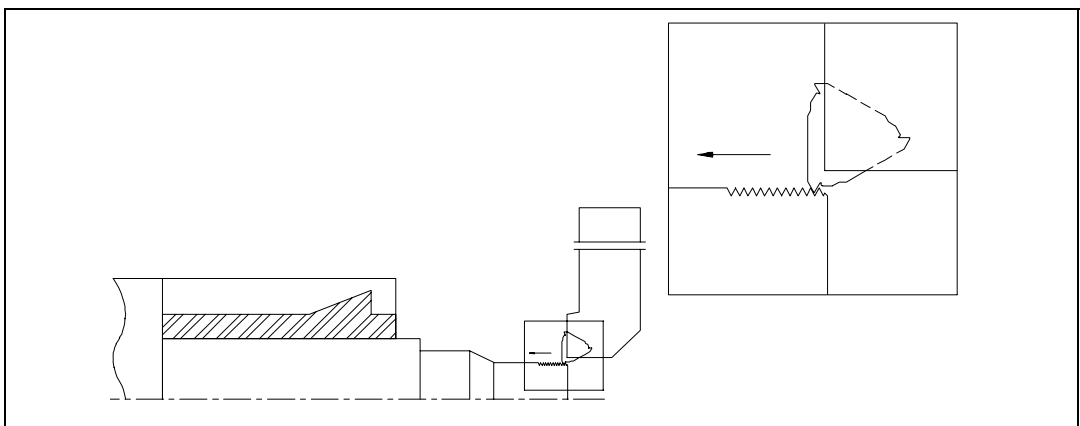


Fig. 4.8: operação de corte realizada no torno.

- **Roscar_Externo** : operação executada no torno CNC onde a ferramenta se desloca paralelamente ao eixo do torno, no sentido da direita para a esquerda. Este tipo de operação é efetuado com reversão no sentido de rotação da máquina e utilização de ferramenta com montagem invertida. A figura 4.9 ilustra a operação



de roscar_externo, com a ferramenta invertida.

Fig. 4.9: operação de roscar_externo realizada no torno.

- **Perfilar_Côncavo** : operação executada no torno CNC onde a ferramenta se desloca em perfil, no sentido da direita para a esquerda. A figura 4.10 ilustra a operação de perfilar_côncavo.

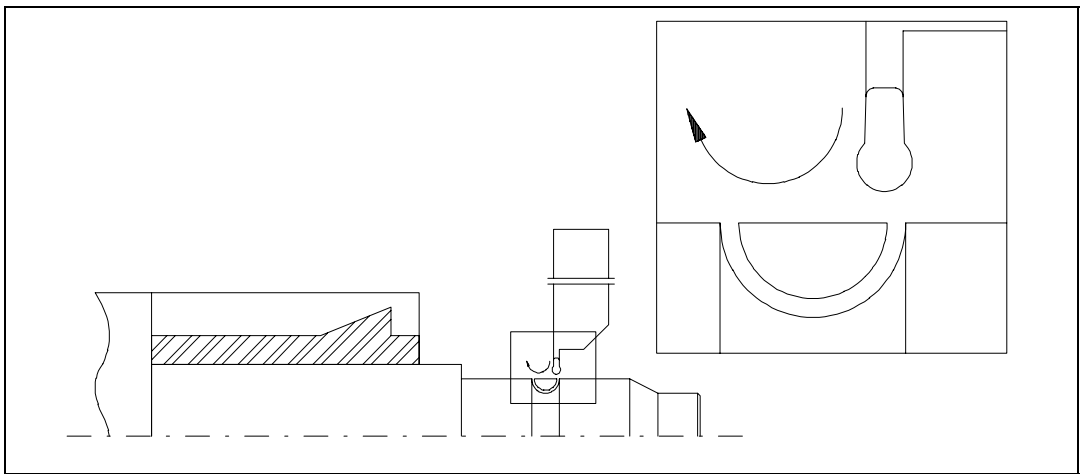
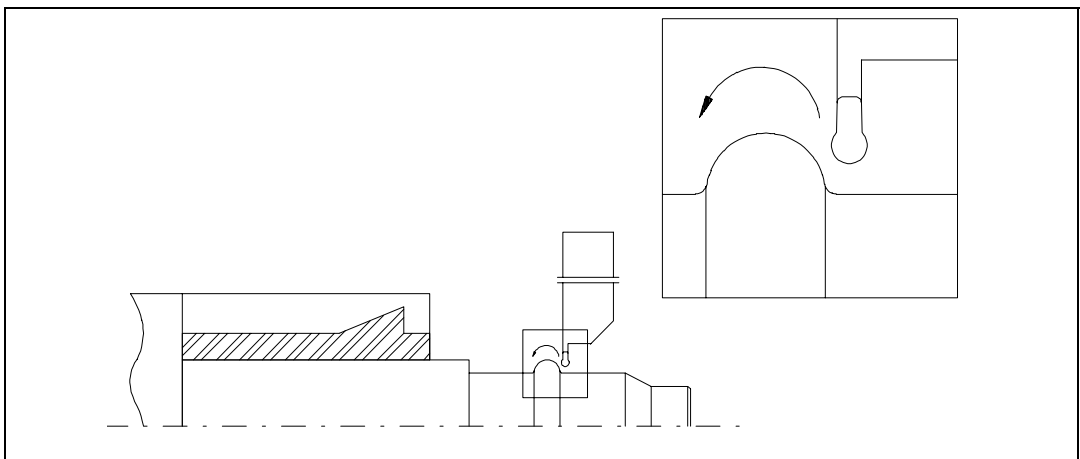


Fig. 4.10: operação de perfilar_côncavo realizada no torno.

- **Perfilar_Convexo** : operação executada no torno CNC onde a ferramenta se desloca em perfil, no sentido da direita para a esquerda. A figura 4.11 ilustra a



operação de perfilar_convexo.

Fig. 4.11: operação de perfilar_convexo realizada no torno.

- **Sangrar** : operação executada no torno CNC onde a ferramenta se desloca perpendicularmente ao eixo do torno rumo ao centro de rotação da peça, sem contudo promover a sua separação da barra. Nos casos em que largura da ferramenta é inferior à do rasgo haverá a necessidade de mais de um passe. A figura 4.12 ilustra a operação de sangramento.

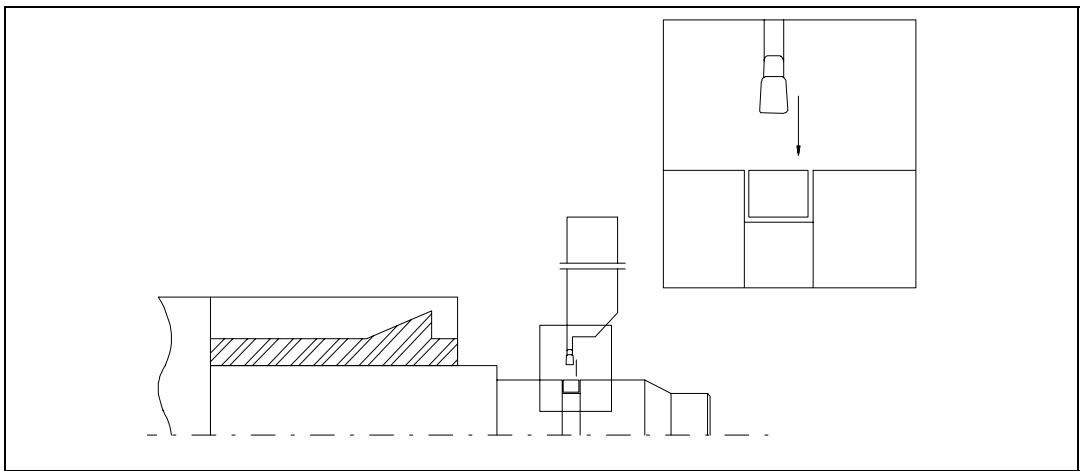
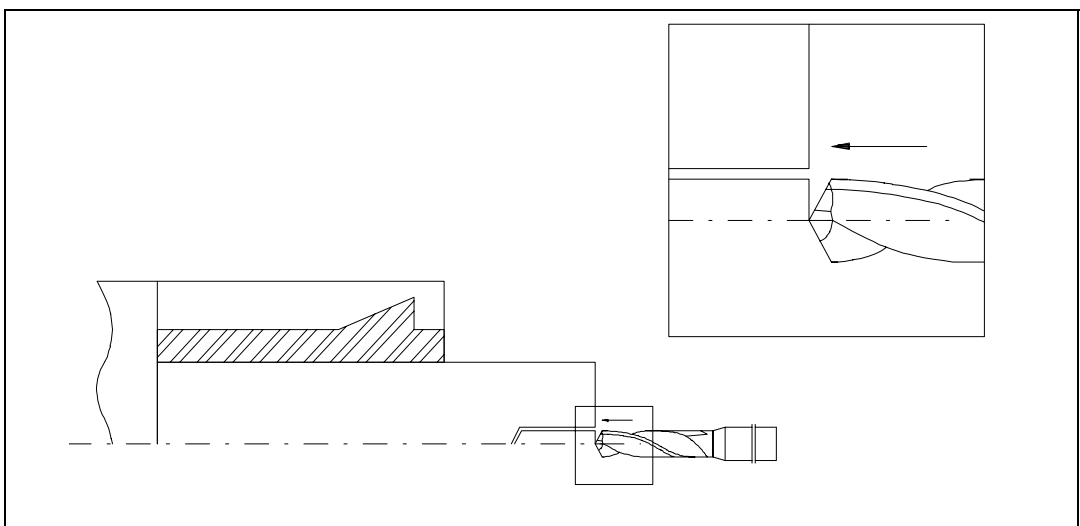


Fig. 4.12: operação de sangramento realizada no torno.

- **Furar** : operação executada no torno CNC ou na furadeira onde a ferramenta se desloca paralelamente ao eixo do torno ou da furadeira. A figura 4.13



ilustra a operação de furação.

Fig. 4.13: operação de furação realizada no torno ou furadeira.

- **Escarear** : operação executada na furadeira onde a ferramenta se desloca paralelamente ao eixo da furadeira. A figura 4.14 ilustra a operação de escareamento.

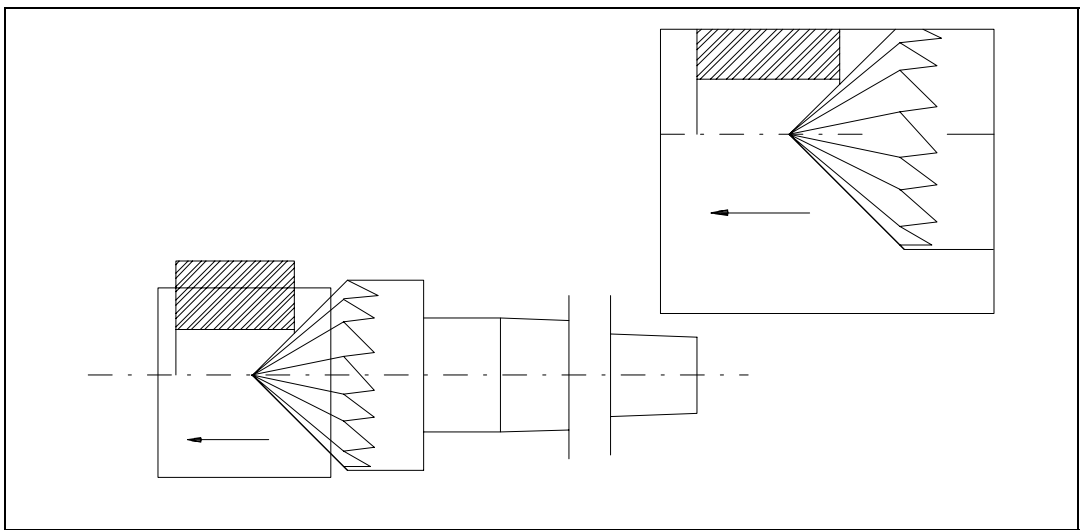
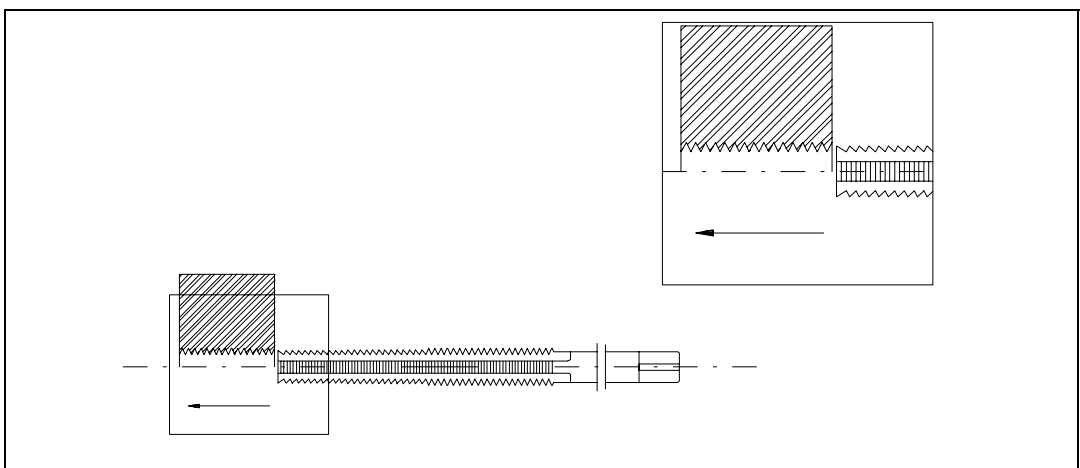


Fig. 4.14: operação de escareamento realizada no torno ou furadeira.

- **Roscar Interno** : operação executada na furadeira, com o auxílio de um cabeçote de rosqueamento, onde a ferramenta se desloca paralelamente ao eixo da furadeira. A figura 4.15 ilustra a operação de



roscar_interno.

Fig. 4.15: operação de roscar_interno realizada na furadeira.

- **Chanfrar_Esquerda** : operação executada no torno CNC onde a ferramenta utilizada para cortar a peça da barra também é utilizada para executar pequenos chanfros que deveriam ser executados com ferramentas de corte à direita. A figura 4.16 ilustra a operação de chanfrar_esquerda.

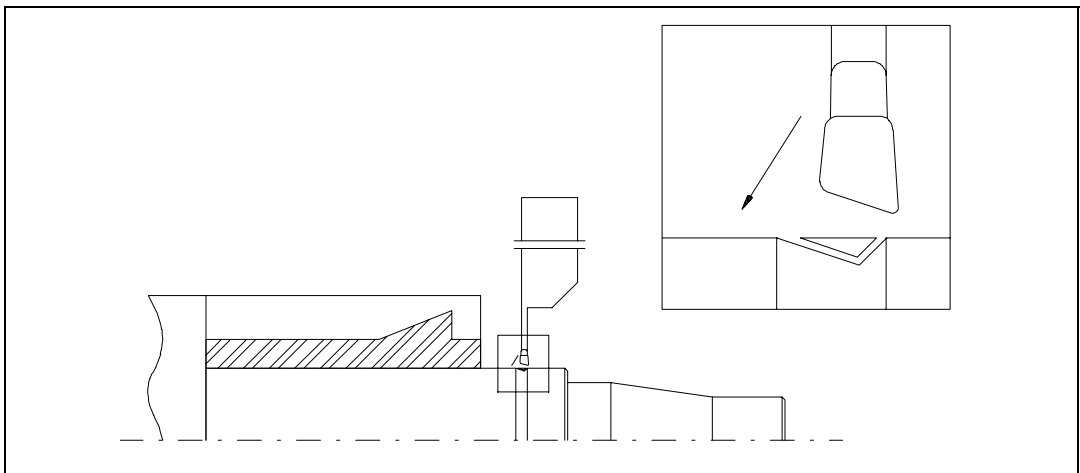


Fig. 4.16: operação de chanfrar_esquerda realizada no torno.

4.6-Base de conhecimento

O funcionamento de um sistema especialista é regido pela sua base de conhecimento. O sistema CAPP desenvolvido com base na célula de manufatura da SLC tem a sua base de conhecimento dividida em módulos, que são descritos a seguir:

- **1-Módulo Material**: contém as declarações das classes de material existentes no sistema, assim como as instâncias de barras e tubos (Anexo A1).
- **2-Módulo Peça**: contém as declarações das classes de *features* e da classe peça, assim como as instâncias

de todas estas classes. É o módulo onde ficam armazenadas as informações da peça (Anexo A2).

- **3-Módulo Máquinas**: contém as declarações das classes de máquina, assim como todas as instâncias das máquinas encontradas no sistema (Anexo A3).
- **4-Módulo Ferramentas**: contém as declarações das classes de ferramenta, assim como todas as instâncias das ferramentas encontradas no sistema (Anexo A4).
- **5-Módulo Dispositivos de Fixação**: contém as declarações das classes de dispositivos de fixação, assim como todas as instâncias dos dispositivos encontradas no sistema (Anexo A5).
- **6-Módulo Operações**: contém as declarações das classes de operação, assim como todas as instâncias das operações atribuídas às *features* da peça (Anexo A6).
- **7-Módulo Inverte**: contém todas as regras e funções necessárias à definição da posição em que a peça será usinada nas operações de torneamento, assim como as funções para inversão de posição (Anexo B1).
- **8-Módulo Atribui Operação**: contém todas as regras e funções necessárias à atribuição de operações ao material (barra ou tubo) e às *features* da peça (Anexo B2).
- **9-Módulo Seleciona Máquina**: contém todas as regras e funções necessárias à escolha do tipo de máquina para cada operação assim como a escolha da máquina específica para cada operação (Anexo B3).

- **10-Módulo Seleciona Ferramenta**: contém todas as regras e funções necessárias à escolha de ferramentas para as operações de usinagem (Anexo B4).
- **11-Módulo Seleciona Dispositivo de Fixação**: contém todas as regras e funções necessárias à escolha dos dispositivos de fixação para cada operação (Anexo B5).
- **12-Módulo Define Seqüência**: contém todas as regras e funções necessárias à definição da seqüência de operações (Anexo B6).

A comunicação dos módulos do sistema especialista é mostrada na figura 4.17.

Uma seta saindo de um módulo e apontando para outro significa que o módulo destino manipula informações contidas no módulo de origem. Por exemplo, o módulo 2 (peça) utiliza as informações de material contidas no módulo 1 (material). Observa-se que o módulo 6 (operações) é o mais solicitado, consistindo a base de informações para o funcionamento dos módulos de regras (7 a 12).

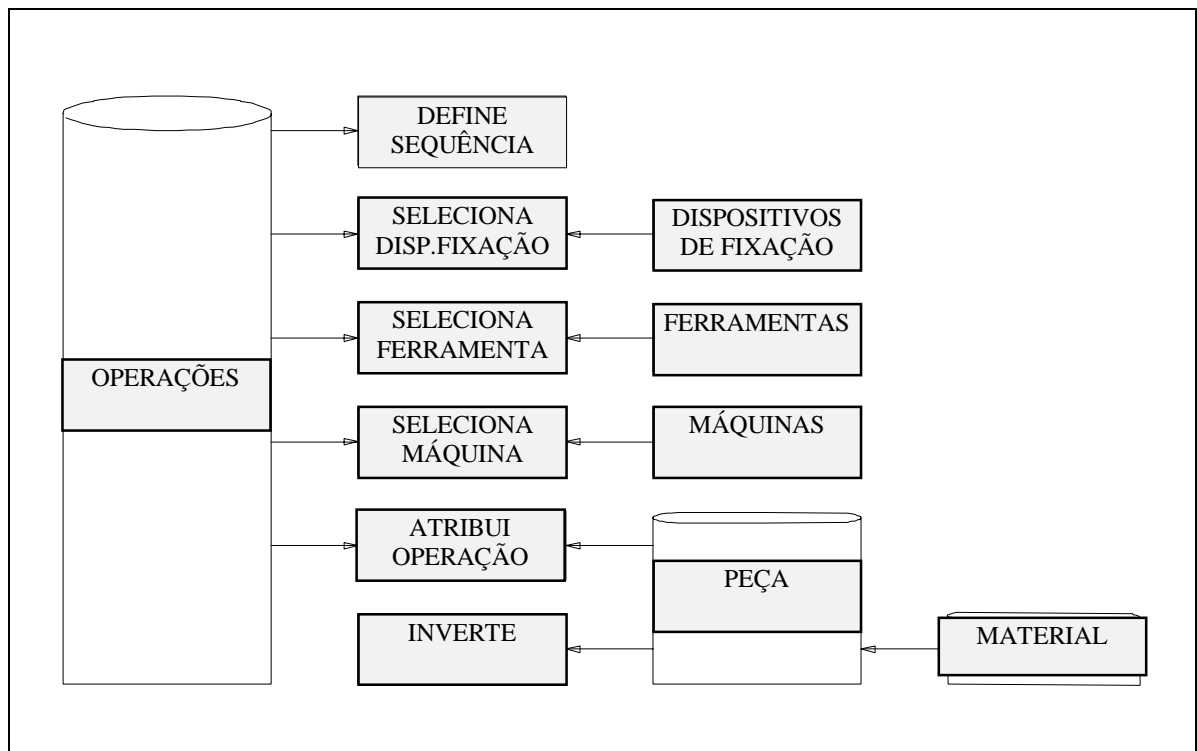


Fig. 4.17: Comunicação dos módulos do sistema especialista.

A cada etapa de funcionamento do sistema se associa um conjunto de regras (módulo) diferente. A seguir apresenta-se uma descrição das tarefas relacionadas a cada etapa, assim como o funcionamento de cada módulo associado:

- **definição da posição de usinagem**: nesta etapa, o que se deve definir é a posição mais adequada para a execução das operações de torneamento da peça. Com base nas características da peça se opta por torneá-la de um lado, ou do outro. Caso haja necessidade de mudanças na orientação da peça, deve ser chamado um procedimento de inversão. A esta etapa está associado o módulo Inverte.

Dois critérios são utilizados para a definição da posição de usinagem: o contorno da peça e a presença de *features* em pontos específicos da peça. Os critérios são ordenados em ordem decrescente de prioridade, sendo que um critério de menor prioridade só é ativado se o critério anterior não apresentar

uma resposta decisiva, isto é, se a peça **deve** ser invertida ou se a peça **não pode** ser invertida.

I-Contorno da peça (Crescente X Decrescente)

De acordo com a estratégia de usinagem adotada, as operações de torneamento devem ser executadas em um único *setup* da direita para a esquerda, ou seja, com ferramentas de corte à esquerda (isto só é possível porque as peças apresentam escalonamento em um único sentido). Para que a implementação desta estratégia seja possível, é necessário que as peças estejam corretamente posicionadas no torno, ou seja, as peças devem apresentar um contorno crescente quando olhadas da direita para a esquerda. A figura 4.18 apresenta um contorno crescente (a) e um decrescente (b). Este critério é omissivo quando o contorno da peça não é crescente e nem decrescente. Passa então a atuar o próximo critério.

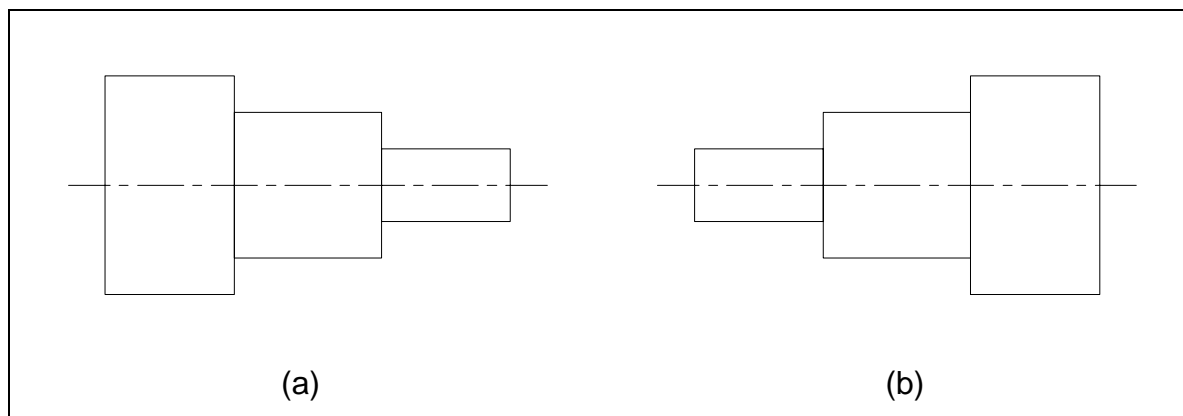


Fig. 4.18: Definição de contornos. (a) Crescente. (b) Decrescente.

II- Presença de *features* em pontos específicos da peça

Com base na estratégia de usinagem adotada, algumas operações devem ser executadas, quando possível, num torno CNC. Assim, se a *feature* associada a uma dada operação se encontra em uma posição desfavorável à sua execução no torno CNC e uma inversão resolve o problema, então deve-se inverter a peça. Tome-se como exemplo um furo que pode ser efetuado no torno

($L/D < 6$), como mostra a figura 4.19. Se o furo se encontra do lado esquerdo da peça, a sua execução no torno é impossível (é bom lembrar que todas as operações de torneamento são feitas em um único *setup*). Como uma inversão da peça resolve o problema, a peça deve ser invertida.

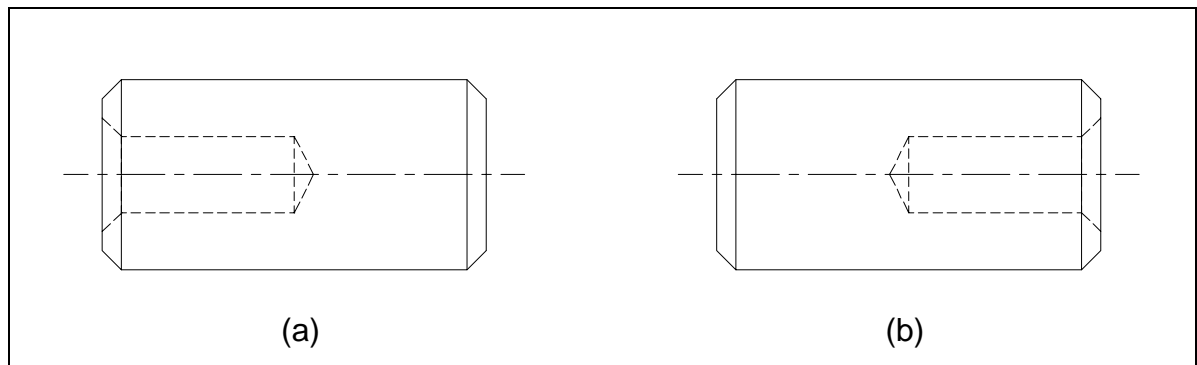


Fig. 4.19: Peça com furo que pode ser executado no torno. (a) Furo posicionado na esquerda impossibilitando a sua execução. (b) Com a inversão da peça o furo pode agora ser executado no torno.

- **atribuição de operações de usinagem a cada *feature*:**

como citado anteriormente, a operação de usinagem é a base para a geração do plano de processos de uma peça. Nesta etapa, atribui-se a cada *feature* um conjunto de operações que possibilitam a sua fabricação. A esta etapa está associado o módulo *AtribuiOperação*. A seguir apresentam-se algumas regras presentes neste módulo. Uma listagem completa das regras de atribuição de operações, na forma de código entendido pelo sistema, pode ser encontrada no anexo B2.

- atribuição de uma operação de desbaste a um eixo cilíndrico com diâmetro inferior ao do material.

⇒ Se

- * na peça existe uma *feature* eixo cilíndrico e

- * este eixo cilíndrico tem $diam < diam$ da matéria-prima da peça

⇒ Então

* crie uma operação com as seguintes características:

Nome = "Cilindrar";
Qualidade = "Desbaste";
Feature = Nome da instância da classe eixo cilíndrico;
Posicao = "Externo";
Direcao = "Longitudinal";
LadoCorte = "Esquerdo".

* associe esta operação à *feature* em questão.

- atribuição de uma operação de desbaste a um furo cilíndrico passante com orientação radial.

⇒ Se

* na peça existe uma *feature* furo cilíndrico passante e

* este furo cilíndrico passante tem orientação radial e

* este furo cilíndrico passante tem um $diam=D$ e uma profundidade= P

⇒ Então

* crie uma operação com as seguintes características:

Nome = "Furar";
Qualidade = "Desbaste";
Feature = Nome da instância da classe furo cilíndrico passante;
Posicao = "ForaCentro";
Direcao = "Transversal";
LadoCorte = "Central";
Diametro = D ;
Profundidade = P .

* associe esta operação à *feature* em questão.

- **seleção da máquina utilizada para cada operação:**

nesta etapa, deve-se definir a máquina que será utilizada para a execução de cada operação em cada *feature*. A esta etapa está associado o módulo SeleccionaMáquina.

A seleção da máquina a ser utilizada em uma dada operação de usinagem é definida em duas etapas, quais sejam:

- Tipo da máquina;
- Máquina específica.

A seguir apresentam-se algumas regras criadas para a definição do tipo de máquina a utilizar numa dada operação.

- definição de que o tipo de máquina a utilizar, para uma operação que tem posição externa, é um torno.

⇒ Se

* existe uma operação que tem Posição = Externo

⇒ Então

* associe ao atributo TipoMáquina desta operação o valor "Torno"

- definição de que o tipo de máquina a utilizar, para uma operação de furar que tem posição fora de centro, é uma furadeira.

⇒ Se

* existe uma operação que tem Nome = Furar e

* Posição = ForaCentro

⇒ Então

- * associe ao atributo TipoMáquina desta operação o valor "Furadeira"

A seguir apresentam-se algumas regras criadas para a seleção da máquina específica a utilizar numa dada operação.

- Seleção da máquina a utilizar, para uma operação que tem tipo de máquina torno, quando o material da peça tem um determinado diâmetro.

⇒ Se

- * o material da peça tem um diametro D tal que $15,875 < D \leq 31,75$ e

- * existe uma operação que tem TipoMaquina = "Torno".

⇒ Então

- * associe ao atributo Máquina desta operação o valor "Torno_TND"

- Seleção da máquina a utilizar, para uma operação de escarear que tem tipo de máquina furadeira, quando a *feature* associada à operação tem orientação axial.

⇒ Se

- * existe uma operação que tem Nome = "Escarear" e

- * esta operação tem TipoMaquina = "Furadeira" e

- * a *feature* associada à operação tem Orientação = "Axial"

⇒ Então

* associe ao atributo Máquina desta operação o valor "FC34" (Furadeira de Coluna 34).

Uma listagem completa das regras de seleção de máquinas para as operações, na forma de código entendido pelo sistema, pode ser encontrada no anexo B3.

• **seleção da ferramenta utilizada para cada operação:** o banco de dados de ferramentas foi projetado de forma a agrupar as ferramentas que podem ser utilizadas para um dado tipo de operação em uma única classe. Assim, por exemplo, as ferramentas que se prestam à execução de operações de cilindramento são agrupadas em uma classe de ferramentas de cilindrar.

Uma vez que tenham sido atribuídas operações às *features*, a escolha do conjunto das ferramentas que podem ser utilizadas para a execução de cada operação é feita numa classe específica para aquele tipo de operação, com base em atributos presentes na operação e na ferramenta. Caso nenhuma das ferramentas presentes no banco de dados seja adequada à execução da operação, o sistema cria automaticamente uma ferramenta com as características desejadas e atribui à ferramenta criada a especificação INEXISTENTE. Assim, consegue-se realizar também a detecção de ferramentas que devem ser adquiridas.

Após a definição do conjunto de ferramentas que pode ser utilizado para a execução de cada uma das operações necessárias à fabricação da peça, deve-se selecionar as ferramentas que serão realmente utilizadas em cada operação. Aqui, se necessário, serão utilizados critérios de desempate para a definição da ferramenta mais adequada. A esta etapa está associado o módulo SeleccionaFerramenta.

A seleção de ferramentas é desenvolvida de forma procedural. Apresenta-se, a seguir, o algoritmo utilizado.

- 1-Atribuir a cada operação as possíveis ferramentas a utilizar na sua execução, incrementando o número de ocorrência de cada ferramenta atribuída;
- 2-Criar uma lista (com base em todo o banco de dados de ferramentas) das ferramentas que têm número de ocorrência maior que zero (**Lista de Ocorrência Maior que Zero**);
- 3-Enquanto a **Lista de Ocorrência Maior que Zero** tiver algum elemento, fazer:

⇒3.1-Preencher a lista das ferramentas que têm o maior número de ocorrência (**Lista de Maior Ocorrência**);

⇒3.2-Testar se a **Lista de Maior Ocorrência** tem mais de um elemento;

* 3.2.1-Se sim

◆ 3.2.1.1-Preencher a lista das operações que têm mais de uma das ferramentas da **Lista de Maior Ocorrência (Lista de Operações Frequentes)**;

◆ 3.2.1.2-Testar se a **Lista de Operações Frequentes** tem algum elemento;

◇ 3.2.1.2.1-Se sim

- 3.2.1.2.1.1-Selecionar como **Operação Principal** aquela que

está associada à maior remoção de material da peça;

- 3.2.1.2.1.2-Preencher a **Lista das Ferramentas Principais** através da interseção das listas de **Maior Ocorrência** e de ferramentas associadas à **Operação Principal**;
- 3.2.1.2.1.3-Com base no critério de desempate definido para para as ferramentas associadas à **Operação Principal**, preencher a **Lista de Ferramentas Selecionadas** (que neste caso só terá um elemento) a partir da **Lista de Ferramentas Principais**;

◇ 3.2.1.2.2-Se não

- 3.2.1.2.2.1-Preencher a **Lista de Ferramentas Selecionadas** com base na **Lista de Maior Ocorrência**;

* 3.2.2-Se não;

- ◆ 3.2.2.1-Preencher a **Lista de Ferramentas Selecionadas** com base na **Lista de Maior Ocorrência**;

⇒3.3-Para cada elemento da **Lista de Ferramentas Selecionadas**, fazer:

- * 3.3.1-excluir esta ferramenta da **Lista de Ocorrência Maior que Zero**;

* 3.3.2-decrementar o número de ocorrência das outras ferramentas que estão nas mesmas operações em que a ferramenta aparece;

* 3.3.3-associar esta ferramenta a cada operação em que aparece;

⇒ 3.4-excluir da **Lista de Ocorrência Maior que Zero** toda ferramenta que tenha número de ocorrência igual a zero;

- 4-Fim.

A utilização deste algoritmo será apresentada na seção 4.7, onde se tem a criação de um plano de processo para uma peça exemplo.

Uma listagem completa dos critérios utilizados para a seleção de conjuntos de ferramentas para cada operação pode ser encontrada no anexo B4.

- **seleção do dispositivo de fixação utilizado para cada operação:** as operações para as quais serão escolhidos dispositivos de fixação são aquelas feitas num torno ou numa furadeira.

As operações feitas num torno terão sempre como dispositivo de fixação a pinça utilizada para fixar a matéria-prima (barra ou tubo), já as operações feitas numa furadeira terão dispositivos específicos para cada peça. A esta etapa está associado o módulo SeleccionaDispFixação.

A seguir apresenta-se uma regra presente neste módulo.

- Seleção do dispositivo de fixação a utilizar, para uma operação de escarear que tem tipo de máquina

furadeira, quando a *feature* associada tem orientação radial.

⇒ Se

- * existe uma operação com Nome = "Escarear"; e
- * esta operação tem TipoMaquina= "Furadeira"; e
- * a *feature* associada à operação tem Orientação = "Radial".

⇒ Então

- * associe ao atributo DispFixação desta operação o valor "DC_S_04842" (código de um dispositivo de fixação utilizado)

Uma listagem completa das regras e funções de seleção de dispositivos de fixação, na forma de código entendido pelo sistema, pode ser encontrada no anexo B5.

• **definição da seqüência de operações**: nesta etapa, deve-se definir a seqüência em que as operações deverão ser executadas. Como apresentado no capítulo 3, cada operação apresenta um índice, ao qual é atribuído um valor aleatório, no momento da criação da operação. O seqüenciamento das operações é feito através de regras que promovem a troca de índices entre as operações. Estas regras atuam de forma a garantir que se uma operação "A" deve ser executada antes de uma operação "B" então o índice de "A" deve ser menor que o índice de "B". O processo de seqüenciamento estará concluído quando mais nenhuma regra for satisfeita. A esta etapa está associado o módulo DefineSeqüência.

A seguir apresentam-se algumas regras presentes neste módulo.

- Uma operação Op1, que é feita no torno, tem um índice maior que uma operação Op2, que é feita numa furadeira. Os índices devem ser trocados, porque as operações no torno são feitas antes das operações na furadeira.

⇒ Se

- * existe uma operação Op1 com Índice = Ind1 e
- * existe uma operação Op2 com Índice = Ind2 e
- * Ind1 > Ind2.

⇒ Então

- * associar ao atributo Índice de Op1 o valor Ind2 e
 - * associar ao atributo Índice de Op2 o valor Ind1.
- A uma mesma *feature* estão associadas duas operações: Op1, que é de desbaste com índice Ind1 e Op2, que é de acabamento com índice Ind2, sendo Ind1 maior que Ind2. Os índices devem ser trocados.

⇒ Se

- * existe uma operação Op1 que está associada à *feature* Ftr e
- * Op1 tem Qualidade = "Desbaste" e
- * Op1 tem Índice = Ind1 e
- * existe uma operação Op2 que está associada à mesma *feature* Ftr e

* Op2 tem Qualidade = "Acabamento" e

* Op2 tem Indice = Ind2 e

* Ind1 > Ind2.

⇒ Então

* associar ao atributo Indice de Op1 o valor Ind2 e

* associar ao atributo Indice de Op2 o valor Ind1.

Uma listagem completa das regras de seqüenciamento de operações, na forma de código entendido pelo sistema, pode ser encontrada no anexo B6.

* existe uma operação Op2 que está associada à mesma *feature* Ftr e

* Op2 tem Qualidade = "Acabamento" e

* Op2 tem Indice = Ind2 e

* Ind1 > Ind2.

⇒ Então

* associar ao atributo Indice de Op1 o valor Ind2 e

* associar ao atributo Indice de Op2 o valor Ind1.

Uma listagem completa das regras de seqüenciamento de operações, na forma de código entendido pelo sistema, pode ser encontrada no anexo B6.

4.7-Uma peça exemplo

Com o objetivo de mostrar o funcionamento do sistema em um caso prático, apresenta-se a geração do plano de processos de fabricação para uma das peças que é feita na célula para a qual o sistema foi ajustado. Os tópicos que se seguem mostram em detalhes as etapas de funcionamento do sistema, como descrito na seção 4.6.

4.7.1-Definição do desenho de projeto da peça

A peça exemplo utilizada pelo sistema é mostrada na figura 4.20.

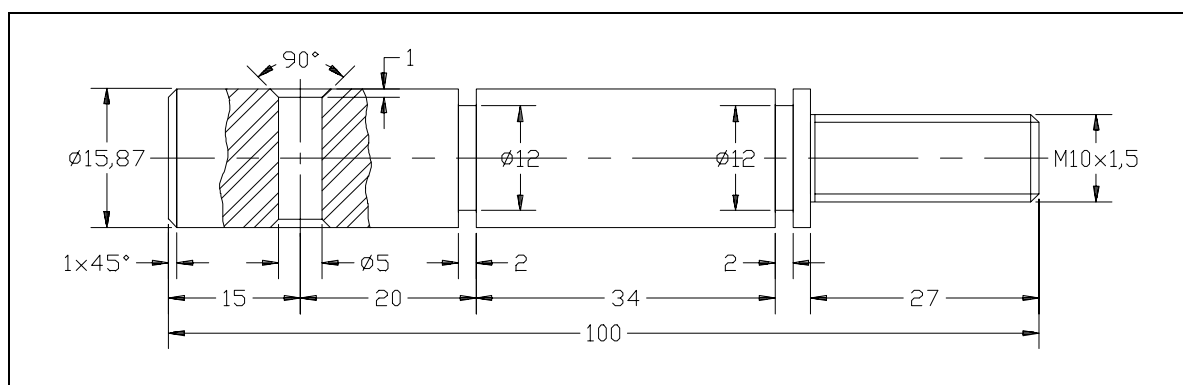


Fig. 4.20: Desenho de projeto da peça exemplo.

A definição da peça é feita através de uma interface gráfica baseada na tecnologia de *features*. Como citado anteriormente, este trabalho não se encarrega do desenvolvimento de tal interface gráfica, apenas promove a adaptação de uma interface previamente construída (FERREIRA et al., 1995), às suas necessidades. A figura 4.21 mostra as *features* presentes na peça exemplo, de acordo com a nomenclatura adotada pelo sistema.

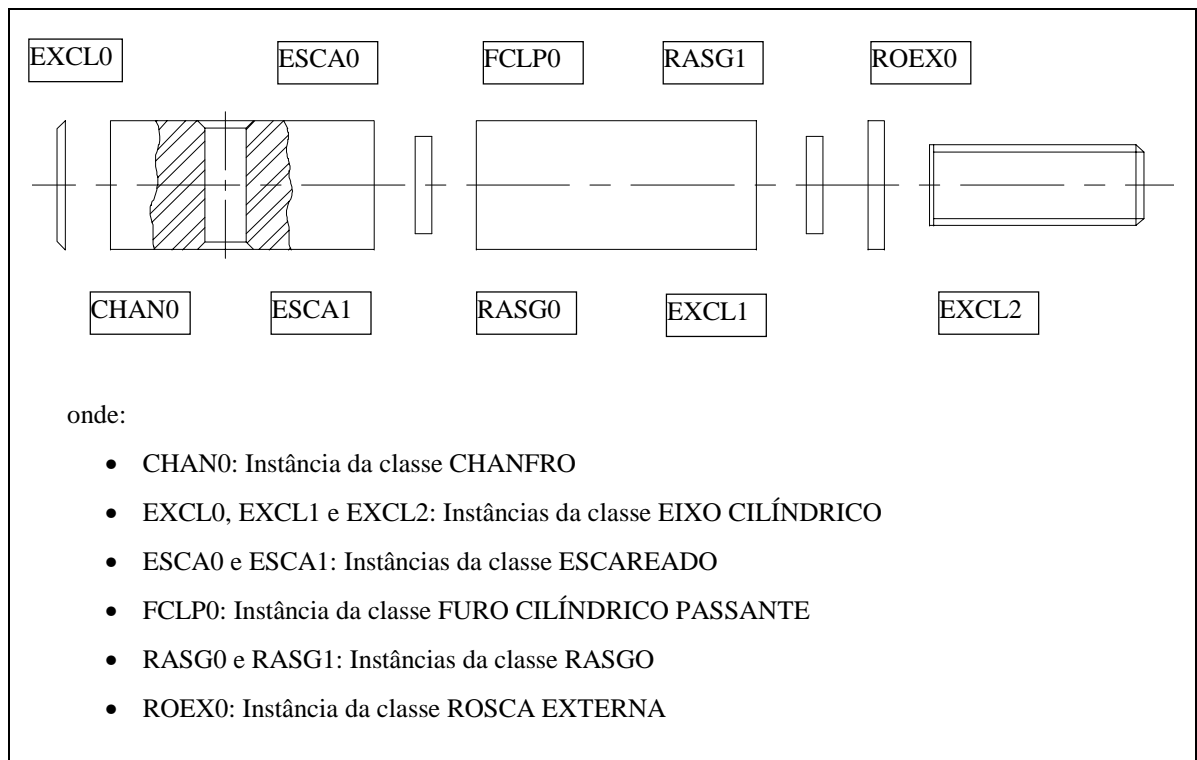


Fig. 4.21: *Features* presentes na peça exemplo.

A figura 4.22 mostra um dos quadros de diálogo utilizados para a entrada de dados de *features* no sistema. A figura 4.23 mostra o quadro de diálogo onde o projetista seleciona a matéria-prima (barra ou tubo) que será utilizada para a fabricação da peça exemplo (ABNT 1045 TREF. h11 D15.87).

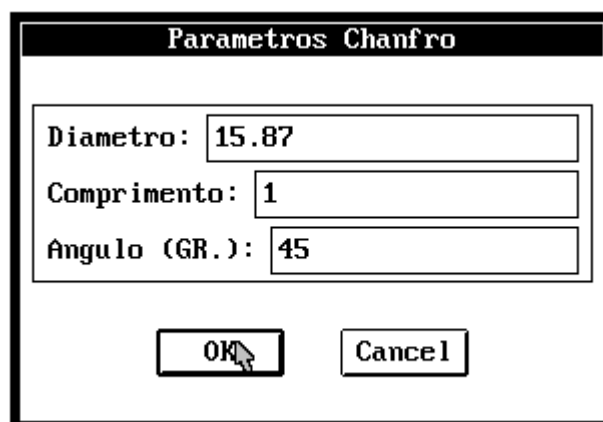


Fig. 4.22: Quadro de diálogo onde as características de uma *feature* chanfro são definidas.

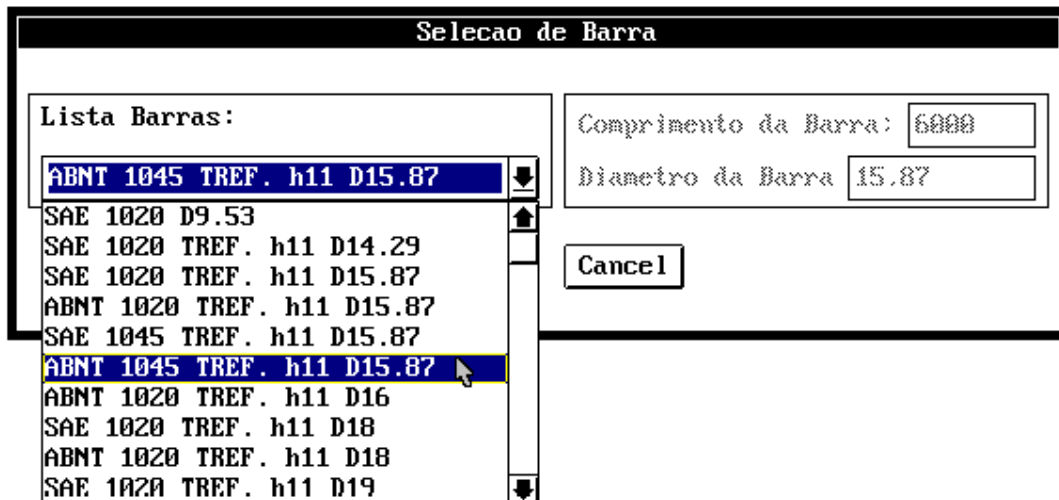


Fig. 4.23: Quadro de diálogo onde o projetista define a matéria-prima utilizada na fabricação da peça.

4.7.2-Mapeamento de *features* de projeto em fabricação

A geração de planos de processo é feita com base no desenho de fabricação de uma dada peça. Este desenho de fabricação é obtido do desenho de projeto através do mapeamento de *features* de projeto em *features* de fabricação. Para a célula em que o sistema foi ajustado o mapeamento de *features* é feito em 1:1. A figura 4.24 mostra o arquivo de dados da peça exemplo obtido após o mapeamento de *features*.

4.7.3-Definição da posição de usinagem

No caso da peça exemplo, o critério a ser utilizado para a definição da posição de usinagem é o do contorno. Como a peça já se encontra na posição de contorno crescente (quando olhada da direita para a esquerda), esta não deve ser invertida. Assim, as ferramentas com corte à esquerda poderão executar todas as operações de torneamento.

<p>([CHAN0] of CHANFRO (PontoX 0.0) (PontoY 7.935) (Posicao "Externo") (Operacoes) (Angulo 45.0) (Comprimento 1.0) (Diametro 15.87) (Sentido "Esquerdo"))</p>	<p>([FCLP0] of FURCILPASSANTE (PontoX 15.0) (PontoY 15.87) (Posicao "ForaCentro") (Operacoes) (Orientacao "Radial") (Diametro 5.0) (ProfFuro 15.87))</p>
<p>([EXCL0] of EIXOCILINDRICO (PontoX 1.0) (PontoY 7.935) (Posicao "Externo") (Operacoes) (Comprimento 32.0) (Diametro 15.87))</p>	<p>([RASG0] of RASGO (PontoX 33.0) (PontoY 7.935) (Posicao "Externo") (Operacoes) (DiamReferencia 15.87) (LargFundo 2.0) (DiamInterno 12.0))</p>
<p>([EXCL1] of EIXOCILINDRICO (PontoX 35.0) (PontoY 7.935) (Posicao "Externo") (Operacoes) (Comprimento 34.0) (Diametro 15.87))</p>	<p>([RASG1] of RASGO (PontoX 69.0) (PontoY 7.935) (Posicao "Externo") (Operacoes) (DiamReferencia 15.87) (LargFundo 2.0) (DiamInterno 12.0))</p>
<p>([EXCL2] of EIXOCILINDRICO (PontoX 71.0) (PontoY 7.935) (Posicao "Externo") (Operacoes) (Comprimento 2.0) (Diametro 15.87))</p>	<p>([ROEX0] of ROSCAEXTERNA (PontoX 73.0) (PontoY 7.935) (Posicao "Externo") (Operacoes) (Diametro 10.0) (Passo 1.5) (ProfFilete 0.9195) (SentidoRosca "A_Direita") (Perfil "Metrico_60") (CompRoscado 26.0) (CompEixo 27.0) (Sentido "Direito"))</p>
<p>([ESCA0] of ESCAREADO (PontoX 15.0) (PontoY 15.87) (Posicao "ForaCentro") (Operacoes) (Angulo 90.0) (Comprimento 1.0) (Diametro 7.0) (Orientacao "Radial") (Sentido "Nenhum"))</p>	<p>([PECA] of PECA (Codigo "CQ-18403") (Descricao "Eixo") (TamanhoLote 100.0) (Material [ABNT_1045_TREF_h11_D15.87]) (Situacao "Producao") (Comprimento 100.0) (Features [PECA::CHAN0] [PECA::EXCL0] [PECA::EXCL1] [PECA::EXCL2] [PECA::ESCA0] [PECA::ESCA1] [PECA::FCLP0] [PECA::RASG0] [PECA::RASG1] [PECA::ROEX0]))</p>
<p>([ESCA1] of ESCAREADO (PontoX 15.0) (PontoY 0.0) (Posicao "ForaCentro") (Operacoes) (Angulo 90.0) (Comprimento 1.0) (Diametro 7.0) (Orientacao "Radial") (Sentido "Nenhum"))</p>	

Fig. 4.24: Arquivo de dados da peça exemplo após o mapeamento um-pra-um.

4.7.4-Atribuição de operações de usinagem a cada *feature*

A cada *feature* constituinte da peça exemplo é associado um conjunto de operações de usinagem (tabela 4.1).

Tab. 4.1: Operações de usinagem atribuídas a cada *feature* da peça exemplo.

OPERAÇÕES ATRIBUÍDAS A CADA <i>FEATURE</i>	
<i>FEATURE</i>	OPERAÇÕES
CHAN0	NOME:CORTAR NOME:CHANFRAR_ESQUERDA
EXCL0	-----
EXCL1	-----
EXCL2	-----
ESCA0	NOME:ESCAREAR
ESCA1	NOME:ESCAREAR
FCLP0	NOME:FURAR
RASG0	NOME:SANGRAR
RASG1	NOME:SANGRAR
ROEX0	NOME:FACEAR--QUALIDADE:DESBASTE NOME:FACEAR--QUALIDADE:ACABAMENTO NOME:CILINDRAR--QUALIDADE:DESBASTE NOME:ROSCAR_EXTERNO

4.7.5-Seleção da máquina utilizada para cada operação

A seleção da máquina para uma dada operação apresenta duas etapas, quais sejam:

- seleção do tipo de máquina a utilizar;
- seleção da máquina específica.

A tabela 4.2 mostra, para cada operação, o tipo de máquina selecionado, assim como a máquina específica a ser utilizada.

Tab. 4.2: Máquina selecionada para cada operação.

MÁQUINA SELECIONADA PARA CADA OPERAÇÃO	
OPERAÇÃO/FEATURE	TIPO/MÁQUINA ESPECÍFICA
CORTAR/CHAN0	TORNO/TORNO_TNS
CHANFRAR_ESQUERDA/CHAN0	TORNO/TORNO_TNS
ESCAREAR/ESCA0	FURADEIRA/FURADEIRA_FB59
ESCAREAR/ESCA1	FURADEIRA/FURADEIRA_FB59
FURAR/FCLP0	FURADEIRA/FURADEIRA_FC34
SANGRAR/RASG0	TORNO/TORNO_TNS
SANGRAR/RASG1	TORNO/TORNO_TNS
FACEAR--DESBASTE/ROEX0	TORNO/TORNO_TNS
FACEAR--ACABAMENTO/ROEX0	TORNO/TORNO_TNS
CILINDRAR--DESBASTE/ROEX0	TORNO/TORNO_TNS
ROSCAR_EXTERNO/ROEX0	TORNO/TORNO_TNS

4.7.6-Seleção da ferramenta utilizada para cada operação

A seleção de ferramentas é desenvolvida de forma procedural. De acordo com o algoritmo apresentado na seção 4.6 tem-se os seguintes passos:

- 1-Atribuir a cada operação as possíveis ferramentas a utilizar na sua execução, incrementando o número de ocorrência de cada ferramenta atribuída. Os resultados são apresentados na tabela 4.3.

Tab. 4.3: Ferramentas que podem ser utilizadas na execução de cada operação.

CONJUNTO DE POSSÍVEIS FERRAMENTAS PARA CADA OPERAÇÃO	
OPERAÇÃO/FEATURE	CONJUNTO DE FERRAMENTAS
CORTAR/CHAN0	[L151.2-250-08-5F-GC235-LF151.23-2020-25]
CHANFRAR_ESQUERDA/CHAN0	[L151.2-250-08-5F-GC235-LF151.23-2020-25]
ESCAREAR/ESCA0	[ESCAREAR_90]
ESCAREAR/ESCA1	[ESCAREAR_90]
FURAR/FCLP0	[R410.5-0500-60-01-TIN] [R410.5-0500-30-01-TIN]
SANGRAR/RASG0	[N151.2-200-20-5G-GC235-LF151.22-2020-20]
SANGRAR/RASG1	[N151.2-200-20-5G-GC235-LF151.22-2020-20]
FACEAR-DESBASTE/ROEX0	[CNMG-12-04-08-QM-GC415-PCLNL-2020K12]
FACEAR-ACABAMENTO/ROEX0	[CNMG-12-04-08-MF-GC415-PCLNL-2020K12]
CILINDRAR-DESBASTE/ROEX0	[CNMG-12-04-08-QM-GC415-PCLNL-2020K12]
ROSCAR_EXTERNO/ROEX0	[R166.0G-16MMO1-150-GC1020-R166.0FGZ-2525-16]

- 2-Criar uma lista (com base em todo o banco de dados de ferramentas) das ferramentas que têm número de ocorrência maior que zero (**Lista de Ocorrência Maior que Zero**). Os resultados são apresentados na tabela 4.4.

Tab. 4.4: Número de ocorrência das ferramentas da **Lista de Ocorrência Maior que Zero**.

NÚMERO DE OCORRÊNCIA DAS FERRAMENTAS	
FERRAMENTA	NÚMERO DE OCORRÊNCIA
[L151.2-250-08-5F-GC235-LF151.23-2020-25]	2
[ESCAREAR_90]	2
[R410.5-0500-60-01-TIN]	1
[R410.5-0500-30-01-TIN]	1
[N151.2-200-20-5G-GC235-LF151.22-2020-20]	2
[CNMG-12-04-08-QM-GC415-PCLNL-2020K12]	2
[CNMG-12-04-08-MF-GC415-PCLNL-2020K12]	1
[R166.0G-16MMO1-150-GC1020-R166.0FGZ-2525-16]	1

O passo 3 do algoritmo de seleção de ferramentas representa um *loop* (processo cíclico) sobre os elementos da **Lista de Ocorrência Maior que Zero**, que será executado enquanto houver algum elemento nesta lista. Sendo assim, a cada passagem pelo *loop* (a cada iteração), esta lista sofrerá algumas alterações, até que ao fim do processo (última iteração) esta lista fique vazia e as ferramentas adequadas tenham sido selecionadas. Os resultados apresentados nas tabelas 4.5 a 4.12 são discriminados por iteração, ou seja, mostram a evolução dos dados a cada iteração.

- 3-Enquanto a **Lista de Ocorrência Maior que Zero** tiver algum elemento, fazer:
 - ⇒ 3.1-Preencher a lista das ferramentas que têm o maior número de ocorrência (**Lista de Maior Ocorrência**). Os resultados são apresentados na tabela 4.5, para cada iteração;

Tab. 4.5: Lista das ferramentas que têm o maior número de ocorrência.

LISTA DE MAIOR OCORRÊNCIA	
ITERAÇÃO	FERRAMENTAS
1	[L151.2-250-08-5F-GC235-LF151.23-2020-25] [ESCAREAR_90] [N151.2-200-20-5G-GC235-LF151.22-2020-20] [CNMG-12-04-08-QM-GC415-PCLNL-2020K12]
2	[R410.5-0500-60-01-TIN] [R410.5-0500-30-01-TIN] [CNMG-12-04-08-MF-GC415-PCLNL-2020K12] [R166.0G-16MMO1-150-GC1020-R166.0FGZ-2525-16]
3	[CNMG-12-04-08-MF-GC415-PCLNL-2020K12] [R166.0G-16MMO1-150-GC1020-R166.0FGZ-2525-16]

⇒ 3.2-Testar se a **Lista de Maior Ocorrência** tem mais de um elemento. Os resultados são apresentados na tabela 4.6, para cada iteração;

Tab. 4.6: Teste sobre a Lista de Maior Ocorrência.

ITERAÇÃO	TESTE SOBRE A LISTA DE MAIOR OCORRÊNCIA
1	VERDADEIRO
2	VERDADEIRO
3	VERDADEIRO

* 3.2.1-Se sim

◆ 3.2.1.1-Preencher, com base na tabela 4.3, a lista das operações que têm mais de uma das ferramentas da **Lista de Maior Ocorrência (Lista de Operações Frequentes)**. Os resultados são

apresentados na tabela 4.7, para cada iteração;

Tab. 4.7: Lista das Operações Frequentes.

LISTA DE OPERAÇÕES FREQUENTES	
ITERAÇÃO	OPERAÇÕES
1	NENHUMA OPERAÇÃO SATISFAZ À CONDIÇÃO
2	FURAR/FCLP0
3	NENHUMA OPERAÇÃO SATISFAZ À CONDIÇÃO

- ◆ 3.2.1.2-Testar se a **Lista de Operações Frequentes** tem algum elemento. Os resultados são apresentados na tabela 4.8, para cada iteração;

Tab. 4.8: Teste sobre a Lista de Operações Frequentes.

ITERAÇÃO	TESTE SOBRE A LISTA DE OPERAÇÕES FREQUENTES
1	FALSO
2	VERDADEIRO
3	FALSO

- ◇ 3.2.1.2.1-Se sim

- 3.2.1.2.1.1-Selecionar como **Operação Principal** aquela que está associada à maior remoção de material da peça. Os resultados são apresentados na tabela 4.9, para cada iteração;

Tab. 4.9: Operação Principal em cada iteração.

OPERAÇÃO PRINCIPAL EM CADA ITERAÇÃO	
ITERAÇÃO	OPERAÇÃO PRINCIPAL
1	-----
2	FURAR/FCLP0
3	-----

- 3.2.1.2.1.2-Preencher a **Lista das Ferramentas Principais** através da interseção das listas de **Maior Ocorrência** (tab. 4.5) e de ferramentas associadas à **Operação Principal** (ver tab. 4.3). Os resultados são apresentados na tabela 4.10, para cada iteração;

Tab. 4.10: Lista das ferramentas principais.

LISTA DAS FERRAMENTAS PRINCIPAIS		
ITERAÇÃO	FERRAMENTAS PRINCIPAIS	CRITÉRIO DE DESEMPATE
1	-----	-----
2	[R410.5-0500-60-01-TIN] [R410.5-0500-30-01-TIN]	FERRAMENTA COM MENOR COMPRIMENTO ÚTIL
3	-----	-----

- 3.2.1.2.1.3-Com base no critério de desempate (ver tabela 4.10) definido para as ferramentas associadas à **Operação Principal**, preencher a **Lista de Ferramentas Selecionadas** (tabela 4.11, que

neste caso só terá um elemento) a partir da **Lista de Ferramentas Principais** (tabela 4.10);

◇ 3.2.1.2.2- Se não

- 3.2.1.2.2.1- Preencher a **Lista de Ferramentas Seleccionadas** com base na **Lista de Maior Ocorrência** (tabela 4.5). Os resultados são apresentados na tabela 4.11, para cada iteração;

* 3.2.2- Se não;

- ◆ 3.2.2.1- Preencher a **Lista de Ferramentas Seleccionadas** com base na **Lista de Maior Ocorrência**;

Tab. 4.11: Lista das Ferramentas Seleccionadas.

LISTA DE FERRAMENTAS SELECIONADAS	
ITERAÇÃO	FERRAMENTAS
1	[L151.2-250-08-5F-GC235-LF151.23-2020-25] [ESCAREAR_90] [N151.2-200-20-5G-GC235-LF151.22-2020-20] [CNMG-12-04-08-QM-GC415-PCLNL-2020K12]
2	[R410.5-0500-30-01-TIN]
3	[CNMG-12-04-08-MF-GC415-PCLNL-2020K12] [R166.0G-16MMO1-150-GC1020-R166.0FGZ-2525-16]

⇒ 3.3- Para cada elemento da **Lista de Ferramentas Seleccionadas**, fazer:

* 3.3.1-retirar esta ferramenta da **Lista de Ocorrência Maior que Zero**, marcando sua situação com a chave "SELEC" (Selecionada) (ver tabela 4.12);

* 3.3.2-decrementar o número de ocorrência das outras ferramentas que estão nas mesmas operações (consultar tabela 4.3) em que a referida ferramenta aparece (resultados na tabela 4.12);

* 3.3.3-atribuir esta ferramenta a cada operação em que aparece. Ver tabela 4.13;

⇒ 3.4-retirar da **Lista de Ocorrência Maior que Zero** toda ferramenta que tenha número de ocorrência igual a zero, marcando sua situação com a chave "EXCLU" (Excluída) (ver tabela 4.12);

• 4-Fim.

Tab. 4.12: Evolução da situação das ferramentas da **Lista de Ocorrência Maior que Zero**.

SITUAÇÃO DAS FERRAMENTAS DA LISTA DE OCORRÊNCIA MAIOR QUE ZERO						
FERRAMENTA	ITERAÇÃO					
	1		2		3	
	N. OCOR.	SITUAÇÃO	N. OCOR.	SITUAÇÃO	N. OCOR.	SITUAÇÃO
[L151.2-250-08-5F-GC235-LF151.23-2020-25]	2	SELEC	-----	-----	-----	-----
[ESCAREAR_90]	2	SELEC	-----	-----	-----	-----
[R410.5-0500-60-01-TIN]	1	-----	0	EXCLU	-----	-----
[R410.5-0500-30-01-TIN]	1	-----	1	SELEC	-----	-----
[N151.2-200-20-5G-GC235-LF151.22-2020-20]	2	SELEC	-----	-----	-----	-----
[CNMG-12-04-08-QM-GC415-PCLNL-2020K12]	2	SELEC	-----	-----	-----	-----
[CNMG-12-04-08-MF-GC415-PCLNL-2020K12]	1	-----	1	-----	1	SELEC
[R166.0G-16MMO1-150-GC1020-R166.0FGZ-2525-16]	1	-----	1	-----	1	SELEC

Os resultados finais do processo de seleção de ferramentas são mostrados na tabela 4.13.

Tab. 4.13: Ferramenta selecionada para a execução de cada operação.

FERRAMENTA SELECIONADA PARA CADA OPERAÇÃO	
OPERAÇÃO/FEATURE	FERRAMENTA SELECIONADA
CORTAR/CHAN0	[L151.2-250-08-5F-GC235-LF151.23-2020-25]
CHANFRAR_ESQUERDA/CHAN0	[L151.2-250-08-5F-GC235-LF151.23-2020-25]
ESCAREAR/ESCA0	[ESCAREAR_90]
ESCAREAR/ESCA1	[ESCAREAR_90]
FURAR/FCLP0	[R410.5-0500-30-01-TIN]
SANGRAR/RASG0	[N151.2-200-20-5G-GC235-LF151.22-2020-20]
SANGRAR/RASG1	[N151.2-200-20-5G-GC235-LF151.22-2020-20]
FACEAR-DESBASTE/ROEX0	[CNMG-12-04-08-QM-GC415-PCLNL-2020K12]
FACEAR-ACABAMENTO/ROEX0	[CNMG-12-04-08-MF-GC415-PCLNL-2020K12]
CILINDRAR-DESBASTE/ROEX0	[CNMG-12-04-08-QM-GC415-PCLNL-2020K12]
ROSCAR_EXTERNO/ROEX0	[R166.0G-16MMO1-150-GC1020-R166.0FGZ-2525-16]

4.7.7-Seleção do dispositivo de fixação utilizado para cada operação

As operações serão realizadas num torno ou numa furadeira. Para as operações realizadas num torno o dispositivo de fixação é sempre uma pinça com diâmetro adequado ao da barra/tubo. Para as operações realizadas nas furadeiras, não há padronização de dispositivos de fixação, ou seja, cada peça tem seu dispositivo específico de furação.

A tabela 4.14, a seguir, mostra os dispositivos selecionados para cada operação.

Tab. 4.14: Dispositivo de fixação selecionado para cada operação.

DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO SELECIONADO PARA CADA OPERAÇÃO	
OPERAÇÃO/FEATURE	DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO
CORTAR/CHAN0	PINCA_15.5
CHANFRAR_ESQUERDA/CHAN0	PINCA_15.5
ESCAREAR/ESCA0	DC-S-04842
ESCAREAR/ESCA1	DC-S-04842
FURAR/FCLP0	DISP_ESPECIFICO_DA_PECA
SANGRAR/RASG0	PINCA_15.5
SANGRAR/RASG1	PINCA_15.5
FACEAR--DESBASTE/ROEX0	PINCA_15.5
FACEAR--ACABAMENTO/ROEX0	PINCA_15.5
CILINDRAR--DESBASTE/ROEX0	PINCA_15.5
ROSCAR_EXTERNO/ROEX0	PINCA_15.5

4.7.8-Definição da seqüência de operações

As operações de usinagem devem ser executadas numa ordem adequada. A tabela 4.15 apresenta o plano de processos gerado para a peça exemplo, mostrando os recursos utilizados em cada operação, assim como a sua seqüência.

Tab. 4.15: Plano de processo gerado para a peça exemplo.

PLANO DE PROCESSO PARA A PEÇA EXEMPLO				
GRIMA/GRUCON/EMC/UFSC		No. DO PRODUTO:DQ-05495		PAGINA: 1 DE TOTAL:1
		No DA PEÇA:CQ-18403		
		DESCRIÇÃO:EIXO		
MATERIAL: ABNT 1045 TREF. h11 D15.87			PEÇAS POR METRO:9	QUANTIDADE:100
No.OP	OPERAÇÃO	MÁQUINA	FERRAMENTA	FIXAÇÃO
10	SERRAR	S. A.	-----	-----
20	ENDIREITAR	P. H.	-----	-----
30	CHANFRAR	T.U.	TNMG-22-04-08-GC415 PTTNL-2525M22	-----
40	FACEAR DESBASTE	TNS	CNMG-12-04-08-QM-GC415 PCLNL-2020K12	PINCA_15.5
50	CILINDRAR DESBASTE	TNS	CNMG-12-04-08-QM-GC415 PCLNL-2020K12	PINCA_15.5
60	FACEAR ACABAMENTO	TNS	CNMG-12-04-08-MF-GC415 PCLNL-2020K12	PINCA_15.5
70	ROSCAR EXTERNO	TNS	R166.0G-16MMO1-150-GC1020 R166.0FGZ-2525-16	PINCA_15.5
80	SANGRAR	TNS	N151.2-200-20-5G-GC235 LF151.22-2020-20	PINCA_15.5
90	SANGRAR	TNS	N151.2-200-20-5G-GC235 LF151.22-2020-20	PINCA_15.5
100	CHANFRAR ESQUERDA	TNS	L151.2-250-08-5F-GC235 LF151.23-2020-25	PINCA_15.5
110	CORTAR	TNS	L151.2-250-08-5F-GC235 LF151.23-2020-25	PINCA_15.5
120	FURAR	FC34	R410.5-0500-30-01-TIN	DISP. ESPEC.
130	ESCAREAR	FB59	ESCAREAR_90	DC-S-04842
140	ESCAREAR	FB59	ESCAREAR_90	DC-S-04842

5-Discussão, Conclusões e Futuros Trabalhos

Devido à amplitude de domínio dos sistemas CAPP desenvolvidos até o momento, a sua adaptação às particularidades de cada empresa se torna complicada e por isso a quantidade de sistemas CAPP utilizados de forma comercial é ainda bastante reduzida.

Diante deste quadro, este trabalho se propôs a apresentar um modelo de desenvolvimento de sistemas CAPP no qual a adaptação do sistema à realidade de cada empresa pudesse ser facilmente realizada. O modelo utilizado para a construção do *software* se baseia em alguns pontos que o diferenciam dos demais.

Na seção 5.1, apresenta-se uma análise do modelo, no sentido de verificar a sua validade e o desempenho do *software* desenvolvido. Na seção 5.2, procura-se apontar alguns caminhos que devem ser seguidos no desenvolvimento de sistemas CAPP e finalmente na seção 5.3 apresenta-se uma lista de sugestões de trabalhos complementares que podem ser desenvolvidos nesta mesma linha de pesquisa.

5.1-Adequação do modelo

Na construção de um sistema CAPP, vários caminhos podem ser seguidos. O modelo apresentado se baseia em alguns pontos fundamentais, que são analisados a seguir:

- **modelo de informações baseado em *features***: a manipulação das informações de uma peça na forma de *features* é mais simples. A comunicação dos sistemas CAD/CAPP, através do mapeamento de *features*, se torna

mais clara e a geração de um plano de processos é facilitada pela atribuição de operações de usinagem a cada *feature*. Este modelo de informações é bastante vantajoso;

- **técnica de programação por sistemas especialistas:** a geração de planos de processo é uma tarefa que não pode ser realizada de forma algorítmica. A utilização de sistemas especialistas é uma alternativa viável, já que estes são adequados para este tipo de problema e existem ferramentas (*shells*) comerciais próprias para o seu desenvolvimento;
- **a operação de usinagem como base para o planejamento de processos:** a utilização da operação de usinagem como centro do sistema de geração de planos de processo é adequada, pois a atribuição de operações às *features* é simples e a seleção de máquinas, ferramentas e dispositivos de fixação é feita de forma bastante natural para cada operação;
- **a estratégia de usinagem como chave para a base de conhecimento:** a aquisição de conhecimento é um aspecto crítico no desenvolvimento de um sistema especialista. Tradicionalmente procura-se extrair um conjunto de regras do especialista no assunto, para construir a base de conhecimento. Esta abordagem dificulta a garantia de consistência e a realização da manutenção de tal base de conhecimento. O levantamento de uma estratégia de usinagem significa a definição de princípios que devem ser seguidos durante todo o processo de fabricação. Desta forma, será mais simples garantir a consistência e fazer a manutenção de uma base de conhecimento criada com base na estratégia de usinagem, o que torna a metodologia adequada;

- **a personalização como forma de adaptação à realidade industrial:** a célula para a qual o sistema foi adaptado é ligeiramente diferente da célula presente na empresa SLC. Em visita recente à referida empresa, foram observados pequenos ajustes (manutenção de regras), necessários para que o sistema seja adaptado à célula presente na empresa. Ajustes semelhantes (alteração de regras por mudança na estratégia de usinagem, atualização dos bancos de dados de ferramentas, máquinas e dispositivos de fixação) serão necessários para que o sistema seja adaptado a outras células. O modelo proposto para o sistema permite que tais alterações sejam facilmente implementadas, já que prevê a existência de uma parte móvel no sistema (figura 3.4). Assim, a adaptação do sistema à realidade de cada empresa fica garantida através da sua personalização.

Sistemas CAPP relatados na literatura encontram no tempo de processamento um obstáculo a ser vencido. O sistema PART apresentado por HOUTEN (1991), que roda em estações de trabalho, utiliza processamento paralelo para diminuir o tempo de execução e mesmo assim vários minutos são necessários para que o sistema forneça uma resposta. O tempo gasto pelo *software* construído durante este trabalho, para a geração do plano de processo para uma peça, é de aproximadamente trinta segundos. Esta característica provavelmente se deve ao pequeno número de regras presentes no sistema. Isto porque o modelo proposto não procura resolver um problema genérico, mas sim, definir regras que garantam que a estratégia de usinagem adotada para a célula em questão seja seguida.

Com relação à portabilidade (adaptação a diferentes computadores) desejada no sistema, esta ainda não se mostra satisfatória, pois foram detectados conflitos no gerenciamento de memória quando o sistema foi instalado em alguns computadores

com diferentes configurações. Uma solução definitiva para os problemas encontrados certamente seria conseguida com a migração do sistema para uma plataforma Windows, já que neste caso, as restrições de memória impostas pelo DOS não estariam presentes e o seu gerenciamento seria mais simples.

5.2- Sistemas CAPP: caminhos que devem ser seguidos

Sistemas CAPP que venham a ser desenvolvidos deverão contemplar os seguintes fatores:

- **customização:** a fácil adaptação de um sistema à empresa onde será implantado é fundamental;
- **inteligência:** um sistema CAPP deve ser capaz de propor soluções alternativas, como faz um processista;
- **fácil integração com softwares comerciais:** para que seja possível a integração entre sistemas CAD/CAPP/CAM é necessário que o sistema CAPP desenvolvido seja de fácil integração com softwares de CAD e CAM já disponíveis no mercado. A integração com *softwares* de planejamento da produção também deve ser uma característica de tal sistema CAPP;
- **portabilidade:** devido ao grande avanço de *hardware* na linha dos PCs, a sua utilização com sistemas mais pesados tem se tornado possível. Novos sistemas CAPP devem estar preparados para rodar em computadores da linha PC.

5.3-Futuros trabalhos que podem ser desenvolvidos

Com o objetivo de promover a integração entre as atividades do ciclo produtivo, nota-se a necessidade de

desenvolvimento de alguns sistemas. A seguir, apresentam-se sugestões de trabalhos que podem ser desenvolvidos nesta área:

- **geração de planos de processo por lote de peças:** o sistema desenvolvido gera planos de processo para uma única peça. Seria bastante interessante desenvolver um sistema que, utilizando o plano para uma peça, gerasse um plano otimizado para um lote de peças.
- **ligação do sistema CAPP com um sistema CAM:** o trabalho apresentado aqui dá atenção especial à ligação CAD/CAPP. A ligação CAPP/CAM é de grande importância para a automatização da produção. Seria necessário o desenvolvimento de módulos de seleção de condições de corte, determinação de sobremetais, etc. Alguns trabalhos neste sentido, já foram desenvolvidos, como o apresentado por GU e ZHANG (1994), mas novas propostas seriam bem-vindas.
- **adaptação a outros domínios:** a verificação da validade do modelo apresentado neste trabalho foi baseada em uma célula específica de manufatura. Seria muito interessante que fossem levantadas estratégias utilizadas em outros domínios (peças com maior precisão, geometrias mais variadas, etc), no sentido de criar uma biblioteca de bases de conhecimento associadas a estratégias freqüentemente utilizadas. Tal biblioteca poderia ser utilizada no momento da adaptação do sistema a uma nova célula.
- **verificação automática da consistência de regras:** os resultados apresentados por um sistema especialista dependem diretamente da qualidade de sua base de conhecimento. A verificação da consistência das regras que compõem tal base de conhecimento é ponto fundamental na garantia de sua qualidade. Para que

não seja necessária a realização de testes exaustivos, pode-se pensar no desenvolvimento de uma metodologia que permita a verificação automática da consistência das regras.

- **geração de planos de processo *on-line*:** os planos de processo gerados neste trabalho são *off-line*. Para que seja possível gerar planos *on-line*, a ligação do sistema CAPP com um sistema de planejamento da produção é fundamental. A literatura apresenta trabalhos neste sentido: ZHANG (1993), KANUMURY e CHANG (1991) e CHO et al. (1994), mas uma solução definitiva ainda não foi apresentada.
- **análise de manufaturabilidade prévia:** Não são raros os casos em que um projeto é detalhado sem levar em consideração a sua fabricação. Muitas vezes são necessárias modificações de última hora, nas especificações, para que o projeto se torne factível. Uma análise prévia da manufaturabilidade de um componente (ainda durante a fase de projeto) poderia agilizar bastante a produção. Um trabalho neste sentido se utilizaria do plano de processos gerado, para verificar se os recursos presentes na empresa são suficientes para realizar as operações necessárias e caso não sejam, modificações poderiam ser sugeridas. A literatura apresenta alguns trabalhos nesta área (SHAH et al., 1990), mas muito desenvolvimento ainda se faz necessário.

Referências Bibliográficas

- 1 ABDOU, G.; CHENG, R. TVCAPP, Tolerance Verification in Computer-Aided Process Planning. **International Journal of Production Research**, v.31, n.2, p.393-411, 1993.

- 2 ALTING, Leo; ZHANG, Hong-Chao. Computer Aided Process Planning: the State-of-the-Art Survey. **International Journal of Production Research**, v.27, n.4, p.553-585, 1989.
- 3 ALTING, Leo. Life-Cycle Design of Products: A New Opportunity for Manufacturing Enterprises. In: KUSIAK, Andrew. **Concurrent Engineering: Automation, Tools and Techniques**. New York : John Wiley & Sons, Inc, 1993. p.1-17.
- 4 ARAKAKI, Reginaldo; ARAKAKI, Julio; ANGERAMI, Paulo Mattos et al. **Fundamentos de Programação C: Técnicas e Aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos, 1990.
- 5 AUTODESK INC. **AutoCAD Development System: Programmer's Reference Manual**. 1. ed. USA : AutoDesk, 1992.
- 6 BORLAND INTERNATIONAL INC. **Borland C++ Version 4.5: Class Libraries Guide**. 1. ed. USA : Borland International, 1994.
- 7 BORLAND INTERNATIONAL INC. **Borland C++ Version 4.5: Dos Reference**. 1. ed. USA : Borland International, 1994.
- 8 BORLAND INTERNATIONAL INC. **Borland C++ Version 4.5: Library Reference**. 1. ed. USA : Borland International, 1994.
- 9 BORLAND INTERNATIONAL INC. **Borland C++ Version 4.5: Programmer's Guide**. 1. ed. USA : Borland International, 1994.
- 10 BORLAND INTERNATIONAL INC. **Borland C++ Version 4.5: User's Guide**. 1. ed. USA : Borland International, 1994.
- 11 BORLAND INTERNATIONAL INC. **Borland PowerPack for DOS: User's Guide**. 1. ed. USA : Borland International, 1994.

- 12 BORLAND INTERNATIONAL INC. **Borland Turbo Debugger Version 4.5: User's Guide.** 1. ed. USA : Borland International, 1994.
- 13 BRONSVOORT, Willem F.; JANSEN, Frederik W. Multi-View Feature Modelling for Design and Assembly. In: SHAH, Jami J.; MÄNTYLÄ, Martti; NAU, Dana S. **Advances in Feature Based Manufacturing.** Amsterdam : ELSEVIER, 1994. p.107-128.
- 14 BUTZKE, A.U.; FERREIRA, J.C.E. A Manufacturing Support System for Industrial Part Process Planning. In: CAMARINHA, L.M.; AFSARMANESH, H. **Balanced Automation Systems: Architectures and Design Methods (BASYS-95).** Vitória : CHAPMAN & HALL, 1995. p.159-170.
- 15 CAM-I. **Part Features for Process Planning.** 1. ed. Arlington : CAM-I, 1986.
- 16 CHO, H.; DEREBAIL, A.; HALE, T. et al. A Formal Approach to Integrating Computer-Aided Process Planning and Shop Floor Control. **ASME Journal of Engineering for Industry**, v.116, p.108-116, 1994.
- 17 CHRISTMAN, Alan. Software Learns Lessons From Experts. **CAD/CAM Industry Report**, v.66, n.10, p.59-65, 1994.
- 18 COAD, Peter; YOURDON, Edward. **Análise Baseada em Objetos.** 2. ed. Rio de Janeiro : Campus, 1992.
- 19 ERVE, A.H. van't. **Generative Computer Aided Process Planning for Part Manufacturing: An Expert System Approach.** Twente, 1988. Tese (Doutorado em Fabricação Mecânica-Planejamento de Processos). University of Twente.
- 20 EVERSHEIM, W.; SCHNEEWIND, J. Computer-Aided Process Planning-State of the Art and Future Development. **Robotics**

- & **Computer-Integrated Manufacturing**, v.10, n.1/2, p.65-70, 1993.
- 21 FERREIRA, J.C.E. **A Contribution to Process Planning for Prismatic Components**. Manchester, 1990. Tese (Doutorado em Fabricação Mecânica-Planejamento de Processos). UMIST.
- 22 FERREIRA, J.C.E.; BUTZKE, A.U.; FURLAN NETO, F. A CAD by Features System Applied to an Industrial Reality. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences**, v.17, n.2, p.209-218, 1995.
- 23 GADH, Rajit. Feature Mapping and Feature Recognition in Geometric Design Generation. In: SHAH, Jami J.; MÄNTYLÄ, Martti; NAU, Dana S. **Advances in Feature Based Manufacturing**. Amsterdam : ELSEVIER, 1994. p.107-128.
- 24 GERLING, Heinrich. **À Volta da Máquina-Ferramenta**. ed. especial Rio de Janeiro : REVERTÉ LTDA, 1977.
- 25 GIARRATANO, Joseph; RILEY, Gary. **Expert Systems: Principles and Programming**. 2. ed. Boston : PWS Publishing Company, 1994.
- 26 GU, P.; ZHANG, Y. OOPPS: An Object-Oriented Process Planning System. **Computers Industrial Engineering**, v.26, n.4, p.709-731, 1994.
- 27 HENDERSON, Mark R.; SRINATH, Gopal; STAGE, Roger et al. Boundary Representation-Based Feature Identification. In: SHAH, Jami J.; MÄNTYLÄ, Martti; NAU, Dana S. **Advances in Feature Based Manufacturing**. Amsterdam : ELSEVIER, 1994. P.15-38.
- 28 HOUTEN, F.J.A.M. van. **PART: A Computer Aided Process Planning System**. Twente, 1991. Tese (Doutorado em

Fabricação Mecânica-Planejamento de Processos). University of Twente.

- 29 HUANG, Hefeng. **A Generative Process Planning System for Turned Components**. Manchester, 1988. Tese (Doutorado em Fabricação Mecânica-Planejamento de Processos). Manufacturing and Machine Tool Division, Mechanical Engineering Department, UMIST.
- 30 IRANI, S.A.; KOO, H.-Y.; RAMAN, S. Feature-Based Operation Sequence Generation in CAPP. **International Journal of Production Research**, v.33, n.1, p.17-39, 1995.
- 31 JALOTE, Pankaj. **An Integrated Approach to Software Engineering**. 1. ed. New York : Springer-Verlag, 1991.
- 32 JASTHI, S.R.K.; PRASAD, A.V.S.R.K.; MANIDHAR, G. et al. A Feature-Based Part Description System for Computer-Aided Process Planning. **Journal of Design and Manufacturing**, v.4, n.1, p.67-80, 1994.
- 33 KANUMURY, M.; CHANG, T.C. Process Planning in an Automated Manufacturing Environment. **Journal of Manufacturing Systems**, v.10, n.1, p.67-78, 1991.
- 34 KAPUR, Kailash C. Robust Design, Manufacturing and Concurrent Engineering. **Journal of Design and Manufacturing**, v.4, n.1, p.31-39, 1994.
- 35 KIM, Cheolhan; KIM, Kwangsoo; CHOI, Injun. An Object-Oriented Information Modeling Methodology for Manufacturing Information systems. **Computers Industrial Engineering**, v.24, n.3, p.337-353, 1993.
- 36 KIM, Yong Se. Volumetric Feature Recognition Using Convex Decomposition. In: SHAH, Jami J.; MÄNTYLÄ, Martti; NAU, Dana S. **Advances in Feature Based Manufacturing**. Amsterdam : ELSEVIER, 1994. p.39-63.

- 37 KROLL, E.; LENZ, E.; WOLBERG, J.R. A Knowledge-Based Solution to the Design-for-Assembly Problem. **ASME Manufacturing Review**, v.1, n.2, p.104-108, 1988.
- 38 LIOU, F.W.; SUEN, D.J. The Development of a Feature-Based Fixture Process Planning System for Flexible Assembly. **Journal of Manufacturing Systems**, v.11, n.2, p.102-112, 1992.
- 39 LOPES, Oswaldo. **Tecnologia Mecânica: Elementos Para Fabricação Mecânica em Série**. 1. ed. São Paulo : Edgard Blücher Ltda, 1983.
- 40 MÄNTYLÄ, Martti. Representation of Process Planning Knowledge for Part Families. **Annals of the CIRP**, v.42, n.1, p.561-564, 1993.
- 41 MAYER, Richard J.; SU, Chuan Jun; SUN, Tien-Lung et al. ECTOF: a Feature Representation Technique for Concurrent Engineering Applications. **Journal of Design and Manufacturing**, v.4, n.1, p.49-65, 1994.
- 42 MOURÃO, António José Freire. **A Engenharia Simultânea como Metodologia Organizativa de Suporte à Aplicação do Projecto para Fabrico e Montagem**. p.123-131, ca. 1990.
- 43 NASA. **CLIPS 6.0: C Language Integrated Production System**. 1. ed. Georgia : NASA, 1993.
- 44 NASA. **CLIPS Version 6.0: Advanced Programming Guide**. 1. ed. Georgia : NASA, 1993.
- 45 NASA. **CLIPS Version 6.0: Basic Programming Guide**. 1. ed. Georgia : NASA, 1993.
- 46 NASA. **CLIPS Version 6.0: Interfaces Guide**. 1. ed. Georgia : NASA, 1993.

- 47 NASA. **CLIPS Version 6.0: User's Guide**. 1. ed. Georgia : NASA, 1993.
- 48 OMURA, George. **Dominando o AutoCAD versão 12**. 1. ed. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos, 1993.
- 49 OPAS, Jussi; MÄNTYLÄ, Martti. Feature-Based Part Programming. In: SHAH, Jami J.; MÄNTYLÄ, Martti; NAU, Dana S. **Advances in Feature Based Manufacturing**. Amsterdam : ELSEVIER, 1994. p.239-259.
- 50 PERRY, Greg. **Programação Orientada para Objeto com Turbo C++**. 1. ed. Rio de Janeiro : Berkeley, 1994.
- 51 SAKURAI, Hiroshi; CHIN, Chia-Wei. Definition and Recognition of Volume Features for Process Planning. In: SHAH, Jami J.; MÄNTYLÄ, Martti; NAU, Dana S. **Advances in Feature Based Manufacturing**. Amsterdam : ELSEVIER, 1994. p.65-80.
- 52 SALOMONS, O.W.; VAN HOUTEN, F.J.A.M.; KALS, H.J.J. Review of Research in Feature-Based Design. **Journal of Manufacturing Systems**, v.12, n.2, p.113-132, 1993.
- 53 SALOMONS, O.W. **Computer Support in the Design of Mechanical Products**. Twente, 1995. Tese (Doutorado em Projeto Mecânico-Ferramentas Computacionais de Suporte). University of Twente.
- 54 SANDVIK COROMANT. **Herramientas de Tornear: Productos para el Mecanizado del Metal**. Dinamarca, 1993. Catálogo de Productos.

- 55 SHAH, J.; BHATNAGAR, A.; HSIAO, D. Feature Mapping and Application Shell. **Proceedings for ASME Computers in Engineering Conference**, p.489-496, 1988.
- 56 SHAH, Jami J.; HSIAO, David; ROBINSON, Rory. A Framework form Manufacturability Evaluation in a Feature Based CAD System. **NSG Design & Manufacturability Research Conference**, p.61-66, Jan. 1990.
- 57 SHAH, Jami J.; ROGERS, Mary T.; SREEVALSAN, Palat C. et al. The A.S.U. Features Testbed: an Overview. **ASME Computers in Engineering Conference**, v.1, p.233-241, 1990.
- 58 SHAH, J.J.; MATHEW, A. Experimental Investigation of the STEP Form-Feature Information Model. **CAD**, v.23, n.4, p.282-296, 1991.
- 59 SHAH, Jami J.; MÄNTYLÄ, Martti; NAU, Dana S. Introduction to Feature Based Manufacturing. In: ----- . **Advances in Feature Based Manufacturing**. Amsterdam : ELSEVIER, 1994. p.1-11.
- 60 SHAH, Jami J.; SHEN, Yan; SHIRUR, Arvind. Determination of Machining Volumes From Extensible Sets of Design Features. In: SHAH, Jami J.; MÄNTYLÄ, Martti; NAU, Dana S. **Advances in Feature Based Manufacturing**. Amsterdam : ELSEVIER, 1994. p.129-157.
- 61 SILVA, Alexandre Dias da. **Uma Metodologia para Otimização Automática de Parâmetros de Usinagem**. Florianópolis, 1994. Tese (Doutorado em Fabricação Mecânica-Planejamento de Processos). Universidade Federal de Santa Catarina.
- 62 SMITH, J.; GESNER, R. **Inside AutoLISP: Using AutoLISP to Customize AutoCAD**. 1. ed. California : New Riders Publishing, 1989.

- 63 SOCHA, John; HICKS, Clint; HALL, Devra. **DOS 6 Guia Completo PCW**. 1. ed. Rio de Janeiro : Berkeley, 1993.
- 64 STEMMER, Gaspar Erich. **Ferramentas de Corte I**. 3. ed. Florianópolis : Editora da UFSC, 1993.
- 65 TÖNSHOFF, H.K.; AURICH, J.C.; BAUM, Th. Configurable Feature-Based CAD/CAPP System. **Proceedings of the IFIP International Conference on Feature Modeling and Recognition in Advanced CAD/CAM Systems**. Valenciennes, France, p.757-769, 1994.
- 66 VANDENBRANDE, Jan H.; REQUICHA, Aristides A.G. Geometric Computation for the Recognition of Spatially Interacting Machining Features. In: SHAH, Jami J.; MÄNTYLÄ, Martti; NAU, Dana S. **Advances in Feature Based Manufacturing**. Amsterdam : ELSEVIER, 1994. p.83-106.
- 67 YOU, I.C.; CHU, C.N.; KASHYAP, R.L. Expert System for Castability Evaluation: Using a Fixed-Features Based Design Approach. **Robotics & Computer-Integrated Manufacturing**, v.6, n.3, p.181-189, 1989.
- 68 YUE, Yong; MURRAY, J.L. Validation, Workpiece Selection and Clamping of Complex 2.5D Components. In: SHAH, Jami J.; MÄNTYLÄ, Martti; NAU, Dana S. **Advances in Feature Based Manufacturing**. Amsterdam : ELSEVIER, 1994. p.185-213.
- 69 ZHANG, Hong-Chao. IPPM-A Prototype to Integrate Process Planning and Job Shop Scheduling Functions. **Annals of the CIRP**, v.42, n.1, p.513-518, 1993.
- 70 WANG, H.P.; LI, J.K. **Computer-Aided Process Planning: Advances in Industrial Engineering**. 1. ed. New York : Elsevier, 1991.

- 71 WATERMAN, Donald A. **A Guide to Expert Systems**. 1. ed. Massachusetts : Addison-Wesley, 1986.
- 72 WU, B. Object-Oriented systems analysis and definition of manufacturing operations. **International Journal of Production Research**, v.33, n.4, p.955-974, 1995.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA E RESUMO

REZENDE, Darcio de Freitas. *Planejamento de processos de fabricação assistido por computador através de um sistema especialista baseado na tecnologia de features : Um modelo de desenvolvimento voltado para a realidade industrial*. Florianópolis, 1996. xviii, 189f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Ph. D. João Carlos E. Ferreira.

Defesa: 30/09/96

Este trabalho se propõe a apresentar uma metodologia de desenvolvimento de sistemas [CAPP] que favoreça a adaptação do sistema criado à realidade de cada empresa que o utilize. O modelo proposto utiliza a abordagem de sistema [CAPP generativo], *off-line* e por peça. A [tecnologia de *features*], aliada à análise orientada a objeto, é utilizada como forma de representação das informações do sistema. A geração dos planos de processo é realizada por um [sistema especialista]. Como implementação do modelo proposto tem-se a construção de um *software* destinado a microcomputadores da linha PC, com sistema operacional DOS. Dados fornecidos pela empresa SLC, do setor agrícola, foram utilizados para a modelagem de uma [célula de manufatura] à qual o sistema foi adaptado.

Anexo A-Hierarquia de classes do sistema

Aqui são apresentadas as classes do sistema, juntamente com seus atributos. As instâncias de ferramentas, máquinas e dispositivos de fixação são apresentadas com as respectivas classes. Cada módulo é apresentado em um tópico específico.

A.1-Material

```
(defmodule MATERIAL
  (export ?ALL))

(defclass MATERIAL::MATERIAL
  (is-a USER)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot ProcessoFabricacao
    (type STRING)
    (create-accessor read-write))
  (slot Especificacao
    (type STRING)
    (create-accessor read-write))
  (multislot Operacoes
    (create-accessor read-write)
    (type INSTANCE-NAME)))

(defclass MATERIAL::BARRA
  (is-a MATERIAL)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot Diametro
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot Comprimento
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)))

(defclass MATERIAL::TUBO
  (is-a MATERIAL)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot Diametro
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot Espessura
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot Comprimento
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)))

(definstances MATERIAL::BARRAS
  ([SAE_1020_D9.53] of BARRA
    (ProcessoFabricacao "")
    (Especificacao "SAE 1020 D9.53")
    (Diametro 9.53)
    (Comprimento 6000.0))
  ([SAE_1020_TREF._h11_D14.29] of BARRA
    (ProcessoFabricacao "Trefilacao")
    (Especificacao "SAE 1020 TREF. h11 D14.29")
    (Diametro 14.29)
    (Comprimento 6000.0))
  ([SAE_1020_TREF._h11_D15.87] of BARRA
```


(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "SAE 1020 TREF. h11 D15.87")
(Diámetro 15.87)
(Comprimento 6000.0)
([ABNT_1020_TREF._h11_D15.87] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "ABNT 1020 TREF. h11 D15.87")
(Diámetro 15.87)
(Comprimento 6000.0)
([SAE_1045_TREF._h11_D15.87] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "SAE 1045 TREF. h11 D15.87")
(Diámetro 15.87)
(Comprimento 6000.0)
([ABNT_1045_TREF._h11_D15.87] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "ABNT 1045 TREF. h11 D15.87")
(Diámetro 15.87)
(Comprimento 6000.0)
([ABNT_1020_TREF._h11_D16] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "ABNT 1020 TREF. h11 D16")
(Diámetro 16.0)
(Comprimento 6000.0)
([SAE_1020_TREF._h11_D18] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "SAE 1020 TREF. h11 D18")
(Diámetro 18.0)
(Comprimento 6000.0)
([ABNT_1020_TREF._h11_D18] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "ABNT 1020 TREF. h11 D18")
(Diámetro 18.0)
(Comprimento 6000.0)
([SAE_1020_TREF._h11_D19] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "SAE 1020 TREF. h11 D19")
(Diámetro 19.0)
(Comprimento 6000.0)
([SAE_1020_TREF._h11_D19.05] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "SAE 1020 TREF. h11 D19.05")
(Diámetro 19.05)
(Comprimento 6000.0)
([ABNT_1020_TREF._h11_D19.05] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "ABNT 1020 TREF. h11 D19.05")
(Diámetro 19.05)
(Comprimento 6000.0)
([SAE_1045_TREF._h11_D19.05] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "SAE 1045 TREF. h11 D19.05")
(Diámetro 19.05)
(Comprimento 6000.0)
([SAE_1045_USIN._D19.05] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Usinagem")
(Especificacao "SAE 1045 USIN. D19.05")
(Diámetro 19.05)

(Comprimento 6000.0))
([SAE_1020_TREF._h11_D20] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "SAE 1020 TREF. h11 D20")
(Diametro 20.0)
(Comprimento 6000.0))
([ABNT_1020_TREF._h11_D20] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "ABNT 1020 TREF. h11 D20")
(Diametro 20.0)
(Comprimento 6000.0))
([SAE_1045_TREF._h11_D20] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "SAE 1045 TREF. h11 D20")
(Diametro 20.0)
(Comprimento 6000.0))
([ABNT_1045_TREF._h11_D20] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "ABNT 1045 TREF. h11 D20")
(Diametro 20.0)
(Comprimento 6000.0))
([SAE_1020_TREF._h11_D22] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "SAE 1020 TREF. h11 D22")
(Diametro 22.0)
(Comprimento 6000.0))
([ABNT_1020_TREF._h11_D22] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "ABNT 1020 TREF. h11 D22")
(Diametro 22.0)
(Comprimento 6000.0))
([SAE_1020_TREF._h11_D25] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "SAE 1020 TREF. h11 D25")
(Diametro 25.0)
(Comprimento 6000.0))
([ABNT_1020_TREF._h11_D25] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "ABNT 1020 TREF. h11 D25")
(Diametro 25.0)
(Comprimento 6000.0))
([SAE_1045_TREF._h11_D25] of BARRA
(ProcessoFabricacao "Trefilacao")
(Especificacao "SAE 1045 TREF. h11 D25")
(Diametro 25.0)
(Comprimento 6000.0))
([ABNT_EB-193_CLASSE_III_D18x3.75] of TUBO
(Especificacao "ABNT EB-193 CLASSE III D18x3.75")
(Diametro 18.0)
(Espessura 3.75)
(Comprimento 6000.0))
([DIN_2391_D18x3.75] of TUBO
(Especificacao "DIN 2391 D18x3.75")
(Diametro 18.0)
(Espessura 3.75)
(Comprimento 6000.0))
([ABNT_EB-193_CLASSE_II_A2_TM_D20x3.5] of TUBO
(Especificacao "ABNT EB-193 CLASSE II A2 TM D20x3.5"))

```
(Diametro 20.0)
(Espessura 3.5)
(Comprimento 6000.0))
([DIN_2391_D20x3.5] of TUBO
(Especificacao "DIN 2391 D20x3.5")
(Diametro 20.0)
(Espessura 3.5)
(Comprimento 6000.0)))
```

A.2-Peça

```
(defmodule PECA
  (export ?ALL))

(defclass PECA::PECA
  (is-a USER)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot Codigo
    (type STRING)
    (create-accessor read-write))
  (slot Descricao
    (type STRING)
    (create-accessor read-write))
  (slot TamanhoLote
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot Material
    (type INSTANCE-NAME)
    (create-accessor read-write))
  (slot Situacao
    (type STRING)
    (create-accessor read-write))
  (slot Comprimento
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (multislot Features
    (type INSTANCE-NAME)
    (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::FEATURE
  (is-a USER)
  (slot PontoX
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)
    (visibility public))
  (slot PontoY
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)
    (visibility public))
  (slot Posicao
    (type STRING)
    (create-accessor read-write)
    (visibility public))
  (multislot Operacoes
    (create-accessor read-write))
```

```
(visibility public)
(type INSTANCE-NAME)))

(defclass PECA::QUEBRACANTO
  (is-a FEATURE)
  (slot Angulo
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot Comprimento
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::CHANFRO
  (is-a QUEBRACANTO)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot Diametro
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot Sentido
    (type STRING)
    (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::ESCAREADO
  (is-a QUEBRACANTO)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot Diametro
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot Orientacao
    (type STRING)
    (create-accessor read-write))
  (slot Sentido
    (type STRING)
    (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::EIXO
  (is-a FEATURE)
  (slot Comprimento
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)
    (visibility public)))

(defclass PECA::EIXOCILINDRICO
  (is-a EIXO)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot Diametro
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::EIXOCONICO
  (is-a EIXO)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot DiamEsquerdo
    (type FLOAT))
```

```
(create-accessor read-write))
(slot DiamDireito
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::CANAL
 (is-a FEATURE)
 (slot DiamReferencia
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write))
 (slot LargFundo
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::CANALVEDACAO
 (is-a CANAL)
 (role concrete)
 (pattern-match reactive)
 (slot Profundidade
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write))
 (slot Comprimento
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write))
 (slot AngEncosto
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write))
 (slot RaioAlojamento
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write))
 (slot RaioBorda
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::CANALRETENCAO
 (is-a CANAL)
 (role concrete)
 (pattern-match reactive)
 (slot DiamInterno
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::RASGO
 (is-a CANAL)
 (role concrete)
 (pattern-match reactive)
 (slot DiamInterno
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::FURO
 (is-a FEATURE)
 (slot Orientacao
 (type STRING)
 (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::FUROCILINDRICO
 (is-a FURO)
```

```
(slot Diametro
  (type FLOAT)
  (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::FURCILPASSANTE
  (is-a FUROCILINDRICO)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot ProfFuro
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::FURCILCEGO
  (is-a FUROCILINDRICO)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot ProfFuro
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot Sentido
    (type STRING)
    (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::FUROCONICO
  (is-a FURO)
  (slot DiamMaior
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot DiamMenor
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::FURCONPASSANTE
  (is-a FUROCONICO)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot ProfFuro
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::FURCONCEGO
  (is-a FUROCONICO)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot ProfFuro
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot Sentido
    (type STRING)
    (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::JUNCAO
  (is-a FEATURE)
  (slot Sentido
    (type STRING)
    (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::CONCORDANCIA
```

```
(is-a JUNCAO)
(role concrete)
(pattern-match reactive)
(slot DiamMaior
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write))
(slot RaioConcordancia
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write)))
```

```
(defclass PECA::ABAUADO
 (is-a JUNCAO)
 (role concrete)
 (pattern-match reactive)
 (slot Diametro
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write))
 (slot RaioConcordancia
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write)))
```

```
(defclass PECA::ROSCA
 (is-a FEATURE)
 (slot Diametro
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write))
 (slot Passo
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write))
 (slot ProfFilete
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write))
 (slot SentidoRosca
 (type STRING)
 (create-accessor read-write))
 (slot Perfil
 (type STRING)
 (create-accessor read-write)))
```

```
(defclass PECA::ROSCAINTERNA
 (is-a ROSCA)
 (slot Orientacao
 (type STRING)
 (create-accessor read-write)))
```

```
(defclass PECA::ROSCAPASSANTE
 (is-a ROSCAINTERNA)
 (role concrete)
 (pattern-match reactive)
 (slot ProfFuro
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write)))
```

```
(defclass PECA::ROSCACEGA
 (is-a ROSCAINTERNA)
 (role concrete)
 (pattern-match reactive)
 (slot ProfRoscada
```

```

        (type FLOAT)
        (create-accessor read-write))
(slot ProfFuro
  (type FLOAT)
  (create-accessor read-write))
(slot Sentido
  (type STRING)
  (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::ROSCAEXTERNA
  (is-a ROSCA)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot CompRosgado
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot CompEixo
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot Sentido
    (type STRING)
    (create-accessor read-write)))

(defclass PECA::ELEMENTOFORMA
  (is-a FEATURE)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot DiamEixo
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot Comprimento
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot DiamElemento
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot Tipo
    (type STRING)
    (create-accessor read-write)))

```

A.3-Máquina

```

(defmodule MAQUINA
  (export ?ALL))

(defclass MAQUINA::MAQUINA
  (is-a USER)
  (slot AvancoMax
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot RotacaoMax
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot CargaMaqDisp
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))

```



```
(slot Potencia
  (type FLOAT)
  (create-accessor read-write))
(slot Especificacao
  (type STRING)
  (create-accessor read-write)))

(defclass MAQUINA::TORNO
  (is-a MAQUINA)
  (slot AlturaPontos
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot DistanciaPontos
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)))

(defclass MAQUINA::TORNOCNC
  (is-a TORNO)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot NumFerMagazine
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)))

(defclass MAQUINA::TORNOCONVENCIONAL
  (is-a TORNO)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive))

(defclass MAQUINA::FURADEIRA
  (is-a MAQUINA)
  (slot AlturaUtil
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)))

(defclass MAQUINA::FURADEIRACOLUNA
  (is-a FURADEIRA)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive))

(defclass MAQUINA::FURADEIRABANCADA
  (is-a FURADEIRA)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive))

(defclass MAQUINA::SERRA
  (is-a MAQUINA)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot DiametroMax
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)))

(defclass MAQUINA::PRENSA
  (is-a MAQUINA))

(defclass MAQUINA::PRENSAHIDRAULICA
  (is-a PRENSA))
```

```
(role concrete)
(pattern-match reactive))
```

```
(definstances MAQUINA::MAQUINAS
  ([Torno_TND] of TORNOCNC
   (Especificacao "Torno TND"))
  ([Torno_TNS] of TORNOCNC
   (Especificacao "Torno TNS"))
  ([Torno_XERVITT] of TORNOCONVENCIONAL
   (Especificacao "Torno XERVITT"))
  ([PrensaHidraulica] of PRENSAHIDRAULICA
   (Especificacao "Prensa Hidraulica"))
  ([Serra] of SERRA
   (Especificacao "Serra"))
  ([TornoUniversal] of TORNOCONVENCIONAL
   (Especificacao "Torno Universal"))
  ([FC34] of FURADEIRACOLUNA
   (Especificacao "Furadeira de Coluna FC34"))
  ([FB59] of FURADEIRABANCADA
   (Especificacao "Furadeira de Bancada FB59"))
  ([FB60] of FURADEIRABANCADA
   (Especificacao "Furadeira de Bancada FB60")))
```

A.4-Ferramenta

```
(defmodule FERRAMENTA
  (export ?ALL))
```

```
(defclass FERRAMENTA::FERRAMENTA
  (is-a USER)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot Especificacao
   (type STRING)
   (create-accessor read-write))
  (slot Material
   (type STRING)
   (create-accessor read-write))
  (slot NumOcorrencia
   (type FLOAT)
   (create-accessor read-write)))
```

```
(defclass FERRAMENTA::FER_CORTAR
  (is-a FERRAMENTA)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot MaxProfundidade
   (type FLOAT)
   (create-accessor read-write))
  (slot LargCorte
   (type FLOAT)
   (create-accessor read-write))
  (slot Aplicacao
   (type STRING)
   (create-accessor read-write))
  (slot LadoCorte
```

```
(type STRING)
(create-accessor read-write)))
```

```
(defclass FERRAMENTA::FER_CILINDRAR
  (is-a FERRAMENTA)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot Qualidade
    (type STRING)
    (create-accessor read-write))
  (slot Posicao
    (type STRING)
    (create-accessor read-write))
  (slot LadoCorte
    (type STRING)
    (create-accessor read-write))
  (slot AngPosicao
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot AngQuina
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot CompAresta
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot CompTotal
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)))
```

```
(defclass FERRAMENTA::FER_FURAR
  (is-a FERRAMENTA)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot Diametro
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot CompUtil
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)))
```

```
(defclass FERRAMENTA::FER_ESCAREAR
  (is-a FERRAMENTA)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot AngPonta
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)))
```

```
(defclass FERRAMENTA::FER_SANGRAR
  (is-a FERRAMENTA)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot MaxProfundidade
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot LargCorte
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)))
```

```
(slot LadoCorte
 (type STRING)
 (create-accessor read-write)))
```

```
(defclass FERRAMENTA::FER_FACEAR
 (is-a FERRAMENTA)
 (role concrete)
 (pattern-match reactive)
 (slot Qualidade
 (type STRING)
 (create-accessor read-write))
 (slot Posicao
 (type STRING)
 (create-accessor read-write))
 (slot LadoCorte
 (type STRING)
 (create-accessor read-write))
 (slot AngPosicao
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write))
 (slot AngQuina
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write))
 (slot CompAresta
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write))
 (slot CompTotal
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write)))
```

```
(defclass FERRAMENTA::FER_PERFILAR
 (is-a FERRAMENTA)
 (role concrete)
 (pattern-match reactive)
 (slot MaxProfundidade
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write))
 (slot LargCorte
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write))
 (slot LadoCorte
 (type STRING)
 (create-accessor read-write)))
```

```
(defclass FERRAMENTA::FER_ROSCAR
 (is-a FERRAMENTA)
 (slot Perfil
 (type STRING)
 (create-accessor read-write))
 (slot Passo
 (type STRING)
 (create-accessor read-write)))
```

```
(defclass FERRAMENTA::FER_ROSCAREXT
 (is-a FER_ROSCAR)
 (role concrete)
 (pattern-match reactive)
 (slot LadoCorte
```

```

        (type STRING)
        (create-accessor read-write))
(slot CompAresta
  (type FLOAT)
  (create-accessor read-write))
(slot CompTotal
  (type FLOAT)
  (create-accessor read-write)))

(defclass FERRAMENTA::FER_ROSCARINT
  (is-a FER_ROSCAR)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot Diametro
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot Sentido
    (type STRING)
    (create-accessor read-write))
  (slot CompUtil
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write)))

(definstances FERRAMENTA::FERRAMENTAS
  ([CNMG-12-04-08-QM-GC415-PCLNL-2020K12-FACEAR] of FER_FACEAR
    (Especificacao "CNMG-12-04-08-QM-GC415-PCLNL-2020K12")
    (Material "GC415")
    (Posicao "Externo")
    (Qualidade "Desbaste")
    (LadoCorte "Esquerdo")
    (AngPosicao 95.0)
    (CompAresta 12.0)
    (CompTotal 125.0)
    (AngQuina 80.0))
  ([CNMG-12-04-08-MF-GC415-PCLNL-2020K12-FACEAR] of FER_FACEAR
    (Especificacao "CNMG-12-04-08-MF-GC415-PCLNL-2020K12")
    (Material "GC415")
    (Posicao "Externo")
    (Qualidade "Acabamento")
    (LadoCorte "Esquerdo")
    (AngPosicao 95.0)
    (CompAresta 12.0)
    (CompTotal 125.0)
    (AngQuina 80.0))
  ([CNMG-12-04-08-QM-GC415-PCLNL-2020K12-CILINDRAR] of FER_CILINDRAR
    (Especificacao "CNMG-12-04-08-QM-GC415-PCLNL-2020K12")
    (Material "GC415")
    (Posicao "Externo")
    (Qualidade "Desbaste")
    (LadoCorte "Esquerdo")
    (AngPosicao 95.0)
    (CompAresta 12.0)
    (CompTotal 125.0)
    (AngQuina 80.0))
  ([CNMG-12-04-08-MF-GC415-PCLNL-2020K12-CILINDRAR] of FER_CILINDRAR
    (Especificacao "CNMG-12-04-08-MF-GC415-PCLNL-2020K12")
    (Material "GC415")
    (Posicao "Externo")

```

(Qualidade "Acabamento")
(LadoCorte "Esquerdo")
(AngPosicao 95.0)
(CompAresta 12.0)
(CompTotal 125.0)
(AngQuina 80.0)
([L151.2-250-08-5F-GC235-LF151.23-2020-25-CORTAR-BARRA] of FER_CORTAR
(Especificacao "L151.2-250-08-5F-GC235-LF151.23-2020-25")
(Material "GC235")
(MaxProfundidade 20.0)
(LargCorte 2.5)
(Aplicacao "Barra")
(LadoCorte "Esquerdo"))
([L151.2-250-08-5F-GC235-LF151.23-2020-25-CORTAR-TUBO] of FER_CORTAR
(Especificacao "L151.2-250-08-5F-GC235-LF151.23-2020-25")
(Material "GC235")
(MaxProfundidade 20.0)
(LargCorte 2.5)
(Aplicacao "Tubo")
(LadoCorte "Esquerdo"))
([N151.2-200-20-5G-GC235-LF151.22-2020-20-SANGRAR] of FER_SANGRAR
(Especificacao "N151.2-200-20-5G-GC235-LF151.22-2020-20")
(Material "GC235")
(MaxProfundidade 8.20)
(LargCorte 2.0)
(LadoCorte "Esquerdo"))
([N151.2-300-30-5G-GC235-LF151.22-2020-30-SANGRAR] of FER_SANGRAR
(Especificacao "N151.2-300-30-5G-GC235-LF151.22-2020-30")
(Material "GC235")
(MaxProfundidade 10.1)
(LargCorte 3.0)
(LadoCorte "Esquerdo"))
([N151.2-300-30-5P-GC425-LF151.22-2020-30-PERFILAR] of FER_PERFILAR
(Especificacao "N151.2-300-30-5P-GC425-LF151.22-2020-30")
(Material "GC425")
(MaxProfundidade 10.1)
(LargCorte 3.0)
(LadoCorte "Esquerdo"))
([Escarear_60] of FER_ESCAREAR
(Especificacao "Escarear_60")
(AngPonta 60.0))
([Escarear_75] of FER_ESCAREAR
(Especificacao "Escarear_75")
(AngPonta 75.0))
([Escarear_90] of FER_ESCAREAR
(Especificacao "Escarear_90")
(AngPonta 90.0))
([Escarear_120] of FER_ESCAREAR
(Especificacao "Escarear_120")
(AngPonta 120.0))
([R166.0G-16MMO1-100-GC1020-R166.0FGZ-2525-16-ROSCAREXT] of FER_ROSCAREXT
(Especificacao "R166.0G-16MMO1-100-GC1020-R166.0FGZ-2525-16")
(Material "GC1020")
(LadoCorte "Direito")
(Perfil "Metrico_60")
(Passo 1.0)
(CompAresta 16.0)
(CompTotal 150.0))

([R166.0G-16MMO1-125-GC1020-R166.0FGZ-2525-16-ROSCAREXT] of FER_ROSCAREXT
(Especificacao "R166.0G-16MMO1-125-GC1020-R166.0FGZ-2525-16")
(Material "GC1020")
(LadoCorte "Direito")
(Perfil "Metrico_60")
(Passo 1.25)
(CompAresta 16.0)
(CompTotal 150.0))

([R166.0G-16MMO1-150-GC1020-R166.0FGZ-2525-16-ROSCAREXT] of FER_ROSCAREXT
(Especificacao "R166.0G-16MMO1-150-GC1020-R166.0FGZ-2525-16")
(Material "GC1020")
(LadoCorte "Direito")
(Perfil "Metrico_60")
(Passo 1.5)
(CompAresta 16.0)
(CompTotal 150.0))

([R166.0G-16PTO1-190-GC1020-R166.0FGZ-2525-16-ROSCAREXT] of FER_ROSCAREXT
(Especificacao "R166.0G-16PTO1-190-GC1020-R166.0FGZ-2525-16")
(Material "GC1020")
(LadoCorte "Direito")
(Perfil "BSPT_55")
(Passo 19.0)
(CompAresta 16.0)
(CompTotal 150.0))

([MACHO_10-ROSCARINT] of FER_ROSCARINT
(Especificacao "MACHO_10")
(Perfil "Metrico_60")
(Passo 1.5)
(Diametro 10.0)
(Sentido "A_Direita")
(CompUtil 100.0))

([R410.5-0300-30-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0300-30-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 3.0)
(CompUtil 11.0))

([R410.5-0350-30-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0350-30-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 3.5)
(CompUtil 14.0))

([R410.5-0400-30-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0400-30-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 4.0)
(CompUtil 15.0))

([R410.5-0450-30-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0450-30-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 4.5)
(CompUtil 17.0))

([R410.5-0500-30-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0500-30-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 5.0)
(CompUtil 18.0))

([R410.5-0600-30-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0600-30-01-TiN"))

(Material "TiN")
(Diametro 6.0)
(CompUtil 19.0))
([R410.5-0700-30-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0700-30-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 7.0)
(CompUtil 22.0))
([R410.5-0800-30-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0800-30-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 8.0)
(CompUtil 23.0))
([R410.5-0900-30-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0900-30-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 9.0)
(CompUtil 25.0))
([R410.5-1000-30-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-1000-30-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 10.0)
(CompUtil 26.0))
([R410.5-0300-60-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0300-60-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 3.0)
(CompUtil 28.0))
([R410.5-0350-60-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0350-60-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 3.5)
(CompUtil 33.0))
([R410.5-0400-60-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0400-60-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 4.0)
(CompUtil 36.0))
([R410.5-0450-60-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0450-60-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 4.5)
(CompUtil 39.0))
([R410.5-0500-60-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0500-60-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 5.0)
(CompUtil 43.0))
([R410.5-0600-60-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0600-60-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 6.0)
(CompUtil 47.0))
([R410.5-0700-60-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0700-60-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 7.0)
(CompUtil 56.0))

([R410.5-0800-60-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0800-60-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 8.0)
(CompUtil 60.0))

([R410.5-0900-60-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-0900-60-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 9.0)
(CompUtil 65.0))

([R410.5-1000-60-01-TiN-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R410.5-1000-60-01-TiN")
(Material "TiN")
(Diametro 10.0)
(CompUtil 69.0))

([R411.5-10032-D10.00-P20-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R411.5-10032-D10.00-P20")
(Material "P20-TiN")
(Diametro 10.0)
(CompUtil 35.0))

([R411.5-11032-D11.00-P20-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R411.5-11032-D11.00-P20")
(Material "P20-TiN")
(Diametro 11.0)
(CompUtil 39.0))

([R411.5-13032-D13.00-P20-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R411.5-13032-D13.00-P20")
(Material "P20-TiN")
(Diametro 13.0)
(CompUtil 46.0))

([R411.5-15032-D15.00-P20-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R411.5-15032-D15.00-P20")
(Material "P20-TiN")
(Diametro 15.0)
(CompUtil 53.0))

([R411.5-16032-D16.00-P20-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R411.5-16032-D16.00-P20")
(Material "P20-TiN")
(Diametro 16.0)
(CompUtil 56.0))

([R411.5-10052-D10.00-P20-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R411.5-10052-D10.00-P20")
(Material "P20-TiN")
(Diametro 10.0)
(CompUtil 50.0))

([R411.5-11052-D11.00-P20-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R411.5-11052-D11.00-P20")
(Material "P20-TiN")
(Diametro 11.0)
(CompUtil 55.0))

([R411.5-13052-D13.00-P20-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R411.5-13052-D13.00-P20")
(Material "P20-TiN")
(Diametro 13.0)
(CompUtil 65.0))

([R411.5-15052-D15.00-P20-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R411.5-15052-D15.00-P20")
(Material "P20-TiN"))

```
(Diametro 15.0)
(CompUtil 75.0))
([R411.5-16052-D16.00-P20-FURAR] of FER_FURAR
(Especificacao "R411.5-16052-D16.00-P20")
(Material "P20-TiN")
(Diametro 16.0)
(CompUtil 80.0)))
```

A.5-Dispositivo de Fixação

```
(defmodule DISPFIXACAO
(export ?ALL))
```

```
(defclass DISPFIXACAO::DISPFIXACAO
(is-a USER)
(role concrete)
(pattern-match reactive)
(slot Especificacao
(type STRING)
(create-accessor read-write)))
```

```
(defclass DISPFIXACAO::DISPFURACAO
(is-a DISPFIXACAO)
(role concrete)
(pattern-match reactive)
(slot DiamFuro
(type FLOAT)
(create-accessor read-write))
(slot DistFuro
(type FLOAT)
(create-accessor read-write)))
```

```
(defclass DISPFIXACAO::DISPTORNEAMENTO
(is-a DISPFIXACAO)
(slot DiamMin
(type FLOAT)
(create-accessor read-write))
(slot DiamMax
(type FLOAT)
(create-accessor read-write))
(slot ForcaSujeicao
(type FLOAT)
(create-accessor read-write)))
```

```
(defclass DISPFIXACAO::PINCA
(is-a DISPTORNEAMENTO)
(role concrete)
(pattern-match reactive))
```

```
(defclass DISPFIXACAO::PLACA3CASTANHAS
(is-a DISPTORNEAMENTO)
(role concrete)
(pattern-match reactive))
```

```
(definstances DISPFIXACAO::Dispositivos
([Pinca_9.0] of PINCA
```

(Especificacao "Pinca_9.0")
(DiamMin 9.0)
(DiamMax 9.5))
([Pinca_9.5] of PINCA
(Especificacao "Pinca_9.5")
(DiamMin 9.5)
(DiamMax 10.0))
([Pinca_10.0] of PINCA
(Especificacao "Pinca_10.0")
(DiamMin 10.0)
(DiamMax 10.5))
([Pinca_10.5] of PINCA
(Especificacao "Pinca_10.5")
(DiamMin 10.5)
(DiamMax 11.0))
([Pinca_11.0] of PINCA
(Especificacao "Pinca_11.0")
(DiamMin 11.0)
(DiamMax 11.5))
([Pinca_11.5] of PINCA
(Especificacao "Pinca_11.5")
(DiamMin 11.5)
(DiamMax 12.0))
([Pinca_12.0] of PINCA
(Especificacao "Pinca_12.0")
(DiamMin 12.0)
(DiamMax 12.5))
([Pinca_12.5] of PINCA
(Especificacao "Pinca_12.5")
(DiamMin 12.5)
(DiamMax 13.0))
([Pinca_13.0] of PINCA
(Especificacao "Pinca_13.0")
(DiamMin 13.0)
(DiamMax 13.5))
([Pinca_13.5] of PINCA
(Especificacao "Pinca_13.5")
(DiamMin 13.5)
(DiamMax 14.0))
([Pinca_14.0] of PINCA
(Especificacao "Pinca_14.0")
(DiamMin 14.0)
(DiamMax 14.5))
([Pinca_14.5] of PINCA
(Especificacao "Pinca_14.5")
(DiamMin 14.5)
(DiamMax 15.0))
([Pinca_15.0] of PINCA
(Especificacao "Pinca_15.0")
(DiamMin 15.0)
(DiamMax 15.5))
([Pinca_15.5] of PINCA
(Especificacao "Pinca_15.5")
(DiamMin 15.5)
(DiamMax 16.0))
([Pinca_16.0] of PINCA
(Especificacao "Pinca_16.0")
(DiamMin 16.0))

(DiamMax 16.5))
([Pinca_16.5] of PINCA
(Especificacao "Pinca_16.5")
(DiamMin 16.5)
(DiamMax 17.0))
([Pinca_17.0] of PINCA
(Especificacao "Pinca_17.0")
(DiamMin 17.0)
(DiamMax 17.5))
([Pinca_17.5] of PINCA
(Especificacao "Pinca_17.5")
(DiamMin 17.5)
(DiamMax 18.0))
([Pinca_18.0] of PINCA
(Especificacao "Pinca_18.0")
(DiamMin 18.0)
(DiamMax 18.5))
([Pinca_18.5] of PINCA
(Especificacao "Pinca_18.5")
(DiamMin 18.5)
(DiamMax 19.0))
([Pinca_19.0] of PINCA
(Especificacao "Pinca_19.0")
(DiamMin 19.0)
(DiamMax 19.5))
([Pinca_19.5] of PINCA
(Especificacao "Pinca_19.5")
(DiamMin 19.5)
(DiamMax 20.0))
([Pinca_20.0] of PINCA
(Especificacao "Pinca_20.0")
(DiamMin 20.0)
(DiamMax 20.5))
([Pinca_20.5] of PINCA
(Especificacao "Pinca_20.5")
(DiamMin 20.5)
(DiamMax 21.0))
([Pinca_21.0] of PINCA
(Especificacao "Pinca_21.0")
(DiamMin 21.0)
(DiamMax 21.5))
([Pinca_21.5] of PINCA
(Especificacao "Pinca_21.5")
(DiamMin 21.5)
(DiamMax 22.0))
([Pinca_22.0] of PINCA
(Especificacao "Pinca_22.0")
(DiamMin 22.0)
(DiamMax 22.5))
([DC-S-04842] of DISPFURACAO
(Especificacao "DC-S-04842"))
([PRISMA] of DISPFURACAO
(Especificacao "PRISMA"))
([DC-S-04407] of DISPFURACAO
(Especificacao "DC-S-04407"))
([DC-Z-38442] of DISPFURACAO
(Especificacao "DC-Z-38442"))
([DISP_ESPECIFICO_DA_PECA] of DISPFURACAO

(Especificacao "DISP_ESPECIFICO_DA_PECA"))

A.6-Operação

```
(defmodule OPERACAO
  (export ?ALL))

(defclass OPERACAO::OPERACAO
  (is-a USER)
  (slot Nome
    (type STRING)
    (create-accessor read-write))
  (slot Indice
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (multislot Ferramentas
    (create-accessor read-write)
    (type INSTANCE-NAME))
  (multislot DispFixacao
    (create-accessor read-write)
    (type INSTANCE-NAME))
  (multislot Maquinas
    (create-accessor read-write)
    (type INSTANCE-NAME)))

(defclass OPERACAO::OPERACAODETALHADA
  (is-a OPERACAO)
  (role concrete)
  (pattern-match reactive)
  (slot Feature
    (type INSTANCE-NAME)
    (create-accessor read-write))
  (slot Qualidade
    (type STRING)
    (create-accessor read-write))
  (slot Posicao
    (type STRING)
    (create-accessor read-write))
  (slot Direcao
    (type STRING)
    (create-accessor read-write))
  (slot LadoCorte
    (type STRING)
    (create-accessor read-write))
  (slot TipoMaquina
    (type STRING)
    (create-accessor read-write))
  (slot Diametro
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot Comprimento
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
  (slot Largura
    (type FLOAT)
    (create-accessor read-write))
```

```
(slot Profundidade
 (type FLOAT)
 (create-accessor read-write)))
```

```
(defclass OPERACAO::OPERACAOGERAL
 (is-a OPERACAO)
 (role concrete)
 (slot Observacao
 (type STRING)
 (create-accessor read-write)))
```

Anexo B-Regras e funções utilizadas no sistema

Aqui são apresentadas as regras e funções do sistema. Cada módulo é apresentado em um tópico específico.

B.1-Inverte

```
(defmodule INVERTE
 (import PECA defclass ?ALL))
```

```
(deffunction INVERTE::InvContorno ()
 (do-for-all-instances ((?feat FEATURE)) (eq ?feat:Posicao "Externo")
 (bind ?*Instancia* (insert$ ?*Instancia* 1 ?feat)))
 (bind ?*Ordenada* ?*Instancia*)
 (loop-for-count (?ci 1 (- (length ?*Ordenada*) 1)) do
 (bind ?cj (length ?*Ordenada*))
 (while (> ?cj ?ci) do
 (if (> (send (nth$ ?cj ?*Ordenada*) get-PontoX) (send (nth$ (- ?cj 1) ?*Ordenada*) get-PontoX))
 then
 (bind ?temp (nth$ ?cj ?*Ordenada*))
 (bind ?*Ordenada* (replace$ ?*Ordenada* ?cj ?cj (nth$ (- ?cj 1) ?*Ordenada*)))
 (bind ?*Ordenada* (replace$ ?*Ordenada* (- ?cj 1) (- ?cj 1) ?temp)))
 (bind ?cj (- ?cj 1))))))
 (loop-for-count (?cont 1 (- (length ?*Ordenada*) 1)) do
 (bind ?Feat1 (nth$ ?cont ?*Ordenada*))
 (bind ?Feat2 (nth$ (+ ?cont 1) ?*Ordenada*))
 (if (eq (class ?Feat2) EIXOCONICO)
 then
 (bind ?Diam1 (DetDiam ?Feat1))
 (bind ?Diam2 (send ?Feat2 get-DiamDireito))
 else
 (if (eq (class ?Feat1) EIXOCONICO)
 then
 (if (> (send ?Feat1 get-DiamDireito) (send ?Feat1 get-DiamEsquerdo))
 then (bind ?*Decrescente* (+ ?*Decrescente* 1)))
 (if (< (send ?Feat1 get-DiamDireito) (send ?Feat1 get-DiamEsquerdo))
 then (bind ?*Crescente* (+ ?*Crescente* 1)))
 (bind ?Diam1 (send ?Feat1 get-DiamEsquerdo))
 (bind ?Diam2 (DetDiam ?Feat2))
 else
 (bind ?Diam1 (DetDiam ?Feat1))
 (bind ?Diam2 (DetDiam ?Feat2))))))
```

```

    (if (> ?Diam1 ?Diam2)
      then
        (bind ?*Decrescente* (+ ?*Decrescente* 1)))
    (if (< ?Diam1 ?Diam2)
      then
        (bind ?*Crescente* (+ ?*Crescente* 1)))
    (if (> ?*Crescente* ?*Decrescente*)
      then
        (send [Val_Inv] put-Inverte -1.0))
    (if (< ?*Crescente* ?*Decrescente*)
      then
        (send [Val_Inv] put-Inverte 1.0)))

(deffunction INVERTE::InvFuro()
  (bind ?Ptox (send [PECA::PECA] get-Comprimento))
  (bind ?FuroDireita 0)
  (bind ?FuroEsquerda 0)
  (do-for-all-instances ((?Furo FURCILCEGO ROSACEGA)
    (and (= ?Furo:PontoX ?Ptox)
      (<= (/ ?Furo:ProfFuro ?Furo:Diametro) 6))
    (bind ?FuroDireita (+ ?FuroDireita 1)))
  (bind ?Ptox 0.0)
  (do-for-all-instances ((?Furo FURCILCEGO ROSACEGA)
    (and (= ?Furo:PontoX ?Ptox)
      (<= (/ ?Furo:ProfFuro ?Furo:Diametro) 6))
    (bind ?FuroEsquerda (+ ?FuroEsquerda 1)))
  (if (< ?FuroDireita ?FuroEsquerda)
    then
      (send [Val_Inv] put-Inverte 2.0))
  (if (> ?FuroDireita ?FuroEsquerda)
    then
      (send [Val_Inv] put-Inverte -2.0)))

(deffunction INVERTE::FazInversao()
  (do-for-all-instances ((?Feat CHANFRO) (?Peca PECA)) TRUE
    (progn
      (send ?Feat put-PontoX (- ?Peca:Comprimento (+ ?Feat:PontoX ?Feat:Comprimento)))
      (if (eq "Esquerdo" ?Feat:Sentido)
        then
          (send ?Feat put-Sentido "Direito")
        else
          (send ?Feat put-Sentido "Esquerdo"))))
  (do-for-all-instances ((?Feat EIXOCILINDRICO CANALVEDACAO
    ELEMENTOFORMA)(?Peca PECA)) TRUE
    (send ?Feat put-PontoX (- ?Peca:Comprimento (+ ?Feat:PontoX ?Feat:Comprimento))))
  (do-for-all-instances ((?Feat CANALRETENCAO RASGO) (?Peca PECA)) TRUE
    (send ?Feat put-PontoX (- ?Peca:Comprimento (+ ?Feat:PontoX ?Feat:DiamReferencia))))
  (do-for-all-instances ((?Feat EIXOCONICO) (?Peca PECA)) TRUE
    (progn
      (send ?Feat put-PontoX (- ?Peca:Comprimento (+ ?Feat:PontoX ?Feat:Comprimento)))
      (bind ?temp ?Feat:DiamDireito)
      (send ?Feat put-DiamDireito ?Feat:DiamEsquerdo)
      (send ?Feat put-DiamEsquerdo ?temp)))
  (do-for-all-instances ((?Feat CONCORDANCIA ABAULADO) (?Peca PECA)) TRUE
    (progn
      (send ?Feat put-PontoX (- ?Peca:Comprimento (+ ?Feat:PontoX ?Feat:RaioConcordancia)))
      (if (eq "Esquerdo" ?Feat:Sentido)
        then

```

```

        (send ?Feat put-Sentido "Direito")
      else
        (send ?Feat put-Sentido "Esquerdo"))))
  (do-for-all-instances ((?Feat ROSCAEXTERNA) (?Peca PECA)) TRUE
  (progn
    (send ?Feat put-PontoX (- ?Peca:Comprimento (+ ?Feat:PontoX ?Feat:CompEixo)))
    (if (eq "Esquerdo" ?Feat:Sentido)
      then
        (send ?Feat put-Sentido "Direito")
      else
        (send ?Feat put-Sentido "Esquerdo"))))
  (do-for-all-instances ((?Feat FURCILPASSANTE FURCONPASSANTE
    ROSCAPASSANTE RASGOCHAVETA) (?Peca PECA)) TRUE
    (send ?Feat put-PontoX (- ?Peca:Comprimento ?Feat:PontoX)))
  (do-for-all-instances ((?Feat ESCAREADO FURCILCEGO
    FURCONCEGO ROSCACEGA) (?Peca PECA)) TRUE
    (progn
      (send ?Feat put-PontoX (- ?Peca:Comprimento ?Feat:PontoX))
      (if (eq "Esquerdo" ?Feat:Sentido)
        then
          (send ?Feat put-Sentido "Direito")
        else
          (send ?Feat put-Sentido "Esquerdo"))))

(defrule INVERTE::SugereInversaoContorno
  (declare (salience 50))
  (object (is-a INV_UTIL) (Inverte 0.0))
=>
  (InvContorno))

(defrule INVERTE::SugereInversaoFuro
  (declare (salience 40))
  (object (is-a INV_UTIL) (Inverte 0.0))
=>
  (InvFuro))

```

B.2-Atribui Operação

```

(defmodule ATRIBUIOPERACAO
  (import OPERACAO defclass ?ALL)
  (import PECA defclass ?ALL)
  (import MATERIAL defclass ?ALL)
  (export ?ALL))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::OperGeral1
  (object (is-a PECA) (Material ?Mater))
  ?Mat <- (object (is-a MATERIAL) (name ?Mater))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Mat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAOGERAL
    (Maquinas [MAQUINA::Serra])
    (Nome "Serrar")
    (Observacao "Cortar a barra em 3 partes")))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::OperGeral2

```



```

(object (is-a PECA) (Material ?Mater))
?Mat <- (object (is-a BARRA) (name ?Mater))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Mat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAOGERAL
  (Maquinas [MAQUINA::PrensaHidraulica])
  (Nome "Endireitar")
  (Observacao "Tolerancia para endireitar = 0,1mm"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::OperGeral3
  (object (is-a PECA) (Material ?Mater))
  ?Mat <- (object (is-a MATERIAL) (name ?Mater))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Mat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAOGERAL
  (Maquinas [MAQUINA::TornoUniversal])
  (Nome "Chanfrar")
  (Observacao "Usinar ang 30o-Porta Fer PTTNL2525M22")
  (Ferramentas (symbol-to-instance-name TNMG22-04-08))))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::Faceam_Desb
  (object (is-a UTIL) (name ?FeatUtil))
  ?Feat <- (object (name =(instance-name (nth$ 1 (send ?FeatUtil get-FeatExterna))))))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Facear")
  (Qualidade "Desbaste")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Externo")
  (Direcao "Transversal")
  (LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::Faceam_Acab
  (object (is-a UTIL) (name ?FeatUtil))
  ?Feat <- (object (name =(instance-name (nth$ 1 (send ?FeatUtil get-FeatExterna))))))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Facear")
  (Qualidade "Acabamento")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Externo")
  (Direcao "Transversal")
  (LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::Corte
  (object (is-a PECA))
  (object (is-a UTIL) (name ?FeatUtil))
  ?Feat <- (object (name =(instance-name (nth$
    (length (send ?FeatUtil get-FeatExterna)) (send ?FeatUtil get-FeatExterna))))))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))

```

```

(make-instance ?op of OPERACAO DETALHADA
  (Nome "Cortar")
  (Qualidade "Acabamento")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Externo")
  (Direcao "Transversal")
  (LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::Chanfr1
  (object (is-a UTIL) (name ?FeatUtil))
  ?Feat <- (object (is-a CHANFRO) (name ?Feat1) (Posicao "Externo"))
  (test (neq ?Feat1 (instance-name (nth$
    (length (send ?FeatUtil get-FeatExterna)) (send ?FeatUtil get-FeatExterna))))))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAO DETALHADA
    (Nome "Cilindrar")
    (Qualidade "Desbaste")
    (Posicao "Externo")
    (Feature ?Feat)
    (Direcao "Longitudinal")
    (LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::Chanfr2
  (object (is-a PECA))
  (object (is-a UTIL) (name ?FeatUtil))
  ?Feat <- (object (is-a CHANFRO) (name ?Feat1))
  (test (neq ?Feat1 (instance-name (nth$
    (length (send ?FeatUtil get-FeatExterna)) (send ?FeatUtil get-FeatExterna))))))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAO DETALHADA
    (Nome "Cilindrar")
    (Qualidade "Acabamento")
    (Feature ?Feat)
    (Posicao "Externo")
    (Direcao "Longitudinal")
    (LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::Chanfr3
  (object (is-a PECA))
  (object (is-a UTIL) (name ?FeatUtil))
  ?Feat <- (object (name =(instance-name (nth$
    (length (send ?FeatUtil get-FeatExterna)) (send ?FeatUtil get-FeatExterna))))(is-a CHANFRO))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAO DETALHADA
    (Nome "Chanfrar_Esquerda")
    (Qualidade "Acabamento")
    (Feature ?Feat)
    (Posicao "Externo")
    (Direcao "Transversal")
    (LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::EixCil1

```

```

(object (is-a PECA) (Material ?Mater))
(object (name ?Mater) (Diametro ?DiamMa))
?Feat <- (object (is-a EIXOCILINDRICO) (Diametro ?DiamEn&:(< ?DiamEn ?DiamMa)))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Cilindrar")
  (Qualidade "Desbaste")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Externo")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::EixCil2
  (object (is-a PECA) (Material ?Mater))
  (object (name ?Mater) (Diametro ?DiamMa))
  ?Feat <- (object (is-a EIXOCILINDRICO) (Diametro ?DiamEn&:(< ?DiamEn ?DiamMa)))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Cilindrar")
  (Qualidade "Acabamento")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Externo")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::EixCon1
  ?Feat <- (object (is-a EIXOCONICO))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Cilindrar")
  (Qualidade "Desbaste")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Externo")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::EixCon2
  ?Feat <- (object (is-a EIXOCONICO))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Cilindrar")
  (Qualidade "Acabamento")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Externo")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::RosExt1
  (object (is-a PECA) (Material ?Mater))
  (object (name ?Mater) (Diametro ?DiamMa))

```

```

?Feat <- (object (is-a ROSCAEXTERNA) (Diametro ?DiamFe&:(< ?DiamFe ?DiamMa)))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Cilindrar")
  (Qualidade "Desbaste")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Externo")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::RosExt3
  ?Feat <- (object (is-a ROSCAEXTERNA))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Roscar_Externo")
  (Qualidade "Acabamento")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Externo")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Direito"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::Concor1
  ?Feat <- (object (is-a CONCORDANCIA))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Cilindrar")
  (Qualidade "Desbaste")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Externo")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::Concor2
  ?Feat <- (object (is-a CONCORDANCIA))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Cilindrar")
  (Qualidade "Acabamento")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Externo")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::EleFor1
  ?Feat <- (object (is-a ELEMENTOFORMA) (Tipo "Convexo"))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Cilindrar")

```

```

(Qualidade "Desbaste")
(Feature ?Feat)
(Posicao "Externo")
(Direcao "Longitudinal")
(LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::EleFor2
  (object (is-a PECA) (Material ?Mater))
  (object (name ?Mater) (Diametro ?DiamMa))
  ?Feat <- (object (is-a ELEMENTOFORMA) (Tipo "Concavo") (DiamEixo ?DiamFe&:(< ?DiamFe ?DiamMa)))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
    (Nome "Cilindrar")
    (Qualidade "Desbaste")
    (Feature ?Feat)
    (Posicao "Externo")
    (Direcao "Longitudinal")
    (LadoCorte "Esquerdo")))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::EleFor3
  ?Feat <- (object (is-a ELEMENTOFORMA) (Tipo "Convexo"))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
    (Nome "Perfilar_Convexo")
    (Qualidade "Acabamento")
    (Feature ?Feat)
    (Posicao "Externo")
    (Direcao "Perfil")
    (LadoCorte "Esquerdo")))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::EleFor4
  ?Feat <- (object (is-a ELEMENTOFORMA) (Tipo "Concavo") (Comprimento ?Compr)
    (DiamEixo ?DEixo) (DiamElemento ?DElem))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
    (Nome "Perfilar_Concavo")
    (Qualidade "Acabamento")
    (Feature ?Feat)
    (Posicao "Externo")
    (Direcao "Perfil")
    (LadoCorte "Esquerdo")
    (Largura ?Compr)
    (Profundidade (/ (- ?DEixo ?DElem) 2)))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::EleFor5
  (object (is-a PECA) (Material ?Mater))
  (object (name ?Mater) (Diametro ?DiamMa))
  ?Feat <- (object (is-a ELEMENTOFORMA) (Tipo "Concavo")(DiamEixo ?DiamFe&:(< ?DiamFe ?DiamMa)))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAODETALHADA

```

```

(Nome "Cilindrar")
(Qualidade "Acabamento")
(Feature ?Feat)
(Posicao "Externo")
(Direcao "Longitudinal")
(LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::EleFor6
  ?Feat <- (object (is-a ELEMENTOFORMA) (Tipo "Convexo"))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
    (Nome "Cilindrar")
    (Qualidade "Acabamento")
    (Feature ?Feat)
    (Posicao "Externo")
    (Direcao "Longitudinal")
    (LadoCorte "Esquerdo")))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::Rasgo1
  (object (is-a PECA) (Material ?Mater))
  (object (name ?Mater) (Diametro ?DiamMa))
  ?Feat <- (object (is-a RASGO) (Posicao "Externo")(DiamReferencia ?DiamFe&:(< ?DiamFe ?DiamMa)))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
    (Nome "Cilindrar")
    (Qualidade "Desbaste")
    (Feature ?Feat)
    (Posicao "Externo")
    (Direcao "Longitudinal")
    (LadoCorte "Esquerdo")))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::Rasgo2
  ?Feat <- (object (is-a RASGO) (Posicao "Externo") (LargFundo ?LFundo)
    (DiamReferencia ?DRefer) (DiamInterno ?DInter))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
    (Nome "Sangrar")
    (Qualidade "Acabamento")
    (Feature ?Feat)
    (Posicao "Externo")
    (Direcao "Transversal")
    (LadoCorte "Esquerdo")
    (Largura ?LFundo)
    (Profundidade (/ (- ?DRefer ?DInter) 2)))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::Rasgo3
  (object (is-a PECA) (Material ?Mater))
  (object (name ?Mater) (Diametro ?DiamMa))
  ?Feat <- (object (is-a RASGO) (Posicao "Externo")(DiamReferencia ?DiamFe&:(< ?DiamFe ?DiamMa)))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))

```

```

(make-instance ?op of OPERACAO DETALHADA
  (Nome "Cilindrar")
  (Qualidade "Acabamento")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Externo")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::Abaula1
  ?Feat <- (object (is-a ABAULADO))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAO DETALHADA
    (Nome "Cilindrar")
    (Qualidade "Desbaste")
    (Feature ?Feat)
    (Posicao "Externo")
    (Direcao "Longitudinal")
    (LadoCorte "Esquerdo")))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::Abaula2
  ?Feat <- (object (is-a ABAULADO))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAO DETALHADA
    (Nome "Cilindrar")
    (Qualidade "Acabamento")
    (Feature ?Feat)
    (Posicao "Externo")
    (Direcao "Longitudinal")
    (LadoCorte "Esquerdo")))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::CReten1
  (object (is-a PECA) (Material ?Mater))
  (object (name ?Mater) (Diametro ?DiamMa))
  ?Feat <- (object (is-a CANALRETENCAO) (Posicao "Externo")
    (DiamReferencia ?DiamFe&:(< ?DiamFe ?DiamMa)))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAO DETALHADA
    (Nome "Cilindrar")
    (Qualidade "Desbaste")
    (Feature ?Feat)
    (Posicao "Externo")
    (Direcao "Longitudinal")
    (LadoCorte "Esquerdo")))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::CReten2
  ?Feat <- (object (is-a CANALRETENCAO) (Posicao "Externo")
    (DiamReferencia ?DRefer) (DiamInterno ?DInter) (LargFundo ?LFundo))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAO DETALHADA
    (Nome "Sangrar"))

```

```
(Qualidade "Acabamento")
(Feature ?Feat)
(Posicao "Externo")
(Direcao "Transversal")
(LadoCorte "Central")
(Largura ?LFundo)
(Profundidade (/ (- ?DRefer ?DInter) 2))))
```

```
(defrule ATRIBUIOPERACAO::CReten3
  (object (is-a PECA) (Material ?Mater))
  (object (name ?Mater) (Diametro ?DiamMa))
  ?Feat <- (object (is-a CANALRETENCAO) (Posicao "Externo")
                (DiamReferencia ?DiamFe&:(< ?DiamFe ?DiamMa)))
```

=>

```
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Cilindrar")
  (Qualidade "Acabamento")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Externo")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Esquerdo")))
```

```
(defrule ATRIBUIOPERACAO::CVedac1
  (object (is-a PECA) (Material ?Mater))
  (object (name ?Mater) (Diametro ?DiamMa))
  ?Feat <- (object (is-a CANALVEDACAO) (Posicao "Externo")
                (DiamReferencia ?DiamFe&:(< ?DiamFe ?DiamMa)))
```

=>

```
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Cilindrar")
  (Qualidade "Desbaste")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Externo")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Esquerdo")))
```

```
(defrule ATRIBUIOPERACAO::CVedac2
  ?Feat <- (object (is-a CANALVEDACAO) (Posicao "Externo") (LargFundo ?LFundo) (Profundidade ?Prof))
```

=>

```
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Sangrar")
  (Qualidade "Acabamento")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Externo")
  (Direcao "Transversal")
  (LadoCorte "Esquerdo")
  (Largura ?LFundo)
  (Profundidade ?Prof))
```

```
(defrule ATRIBUIOPERACAO::CVedac3
  (object (is-a PECA) (Material ?Mater))
  (object (name ?Mater) (Diametro ?DiamMa))
```



```

?Feat <- (object (is-a CANALVEDACAO) (Posicao "Externo")
          (DiamReferencia ?DiamFe&:(< ?DiamFe ?DiamMa)))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Cilindrar")
  (Qualidade "Acabamento")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Externo")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Esquerdo"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::FCiPass1
  ?Feat <- (object (is-a FURCILPASSANTE) (Orientacao "Radial")
            (Diametro ?Diam) (ProfFuro ?PrFuro))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Furar")
  (Qualidade "Desbaste")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "ForaCentro")
  (Direcao "Transversal")
  (LadoCorte "Central")
  (Diametro ?Diam)
  (Profundidade ?PrFuro))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::FCiPass2
  ?Feat <- (object (is-a FURCILPASSANTE) (Orientacao "Axial") (Diametro ?Diam) (ProfFuro ?PrFuro))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Furar")
  (Qualidade "Desbaste")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Interno")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Central")
  (Diametro ?Diam)
  (Profundidade ?PrFuro))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::FCiCego1
  ?Feat <- (object (is-a FURCILCEGO) (Orientacao "Radial") (Diametro ?Diam) (ProfFuro ?PrFuro))
=>
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Furar")
  (Qualidade "Desbaste")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "ForaCentro")
  (Direcao "Transversal")
  (LadoCorte "Central")
  (Diametro ?Diam)
  (Profundidade ?PrFuro))

```

```
(defrule ATRIBUIOPERACAO::FCiCego2
  ?Feat <- (object (is-a FURCILCEGO) (Orientacao "Axial") (Diametro ?Diam) (ProfFuro ?PrFuro))
=>
```

```
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Furar")
  (Qualidade "Desbaste")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Interno")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Central")
  (Diametro ?Diam)
  (Profundidade ?PrFuro)))
```

```
(defrule ATRIBUIOPERACAO::Escare1
  ?Feat <- (object (is-a ESCAREADO) (Orientacao "Radial"))
=>
```

```
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Escarear")
  (Qualidade "Acabamento")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "ForaCentro")
  (Direcao "Transversal")
  (LadoCorte "Central")))
```

```
(defrule ATRIBUIOPERACAO::Escare2
  ?Feat <- (object (is-a ESCAREADO) (Orientacao "Axial"))
=>
```

```
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Escarear")
  (Qualidade "Acabamento")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Interno")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Central")))
```

```
(defrule ATRIBUIOPERACAO::FCoPass1
  ?Feat <- (object (is-a FURCONPASSANTE) (Orientacao "Radial"))
=>
```

```
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Furar")
  (Qualidade "Desbaste")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "ForaCentro")
  (Direcao "Transversal")
  (LadoCorte "Central")))
```

```
(defrule ATRIBUIOPERACAO::FCoPass2
  ?Feat <- (object (is-a FURCONPASSANTE) (Orientacao "Axial"))
=>
```

```

(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Furar")
  (Qualidade "Desbaste")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Interno")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Central"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::FCoCego1
  ?Feat <- (object (is-a FURCONCEGO) (Orientacao "Radial"))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
    (Nome "Furar")
    (Qualidade "Desbaste")
    (Feature ?Feat)
    (Posicao "ForaCentro")
    (Direcao "Transversal")
    (LadoCorte "Central"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::FCoCego2
  ?Feat <- (object (is-a FURCONCEGO) (Orientacao "Axial"))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
    (Nome "Furar")
    (Qualidade "Desbaste")
    (Feature ?Feat)
    (Posicao "Interno")
    (Direcao "Longitudinal")
    (LadoCorte "Central"))

(defrule ATRIBUIOPERACAO::RosPas1
  ?Feat <- (object (is-a ROSCAPASSANTE) (Orientacao "Radial")
    (Diametro ?Diam) (Perfil ?Perf) (ProfFilete ?PFilete) (ProfFuro ?PFuro))
=>
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
    (Nome "Furar")
    (Qualidade "Desbaste")
    (Feature ?Feat)
    (Posicao "ForaCentro")
    (Direcao "Transversal")
    (LadoCorte "Central")
    (Diametro (CalcFuroRosca ?Diam ?Perf))
    (Profundidade ?PFuro))
  (bind ?op (gensym))
  (slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
  (make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
    (Nome "Roscar_Interno")
    (Qualidade "Acabamento")
    (Feature ?Feat)
    (Posicao "ForaCentro"))

```

```
(Direcao "Transversal")
(LadoCorte "Central")
(Diametro ?Diam)
(Profundidade ?PFuro)))
```

```
(defrule ATRIBUIOPERACAO::RosPas2
  ?Feat <- (object (is-a ROSCAPASSANTE) (Orientacao "Axial")
            (Diametro ?Diam) (Perfil ?Perf) (ProfFilete ?PFilete) (ProfFuro ?PFuro))
```

=>

```
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Furar")
  (Qualidade "Desbaste")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Interno")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Central")
  (Diametro (CalcFuroRosca ?Diam ?Perf))
  (Profundidade ?PFuro))
```

```
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Roscar_Interno")
  (Qualidade "Acabamento")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Interno")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Central")
  (Diametro ?Diam)
  (Profundidade ?PFuro)))
```

```
(defrule ATRIBUIOPERACAO::RosCeg1
  ?Feat <- (object (is-a ROSCACEGA) (Orientacao "Radial")
            (Diametro ?Diam) (Perfil ?Perf) (ProfRoscada ?PRosca) (ProfFuro ?PFuro))
```

=>

```
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Furar")
  (Qualidade "Desbaste")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "ForaCentro")
  (Direcao "Transversal")
  (LadoCorte "Central")
  (Diametro (CalcFuroRosca ?Diam ?Perf))
  (Profundidade ?PFuro))
```

```
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAODETALHADA
  (Nome "Roscar_Interno")
  (Qualidade "Acabamento")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "ForaCentro")
  (Direcao "Transversal")
  (LadoCorte "Central")
  (Diametro ?Diam)
  (Profundidade ?PRosca)))
```

```
(defrule ATRIBUIOPERACAO::RosCeg2
  ?Feat <- (object (is-a ROSACEGA) (Orientacao "Axial")
            (Diametro ?Diam) (Perfil ?Perf) (ProfRoscada ?PRosca) (ProfFuro ?PFuro))
```

=>

```
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAO DETALHADA
  (Nome "Furar")
  (Qualidade "Desbaste")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Interno")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Central")
  (Diametro (CalcFuroRosca ?Diam ?Perf))
  (Profundidade ?PFuro))
```

```
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAO DETALHADA
  (Nome "Roscar_Interno")
  (Qualidade "Acabamento")
  (Feature ?Feat)
  (Posicao "Interno")
  (Direcao "Longitudinal")
  (LadoCorte "Central")
  (Diametro ?Diam)
  (Profundidade ?PRosca)))
```

```
(defrule ATRIBUIOPERACAO::PreFuro1
  ?Oper <- (object (is-a OPERACAO DETALHADA) (Nome "Furar") (Qualidade ?Qual)
                 (Diametro ?Diam & (> ?Diam 10.0)) (Feature ?Feat) (Posicao ?Posi)
                 (Direcao ?Dire) (LadoCorte ?LCorte) (Profundidade ?Prof) (Largura ?Larg)
                 (Comprimento ?Compr))
```

=>

```
(bind ?op (gensym))
(slot-insert$ ?Feat Operacoes 1 (symbol-to-instance-name ?op))
(make-instance ?op of OPERACAO DETALHADA
  (Nome "Furar")
  (Qualidade ?Qual)
  (Feature ?Feat)
  (Posicao ?Posi)
  (Direcao ?Dire)
  (LadoCorte ?LCorte)
  (Diametro (float (round (* ?Diam 0.4))))
  (Profundidade ?Prof)
  (Comprimento ?Compr)
  (Largura ?Larg))
```

B.3-Seleciona Máquina

```
(defmodule SELECONAMAQUINA
  (import OPERACAO defclass ?ALL)
  (import PECA defclass ?ALL)
  (import MATERIAL defclass ?ALL)
  (import MAQUINA defclass ?ALL))
```

```

(defrule SELEZIONAMAQUINA::TTornoExterno1
  ?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Posicao "Externo"))
=>
  (send ?Operacao put-TipoMaquina "Torno"))

(defrule SELEZIONAMAQUINA::TFuradEscarear1
  ?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Escarear"))
=>
  (send ?Operacao put-TipoMaquina "Furadeira"))

(defrule SELEZIONAMAQUINA::TFuradFCentro1
  ?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Furar") (Posicao "ForaCentro"))
=>
  (send ?Operacao put-TipoMaquina "Furadeira"))

(defrule SELEZIONAMAQUINA::TTornoFurar1
  ?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Furar") (Posicao "Interno") (Feature ?Feat))
  (object (is-a FURCILPASSANTE|ROSCAPASSANTE)
    (name ?Fe&:(eq ?Fe (instance-name ?Feat)))
    (ProfFuro ?Prof)
    (Diametro ?Diam&:(<= (/ ?Prof ?Diam) 6)))
=>
  (send ?Operacao put-TipoMaquina "Torno"))

(defrule SELEZIONAMAQUINA::TTornoFurar2
  (object (is-a PECA) (Comprimento ?Compr))
  ?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Furar") (Posicao "Interno") (Feature ?Feat))
  (object (is-a FURCILCEGO|ROSCACEGA)
    (name ?Fe&:(eq ?Fe (instance-name ?Feat))) (ProfFuro ?Prof)
    (Diametro ?Diam&:(<= (/ ?Prof ?Diam) 6)) (PontoX ?Ptox&:(= ?Ptox ?Compr)))
=>
  (send ?Operacao put-TipoMaquina "Torno"))

(defrule SELEZIONAMAQUINA::TFuradFurar1
  ?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Furar") (Posicao "Interno") (Feature ?Feat))
  (object (is-a FURCILCEGO|ROSCACEGA)
    (name ?Fe&:(eq ?Fe (instance-name ?Feat))) (PontoX 0.0))
=>
  (send ?Operacao put-TipoMaquina "Furadeira"))

(defrule SELEZIONAMAQUINA::TFuradFurar2
  (object (is-a PECA) (Comprimento ?Compr))
  ?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Furar") (Posicao "Interno") (Feature ?Feat))
  (object (is-a FURCILCEGO|ROSCACEGA)
    (name ?Fe&:(eq ?Fe (instance-name ?Feat))) (PontoX ?Ptox&:(= ?Ptox ?Compr))
    (ProfFuro ?Prof) (Diametro ?Diam&:(> (/ ?Prof ?Diam) 6)))
=>
  (send ?Operacao put-TipoMaquina "Furadeira"))

(defrule SELEZIONAMAQUINA::TFuradFurar3
  ?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Furar") (Posicao "Interno") (Feature ?Feat))
  (object (is-a FURCILPASSANTE|ROSCAPASSANTE)
    (name ?Fe&:(eq ?Fe (instance-name ?Feat))) (ProfFuro ?Prof)
    (Diametro ?Diam&:(> (/ ?Prof ?Diam) 6)))
=>
  (send ?Operacao put-TipoMaquina "Furadeira"))

(defrule SELEZIONAMAQUINA::TRosquFCentro1

```

```

?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Roscar_Interno"))
=>
(send ?Operacao put-TipoMaquina "Furadeira"))

(defrule SELECIONAMAQUINA::TornoDiametro1
?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (TipoMaquina "Torno"))
(object (is-a PECA) (Material ?Mater))
(object (name ?Mater) (Diametro ?DiamMater&:(and (> ?DiamMater 9.525) (<= ?DiamMater 15.875))))
=>
(send ?Operacao put-Maquinas [MAQUINA::Torno_TNS]))

(defrule SELECIONAMAQUINA::TornoDiametro2
?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (TipoMaquina "Torno"))
(object (is-a PECA) (Material ?Mater))
(object (name ?Mater) (Diametro ?DiamMater&:(and (> ?DiamMater 15.875) (<= ?DiamMater 31.75))))
=>
(send ?Operacao put-Maquinas [MAQUINA::Torno_TND]))

(defrule SELECIONAMAQUINA::TornoDiametro3
?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (TipoMaquina "Torno"))
(object (is-a PECA) (Material ?Mater))
(object (name ?Mater) (Diametro ?DiamMater&:(and (> ?DiamMater 31.75) (<= ?DiamMater 50.8))))
=>
(send ?Operacao put-Maquinas [MAQUINA::Torno_XERVITT]))

(defrule SELECIONAMAQUINA::FuradEscarear1
?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Escarear")
(TipoMaquina "Furadeira") (Feature ?Feat))
(object (name ?Fe&:(eq ?Fe (instance-name ?Feat))) (Orientacao "Axial"))
=>
(send ?Operacao put-Maquinas [MAQUINA::FC34]))

(defrule SELECIONAMAQUINA::FuradEscarear2
?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Escarear")
(TipoMaquina "Furadeira") (Feature ?Feat))
(object (name ?Fe&:(eq ?Fe (instance-name ?Feat))) (Orientacao "Radial"))
=>
(send ?Operacao put-Maquinas [MAQUINA::FB59]))

(defrule SELECIONAMAQUINA::FuradRoscar1
?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Roscar_Interno")
(TipoMaquina "Furadeira") (Feature ?Feat))
=>
(send ?Operacao put-Maquinas [MAQUINA::FB60]))

(defrule SELECIONAMAQUINA::FuradFurar1
?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Furar")
(TipoMaquina "Furadeira") (Feature ?Feat))
(object (name ?Fe&:(eq ?Fe (instance-name ?Feat))) (Orientacao "Radial"))
=>
(send ?Operacao put-Maquinas [MAQUINA::FC34]))

(defrule SELECIONAMAQUINA::FuradFurar2
?Operacao <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Furar")
(TipoMaquina "Furadeira") (Feature ?Feat))
(object (name ?Fe&:(eq ?Fe (instance-name ?Feat))) (Orientacao "Axial"))
=>
(send ?Operacao put-Maquinas [MAQUINA::FC34]))

```

B.4-Seleciona Ferramenta

```
(defmodule SELECIONAFERRAMENTA
  (import OPERACAO defclass OPERACAOETALHADA)
  (import PECA defclass ?ALL)
  (import MATERIAL defclass ?ALL)
  (import FERRAMENTA defclass ?ALL))

(deffunction SELECIONAFERRAMENTA::ConjFerCilindrar()
  (bind ?FerramEscolhida (create$))
  (do-for-all-instances ((?oper OPERACAOETALHADA) (eq ?oper:Nome "Cilindrar"))
    (progn
      (do-for-all-instances ((?ferr FER_CILINDRAR))
        (and (eq ?oper:Posicao ?ferr:Posicao)
              (eq ?oper:Qualidade ?ferr:Qualidade)
              (eq ?oper:LadoCorte ?ferr:LadoCorte)
              (not (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))))
        (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
      (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
        then
          (do-for-all-instances ((?ferr FER_CILINDRAR))
            (and (eq ?oper:Posicao ?ferr:Posicao)
                  (eq ?oper:Qualidade ?ferr:Qualidade)
                  (eq ?oper:LadoCorte ?ferr:LadoCorte)
                  (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))
            (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper)))
          (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
            then
              (bind ?FerCriada (make-instance (gensym) of FER_CILINDRAR
                (Especificacao "INEXISTENTE")
                (Posicao ?oper:Posicao)
                (Qualidade ?oper:Qualidade)
                (LadoCorte ?oper:LadoCorte)))
              (AtribuiFerramenta ?FerCriada ?oper))))))

(deffunction SELECIONAFERRAMENTA::ConjFerFacear()
  (bind ?FerramEscolhida (create$))
  (do-for-all-instances ((?oper OPERACAOETALHADA) (eq ?oper:Nome "Facear"))
    (progn
      (do-for-all-instances ((?ferr FER_FACEAR))
        (and (eq ?oper:Posicao ?ferr:Posicao)
              (eq ?oper:Qualidade ?ferr:Qualidade)
              (eq ?oper:LadoCorte ?ferr:LadoCorte)
              (not (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))))
        (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
      (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
        then
          (do-for-all-instances ((?ferr FER_FACEAR))
            (and (eq ?oper:Posicao ?ferr:Posicao)
                  (eq ?oper:Qualidade ?ferr:Qualidade)
                  (eq ?oper:LadoCorte ?ferr:LadoCorte)
                  (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))
            (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
          (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
            then
```



```

(bind ?FerCriada (make-instance (gensym) of FER_FACEAR
                               (Especificacao "INEXISTENTE")
                               (Posicao ?oper:Posicao)
                               (Qualidade ?oper:Qualidade)
                               (LadoCorte ?oper:LadoCorte)))
(AtribuiFerramenta ?FerCriada ?oper))))))

(defun SELECIONAFERRAMENTA::ConjFerCortar()
  (bind ?FerramEscolhida (create$))
  (do-for-all-instances ((?oper OPERACAODETALHADA) (eq ?oper:Nome "Cortar")
    (progn
      (do-for-all-instances ((?ferr FER_CORTAR))
        (and (eq (sym-cat(upcase ?ferr:Aplicacao))
                 (class (symbol-to-instance-name (sym-cat MATERIAL::
                                                    (send [PECA::PECA] get-Material))))))
              (eq ?oper:LadoCorte ?ferr:LadoCorte)
              (> ?ferr:MaxProfundidade ?oper:Profundidade)
              (not (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))))
        (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
      (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
        then
          (do-for-all-instances ((?ferr FER_CORTAR))
            (and (eq (sym-cat(upcase ?ferr:Aplicacao))
                     (class (symbol-to-instance-name (sym-cat MATERIAL::
                                                         (send [PECA::PECA] get-Material))))))
                  (eq ?oper:LadoCorte ?ferr:LadoCorte)
                  (> ?ferr:MaxProfundidade ?oper:Profundidade)
                  (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))
              (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
            (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
              then
                (bind ?FerCriada (make-instance (gensym) of FER_CORTAR
                                                  (Especificacao "INEXISTENTE")
                                                  (Aplicacao (class (symbol-to-instance-name
                                                                    (sym-cat MATERIAL::(send [PECA::PECA] get-Material))))))
                                                  (LadoCorte ?oper:LadoCorte)
                                                  (MaxProfundidade ?oper:Profundidade)))
                  (AtribuiFerramenta ?FerCriada ?oper))))))

(defun SELECIONAFERRAMENTA::ConjFerRoscarExt()
  (bind ?FerramEscolhida (create$))
  (do-for-all-instances ((?oper OPERACAODETALHADA) (eq ?oper:Nome "Roscar_Externo")
    (progn
      (do-for-all-instances ((?ferr FER_ROSCAREXT))
        (and (eq ?oper:LadoCorte ?ferr:LadoCorte)
              (eq (send (send ?oper get-Feature) get-Perfil) ?ferr:Perfil)
              (= (send (send ?oper get-Feature) get-Passo) ?ferr:Passo)
              (not (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))))
        (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
      (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
        then
          (do-for-all-instances ((?ferr FER_ROSCAREXT))
            (and (eq ?oper:LadoCorte ?ferr:LadoCorte)
                  (eq (send (send ?oper get-Feature) get-Perfil) ?ferr:Perfil)
                  (= (send (send ?oper get-Feature) get-Passo) ?ferr:Passo)
                  (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))
              (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
            (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
              then
                (bind ?FerCriada (make-instance (gensym) of FER_ROSCAREXT
                                                  (Especificacao "INEXISTENTE")
                                                  (Aplicacao (class (symbol-to-instance-name
                                                                    (sym-cat MATERIAL::(send [PECA::PECA] get-Material))))))
                                                  (LadoCorte ?oper:LadoCorte)
                                                  (MaxProfundidade ?oper:Profundidade)))
                  (AtribuiFerramenta ?FerCriada ?oper))))))

```

```

then
  (bind ?FerCriada (make-instance (gensym) of FER_ROSCAREXT
    (Especificacao "INEXISTENTE")
    (Perfil (send (send ?oper get-Feature) get-Perfil))
    (Passo (send (send ?oper get-Feature) get-Passo))
    (LadoCorte ?oper:LadoCorte)))
  (AtribuiFerramenta ?FerCriada ?oper))))))

(deffunction SELECIONAFERRAMENTA::ConjFerPerfilarConc()
  (bind ?FerramEscolhida (create$))
  (do-for-all-instances ((?oper OPERACAODETALHADA)) (eq ?oper:Nome "Perfilar_Concavo")
    (progn
      (do-for-all-instances ((?ferr FER_PERFILAR))
        (and (eq ?oper:LadoCorte ?ferr:LadoCorte)
          (> ?ferr:MaxProfundidade ?oper:Profundidade)
          (<= ?ferr:LargCorte ?oper:Largura)
          (not (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))))
        (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
      (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
        then
          (do-for-all-instances ((?ferr FER_PERFILAR))
            (and (eq ?oper:LadoCorte ?ferr:LadoCorte)
              (> ?ferr:MaxProfundidade ?oper:Profundidade)
              (<= ?ferr:LargCorte ?oper:Largura)
              (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))))
            (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
          (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
            then
              (bind ?FerCriada (make-instance (gensym) of FER_PERFILAR
                (Especificacao "INEXISTENTE")
                (LargCorte ?oper:Largura)
                (MaxProfundidade ?oper:Profundidade)
                (LadoCorte ?oper:LadoCorte)))
                (AtribuiFerramenta ?FerCriada ?oper))))))

(deffunction SELECIONAFERRAMENTA::ConjFerPerfilarConv()
  (bind ?FerramEscolhida (create$))
  (do-for-all-instances ((?oper OPERACAODETALHADA)) (eq ?oper:Nome "Perfilar_Convexo")
    (progn
      (do-for-all-instances ((?ferr FER_PERFILAR))
        (and (eq ?oper:LadoCorte ?ferr:LadoCorte)
          (not (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))))
        (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
      (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
        then
          (do-for-all-instances ((?ferr FER_PERFILAR))
            (and (eq ?oper:LadoCorte ?ferr:LadoCorte)
              (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))))
            (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
          (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
            then
              (bind ?FerCriada (make-instance (gensym) of FER_FACEAR
                (Especificacao "INEXISTENTE")
                (LadoCorte ?oper:LadoCorte)))
                (AtribuiFerramenta ?FerCriada ?oper))))))

(deffunction SELECIONAFERRAMENTA::ConjFerSangrar()
  (bind ?FerramEscolhida (create$))

```

```

(do-for-all-instances ((?oper OPERACAODETALHADA)) (eq ?oper:Nome "Sangrar")
  (progn
    (do-for-all-instances ((?ferr FER_SANGRAR))
      (and (eq ?oper:LadoCorte ?ferr:LadoCorte)
          (> ?ferr:MaxProfundidade ?oper:Profundidade)
          (<= ?ferr:LargCorte ?oper:Largura)
          (not (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))))
      (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
    (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
      then
        (do-for-all-instances ((?ferr FER_SANGRAR))
          (and (eq ?oper:LadoCorte ?ferr:LadoCorte)
              (> ?ferr:MaxProfundidade ?oper:Profundidade)
              (<= ?ferr:LargCorte ?oper:Largura)
              (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))
          (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
        (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
          then
            (bind ?FerCriada (make-instance (gensym) of FER_SANGRAR
              (Especificacao "INEXISTENTE")
              (LargCorte ?oper:Largura)
              (MaxProfundidade ?oper:Profundidade)
              (LadoCorte ?oper:LadoCorte)))
            (AtribuiFerramenta ?FerCriada ?oper))))))

(deffunction SELECIONAFERRAMENTA::ConjFerFurar()
  (bind ?FerramEscolhida (create$))
  (do-for-all-instances ((?oper OPERACAODETALHADA)) (eq ?oper:Nome "Furar")
    (progn
      (do-for-all-instances ((?ferr FER_FURAR))
        (and (= ?ferr:Diametro ?oper:Diametro)
            (>= ?ferr:CompUtil ?oper:Profundidade)
            (not (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))))
        (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
      (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
        then
          (do-for-all-instances ((?ferr FER_FURAR))
            (and (= ?ferr:Diametro ?oper:Diametro)
                (>= ?ferr:CompUtil ?oper:Profundidade)
                (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))
            (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
          (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
            then
              (bind ?FerCriada (make-instance (gensym) of FER_FURAR
                (Especificacao "INEXISTENTE")
                (Diametro ?oper:Diametro)
                (CompUtil ?oper:Profundidade)))
              (AtribuiFerramenta ?FerCriada ?oper))))))

(deffunction SELECIONAFERRAMENTA::ConjFerEscarear()
  (bind ?FerramEscolhida (create$))
  (do-for-all-instances ((?oper OPERACAODETALHADA)) (eq ?oper:Nome "Escarear")
    (progn
      (do-for-all-instances ((?ferr FER_ESCAREAR))
        (and (= (send (send ?oper get-Feature) get-Angulo) ?ferr:AngPonta)
            (not (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))))
        (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
      (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
        then
          (do-for-all-instances ((?ferr FER_ESCAREAR))
            (and (= (send (send ?oper get-Feature) get-Angulo) ?ferr:AngPonta)
                (not (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))))
            (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
          (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
            then
              (bind ?FerCriada (make-instance (gensym) of FER_ESCAREAR
                (Especificacao "INEXISTENTE")
                (Angulo ?oper:Angulo)
                (AngPonta ?oper:AngPonta)))
              (AtribuiFerramenta ?FerCriada ?oper))))))

```

```

then
  (do-for-all-instances ((?ferr FER_ESCAREAR))
    (and (= (send (send ?oper get-Feature) get-Angulo) ?ferr:AngPonta)
      (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE")))
    (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
  (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
    then
      (bind ?FerCriada (make-instance (gensym) of FER_ESCAREAR
        (Especificacao "INEXISTENTE")
        (AngPonta (send (send ?oper get-Feature) get-Angulo))))
        (AtribuiFerramenta ?FerCriada ?oper))))))

(deffunction SELECIONAFERRAMENTA::ConjFerRoscarInt()
  (bind ?FerramEscolhida (create$))
  (do-for-all-instances ((?oper OPERACAODETALHADA) (eq ?oper:Nome "Roscar_Interno")
    (progn
      (do-for-all-instances ((?ferr FER_ROSCARINT))
        (and (eq ?oper:Diametro ?ferr:Diametro)
          (>= ?ferr:CompUtil ?oper:Profundidade)
          (eq (send (send ?oper get-Feature) get-Perfil) ?ferr:Perfil)
          (= (send (send ?oper get-Feature) get-Passo) ?ferr:Passo)
          (eq (send (send ?oper get-Feature) get-SentidoRosca) ?ferr:Sentido)
          (not (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE"))))
        (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
      (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
        then
          (do-for-all-instances ((?ferr FER_ROSCARINT))
            (and (eq ?oper:Diametro ?ferr:Diametro)
              (>= ?ferr:CompUtil ?oper:Profundidade)
              (eq (send (send ?oper get-Feature) get-Perfil) ?ferr:Perfil)
              (= (send (send ?oper get-Feature) get-Passo) ?ferr:Passo)
              (eq (send (send ?oper get-Feature) get-SentidoRosca) ?ferr:Sentido)
              (eq ?ferr:Especificacao "INEXISTENTE")))
            (AtribuiFerramenta ?ferr ?oper))
          (if (= (length ?oper:Ferramentas) 0)
            then
              (bind ?FerCriada (make-instance (gensym) of FER_ROSCARINT
                (Especificacao "INEXISTENTE")
                (Diametro ?oper:Diametro)
                (CompUtil ?oper:Profundidade)
                (Perfil (send (send ?oper get-Feature) get-Perfil))
                (Passo (send (send ?oper get-Feature) get-Passo))
                (Sentido (send (send ?oper get-Feature) get-SentidoRosca))))
                (AtribuiFerramenta ?FerCriada ?oper))))))

(defrule SELECIONAFERRAMENTA::Chanfrar_Esquerda
  ?Oper1 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Cortar") (Ferramentas ?))
  ?Oper2 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Chanfrar_Esquerda"))
=>
  (send ?Oper2 put-Ferramentas (send ?Oper1 get-Ferramentas)))

```

B.5-Seleciona Dispositivo de Fixação

```

(defmodule SELECIONADISPFIXACAO
  (import OPERACAO defclass ?ALL)
  (import PECA defclass ?ALL)

```

```

(import MATERIAL defclass ?ALL)
(import DISPFIXACAO defclass ?ALL)

(deffunction SELECIONADISPFIXACAO::SelecaoPinca()
  (bind ?ListaPinca (create$))
  (bind ?DiamMat (send (symbol-to-instance-name (sym-cat MATERIAL::
                                                    (send [PECA::PECA] get-Material)))) get-Diametro))
  (do-for-all-instances ((?Pinca PINCA))
    (and (<= ?DiamMat ?Pinca:DiamMax)
          (>= ?DiamMat ?Pinca:DiamMin))
    (bind ?ListaPinca (insert$ ?ListaPinca 1 ?Pinca)))
  (return ?ListaPinca))

(deffunction SELECIONADISPFIXACAO::PincaUnica()
  (bind ?Minimo 10000)
  (bind ?Nominal 0)
  (bind ?ListaPinca (SelecaoPinca)) ; chamada a funcao
  (bind ?DiamMat (send (symbol-to-instance-name (sym-cat MATERIAL::
                                                    (send [PECA::PECA] get-Material)))) get-Diametro))
  (loop-for-count (?c1 1 (length ?ListaPinca))
    (bind ?DMax (send (nth$ ?c1 ?ListaPinca) get-DiamMax))
    (bind ?DMin (send (nth$ ?c1 ?ListaPinca) get-DiamMin))
    (bind ?Nominal (/ (+ ?DMax ?DMin) 2))
    (if (< (abs (- ?DiamMat ?Nominal)) ?Minimo)
        then
          (bind ?Minimo (abs (- ?DiamMat ?Nominal)))
          (bind ?PincaEscolhida (nth$ ?c1 ?ListaPinca)))
    (return ?PincaEscolhida))

(defrule SELECIONADISPFIXACAO::PincaTorno
  ?Oper <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (TipoMaquina "Torno"))
=>
  (send ?Oper put-DispFixacao (PincaUnica)))

(defrule SELECIONADISPFIXACAO::EscarFurad1
  ?Oper <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Escarear")
                  (TipoMaquina "Furadeira") (Feature ?Feat))
  (object (name ?Fe&:(eq ?Fe (instance-name ?Feat))) (Orientacao "Radial"))
=>
  (send ?Oper put-DispFixacao [DISPFIXACAO::DC-S-04842] [DISPFIXACAO::PRISMA]))

(defrule SELECIONADISPFIXACAO::EscarFurad2
  ?Oper <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Escarear")
                  (TipoMaquina "Furadeira") (Feature ?Feat))
  (object (name ?Fe&:(eq ?Fe (instance-name ?Feat))) (Orientacao "Axial"))
=>
  (send ?Oper put-DispFixacao [DISPFIXACAO::DC-S-04407] [DISPFIXACAO::DC-Z-38442]))

(defrule SELECIONADISPFIXACAO::FurarFurad1
  ?Oper <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Furar") (TipoMaquina "Furadeira"))
=>
  (send ?Oper put-DispFixacao [DISPFIXACAO::DISP_ESPECIFICO_DA_PECA]))

(defrule SELECIONADISPFIXACAO::FurarFurad2
  ?Oper <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Roscar_Interno"))
=>
  (send ?Oper put-DispFixacao [DISPFIXACAO::DISP_ESPECIFICO_DA_PECA]))

```

B.6-Define Sequência

```
(defmodule DEFINESEQUENCIA
  (import OPERACAO defclass ?ALL)
  (import FOLHAPROCESSO defclass FOLHAPROCESSO)
  (import ATRIBUIOPERACAO defglobal Ordem)
  (import MAQUINA defclass ?ALL)
  import FERRAMENTA defclass ?ALL)
import DISPFIXACAO defclass ?ALL)
import PECA defclass ?ALL))

(deffunction DEFINESEQUENCIA::TrocaIndice(?Oper1 ?Ind1 ?Oper2 ?Ind2)
  send ?Oper1 put-Indice ?Ind2)
  send ?Oper2 put-Indice ?Ind1))

(defrule DEFINESEQUENCIA::Serrar_Endireitar
  Op1 <- (object (is-a OPERACAOGERAL) (Nome "Serrar") (Indice ?Ind1))
  Op2 <- (object (is-a OPERACAOGERAL) (Nome "Endireitar|"Chanfrar") (Indice ?Ind2&:(< ?Ind2 ?Ind1)))
=>
  TrocaIndice ?Op1 ?Ind1 ?Op2 ?Ind2))

(defrule DEFINESEQUENCIA::Endireitar_Chanfrar
  ?Op1 <- (object (is-a OPERACAOGERAL) (Nome "Endireitar") (Indice ?Ind1))
  ?Op2 <- (object (is-a OPERACAOGERAL) (Nome "Chanfrar") (Indice ?Ind2&:(< ?Ind2 ?Ind1)))
=>
  (TrocaIndice ?Op1 ?Ind1 ?Op2 ?Ind2))

(defrule DEFINESEQUENCIA::Geral_Detalhada
  ?Op1 <- (object (is-a OPERACAOGERAL) (Indice ?Ind1))
  ?Op2 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Indice ?Ind2&:(< ?Ind2 ?Ind1)))
=>
  (TrocaIndice ?Op1 ?Ind1 ?Op2 ?Ind2))

(defrule DEFINESEQUENCIA::Externo_Interno
  ?Op1 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Posicao "Externo")
                (Nome ~"Cortar"&~"Chanfrar_Esquerda") (Indice ?Ind1))
  ?Op2 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Posicao "Interno|"ForaCentro")
                (Indice ?Ind2&:(< ?Ind2 ?Ind1)))
=>
  (TrocaIndice ?Op1 ?Ind1 ?Op2 ?Ind2))

(defrule DEFINESEQUENCIA::Torno_Furad
  ?Op1 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (TipoMaquina "Torno") (Indice ?Ind1))
  ?Op2 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (TipoMaquina "Furadeira")
                (Indice ?Ind2&:(< ?Ind2 ?Ind1)))
=>
  (TrocaIndice ?Op1 ?Ind1 ?Op2 ?Ind2))

(defrule DEFINESEQUENCIA::Desb_Acab
  ?Op1 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Qualidade "Desbaste") (Feature ?Feat) (Indice ?Ind1))
  ?Op2 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Qualidade "Acabamento")
                (Feature ?Feat) (Indice ?Ind2&:(< ?Ind2 ?Ind1)))
=>
  (TrocaIndice ?Op1 ?Ind1 ?Op2 ?Ind2))

(defrule DEFINESEQUENCIA::DirEsq_Cilindrar
```

```

?Op1 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Cilindrar")
          (Posicao "Externo") (Qualidade ?Quali) (Feature ?Feat1) (Indice ?Ind1))
?Op2 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Cilindrar")
          (Posicao "Externo") (Qualidade ?Quali) (Feature ?Feat2)
          (Indice ?Ind2&:(> ?Ind1 ?Ind2)))
(object (is-a FEATURE) (name ?Fe1&:(eq ?Fe1 (instance-name ?Feat1))) (PontoX ?Ptox1))
(object (is-a FEATURE) (name ?Fe2&:(eq ?Fe2 (instance-name ?Feat2)))(PontoX ?Ptox2&:(> ?Ptox1 ?Ptox2)))
=>
(TrocaIndice ?Op1 ?Ind1 ?Op2 ?Ind2))

(defrule DEFINESEQUENCIA::DirEsq_NaoCilindrar
  ?Op1 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome ~"Cilindrar")
                (Posicao "Externo") (Qualidade ?Quali) (Feature ?Feat1) (Indice ?Ind1))
  ?Op2 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome ~"Cilindrar")
                (Posicao "Externo") (Qualidade ?Quali) (Feature ?Feat2)
                (Indice ?Ind2&:(> ?Ind1 ?Ind2)))
  (object (is-a FEATURE) (name ?Fe1&:(eq ?Fe1 (instance-name ?Feat1))) (PontoX ?Ptox1))
  (object (is-a FEATURE) (name ?Fe2&:(eq ?Fe2 (instance-name ?Feat2)))(PontoX ?Ptox2&:(> ?Ptox1 ?Ptox2)))
=>
  (TrocaIndice ?Op1 ?Ind1 ?Op2 ?Ind2))

(defrule DEFINESEQUENCIA::DesbAcab_Cilindrar
  ?Op1 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Cilindrar")
                (Posicao "Externo") (Qualidade "Desbaste") (Indice ?Ind1))
  ?Op2 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Cilindrar")
                (Posicao "Externo") (Qualidade "Acabamento")
                (Indice ?Ind2&:(> ?Ind1 ?Ind2)))
=>
  (TrocaIndice ?Op1 ?Ind1 ?Op2 ?Ind2))

(defrule DEFINESEQUENCIA::Diam1_Diam2
  ?Op1 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Furar") (Feature ?Feat)
                (Indice ?Ind1) (Diametro ?Diam1))
  ?Op2 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Furar") (Feature ?Feat)
                (Indice ?Ind2&:(> ?Ind1 ?Ind2)) (Diametro ?Diam2&:(< ?Diam1 ?Diam2)))
=>
  (TrocaIndice ?Op1 ?Ind1 ?Op2 ?Ind2))

(defrule DEFINESEQUENCIA::FacQuali_CilQuali
  ?Op1 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Facear")
                (Posicao "Externo") (Qualidade ?Quali) (Indice ?Ind1))
  ?Op2 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Cilindrar")
                (Posicao "Externo") (Qualidade ?Quali) (Indice ?Ind2&:(> ?Ind1 ?Ind2)))
=>
  (TrocaIndice ?Op1 ?Ind1 ?Op2 ?Ind2))

(defrule DEFINESEQUENCIA::Cilindrar_NaoFacear
  ?Op1 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Cilindrar")
                (Posicao "Externo") (Indice ?Ind1))
  ?Op2 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome ~"Facear"&~"Cilindrar")
                (Posicao "Externo") (Indice ?Ind2&:(> ?Ind1 ?Ind2)))
=>
  (TrocaIndice ?Op1 ?Ind1 ?Op2 ?Ind2))

(defrule DEFINESEQUENCIA::Furar_Escarear
  ?Op1 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Furar") (Feature ?Feat1) (Indice ?Ind1))
  ?Op2 <- (object (is-a OPERACAODETALHADA) (Nome "Escarear") (Feature ?Feat2)
                (Indice ?Ind2&:(> ?Ind1 ?Ind2)))

```

```

(object (is-a FEATURE) (name ?Fe1&:(eq ?Fe1 (instance-name ?Feat1))) (PontoX ?Ptox1))
(object (is-a FEATURE) (name ?Fe2&:(eq ?Fe2 (instance-name ?Feat2)))(PontoX ?Ptox2&:(= ?Ptox1 ?Ptox2)))
=>
(TrocaIndice ?Op1 ?Ind1 ?Op2 ?Ind2))

(defrule DEFINESEQUENCIA::Cortar_Ultimo
?Op1 <- (object (is-a OPERACAO DETALHADA) (TipoMaquina "Torno") (Indice ?Ind1))
?Op2 <- (object (is-a OPERACAO DETALHADA) (Nome "Cortar") (TipoMaquina "Torno")
(Indice ?Ind2&:(> ?Ind1 ?Ind2)))
=>
(TrocaIndice ?Op1 ?Ind1 ?Op2 ?Ind2))

(defrule DEFINESEQUENCIA::CilDesb_FacAcab
?Op1 <- (object (is-a OPERACAO DETALHADA) (Nome "Cilindrar")
(Posicao "Externo") (Qualidade "Desbaste") (Indice ?Ind1))
?Op2 <- (object (is-a OPERACAO DETALHADA) (Nome "Facear")
(Posicao "Externo") (Qualidade "Acabamento") (Indice ?Ind2&:(> ?Ind1 ?Ind2)))
=>
(TrocaIndice ?Op1 ?Ind1 ?Op2 ?Ind2))

(defrule DEFINESEQUENCIA::Chanfr_Esquerda
?Op1 <- (object (is-a OPERACAO DETALHADA) (TipoMaquina "Torno") (Nome ~"Cortar") (Indice ?Ind1))
?Op2 <- (object (is-a OPERACAO DETALHADA) (Nome "Chanfrar_Esquerda")
(TipoMaquina "Torno") (Indice ?Ind2&:(> ?Ind1 ?Ind2)))
=>
(TrocaIndice ?Op1 ?Ind1 ?Op2 ?Ind2))

```

Anexo C-Interface Gráfica Utilizada

A interface gráfica utilizada neste trabalho é objeto de um outro trabalho previamente desenvolvido. Com o objetivo de apresentar ao leitor um material de apoio mostra-se, neste anexo, um resumo da referência 22, artigo publicado pelos autores da referida interface, que apresenta seus pontos principais.

Um Sistema de Projeto de Peças Usinadas Baseado em "Features" Aplicado à Realidade Industrial

João Carlos Espíndola Ferreira, Adilson Ulrico Butzke, Fernando Furlan Neto
Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia Mecânica
GRUCON, Caixa Postal 476
88040-900, Florianópolis, SC
Tel: (048) 231-9387, 234-3579
Fax: (048) 234-1519
E-mail: jcf@grucon.ufsc.br

Introdução

Hoje a utilização da tecnologia de computadores no setor produtivo é um caminho sem volta. Em atividades de grande importância na indústria como projeto, fabricação e gerenciamento de materiais e equipamentos, tem-se utilizado o computador de forma cada vez mais abrangente, pois a utilização de computadores possibilita o manuseio de um número cada vez maior de informações.

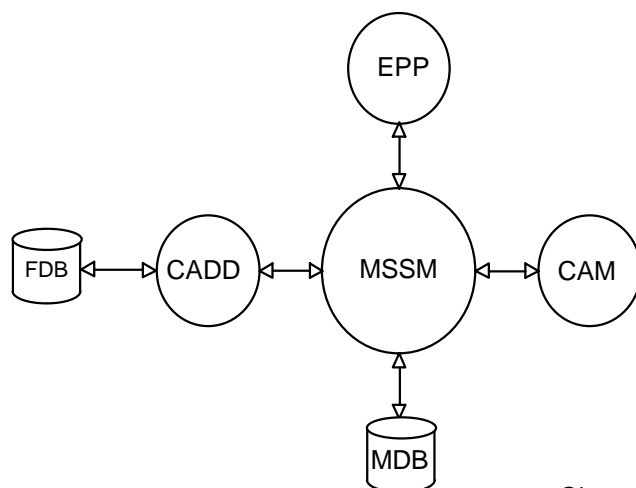
Dentre as várias atividades realizadas numa fábrica, projeto e fabricação têm sido executados através de sistemas computacionais de auxílio a estas atividades, isto é, sistemas CAD e CAM. Entretanto, estas atividades são normalmente feitas em separado, ou seja, apesar do uso do computador, a filosofia tradicional de projeto e fabricação ainda é empregada. Além do mais, a atividade que interliga o projeto à fabricação, que é o planejamento do processo ainda é, via de regra, executada sem auxílio computacional.

Tendo em vista a necessidade de integração das tarefas que envolvem o ciclo produtivo, o GRIMA (Grupo de Integração da Manufatura, pertencente ao GRUCON/EMC/UFSC) propõe o desenvolvimento de um sistema que favoreça a integração CAD/CAPP/CAM. Este sistema se destina a uma empresa do ramo agrícola, a SLC ("Schneider Logemann Cia."), fabricante de colheitadeiras e plantadeiras.

Este sistema, denominado "Sistema de Suporte à Manufatura" (MSS), é composto por vários módulos, que são ilustrados na Figura 1.

O módulo CADD consiste de um sistema "CAD by features", através do qual as peças a serem fabricadas são projetadas, utilizando-se a técnica de projeto por "features". Para construir-se as peças no módulo CADD, tem-se à disposição as "features" cadastradas na base de dados de "features" (FDB).

O módulo EPP, que refere-se ao planejamento do processo especialista, consiste de um sistema especialista que incorpora a experiência dos processistas da empresa. Para a execução deste módulo, informações atualizadas sobre matéria-prima, máquinas, ferramentas e dispositivos de fixação deverão ser consultadas, para que o plano de processo gerado possa ser efetivamente executado. Estas últimas informações estarão cadastradas na Base de Dados de Manufatura (MDB).



Sistema de Suporte à Manufatura

onde:

CADD: módulo de projeto e desenho

FDB: base de dados de "features"

EPP: módulo de planejamento especialista de processo

MDB: base de dados de manufatura

CAM: módulo de geração e simulação da trajetória da ferramenta

MSSM: gerenciador do sistema de suporte à manufatura

Figura 1: Módulos do Sistema de Suporte à Manufatura (MSS).

O módulo CAM consiste da geração da trajetória da ferramenta para a usinagem da peça, baseado nas informações contidas no plano de processo. Por exemplo, sendo dadas a máquina, a ferramenta, o volume de material a ser usinado, o dispositivo de fixação e o material da peça, pode-se gerar os parâmetros de corte (velocidade, profundidade e avanço) para a usinagem através de métodos de otimização (Huang, 1988) e por conseguinte a trajetória da ferramenta.

O gerenciador do Sistema de Suporte à Manufatura (MSSM) tem como função promover o correto interfaceamento entre os diversos módulos do sistema. Isto é necessário porque são vários os tipos de arquivos gerados pelo sistema (p.ex., arquivos de desenho, de bancos de dados, etc.), e também porque o usuário deve optar por um módulo ou por outro (p.ex., ele/ela pode terminar o projeto e passar para o planejamento do processo, e depois voltar para o projeto) através de um software que centraliza estas atividades.

No presente artigo, será feita uma descrição do módulo CADD, ilustrando a sua importância para o funcionamento do sistema MSS. Será descrita a metodologia através da qual foi desenvolvido o sistema "CAD by features", a interface gráfica para o projeto de peças será ilustrada, a forma de criação das peças será mostrada e finalmente o exemplo de uma peça será apresentado.

Metodologia de Desenvolvimento do Módulo CADD

Para o desenvolvimento do módulo CADD, decidiu-se pela utilização da tecnologia de "features". Até o presente momento não existe um consenso entre os pesquisadores que trabalham com "features" sobre uma definição única de "features", isto porque esta tecnologia pode abranger diferentes áreas numa fábrica, como por exemplo o projeto, a fixação da peça, a usinagem, etc. (Korde, 1992).

A tecnologia de "features" tem sido utilizada no desenvolvimento de sistemas CAPP. Um número significativo destes sistemas apresenta um módulo de projeto assistido por computador baseado em "features", como por exemplo os sistemas QTC (Kanumury et al.), Turbo-Model (Jasthi, et al., 1994) e o First-Cut (Cutkosky et al., 1987). Porém, tais sistemas não consideram "features" existentes nas indústrias, isto é, a cultura da empresa não é levada em consideração, e portanto ocorrem dificuldades de implementação prática destes softwares. No presente artigo será apresentado o módulo CADD, que é um sistema "CAD by features" no qual as peças (e "features") fabricadas na empresa SLC serão projetadas, e portanto a sua viabilidade de utilização pela empresa é garantida.

Como o trabalho proposto envolve o desenvolvimento de um sistema "CAD by features" em cooperação com uma empresa, este sistema deve ser tal que o projetista possa criar peças comumente produzidas na empresa, e que as "features" presentes nas peças fabricadas sejam cadastradas no software, ficando portanto disponíveis para o projetista.

Devido à variedade de peças produzidas pela SLC, decidiu-se pelo desenvolvimento deste sistema para uma parte das peças produzidas na fábrica, reduzindo-se assim o domínio de aplicação, e por conseguinte a complexidade do problema.

O layout de fabricação é celular, e portanto o MSS está sendo desenvolvido para uma das células, a qual produz em torno de 480 peças usinadas de revolução. Deve-se lembrar que uma célula pode ser considerada como uma mini-fábrica, em que entra a matéria-prima, e sai a peça acabada.

De posse de um sistema completo para a solução do problema referente à célula escolhida, a experiência adquirida no seu desenvolvimento será importante para o projeto e a fabricação de outros tipos de peças, como por exemplo peças prismáticas usinadas e chapas metálicas.

O passo seguinte foi o levantamento dos desenhos das peças usinadas naquela célula, e as "features" presentes nestas peças foram identificadas e cadastradas na base de dados de "features" (FDB). Dentre estas "features" incluem-se eixo, furos, rasgos de chaveta, rebaxos e roscas. Para esta célula foram identificadas em torno de 30 "features". Veja na figura 2 a classificação das "features" presentes em peças da SLC, e na Figura 3 uma "feature" e os atributos geométricos e tecnológicos referentes a ela.

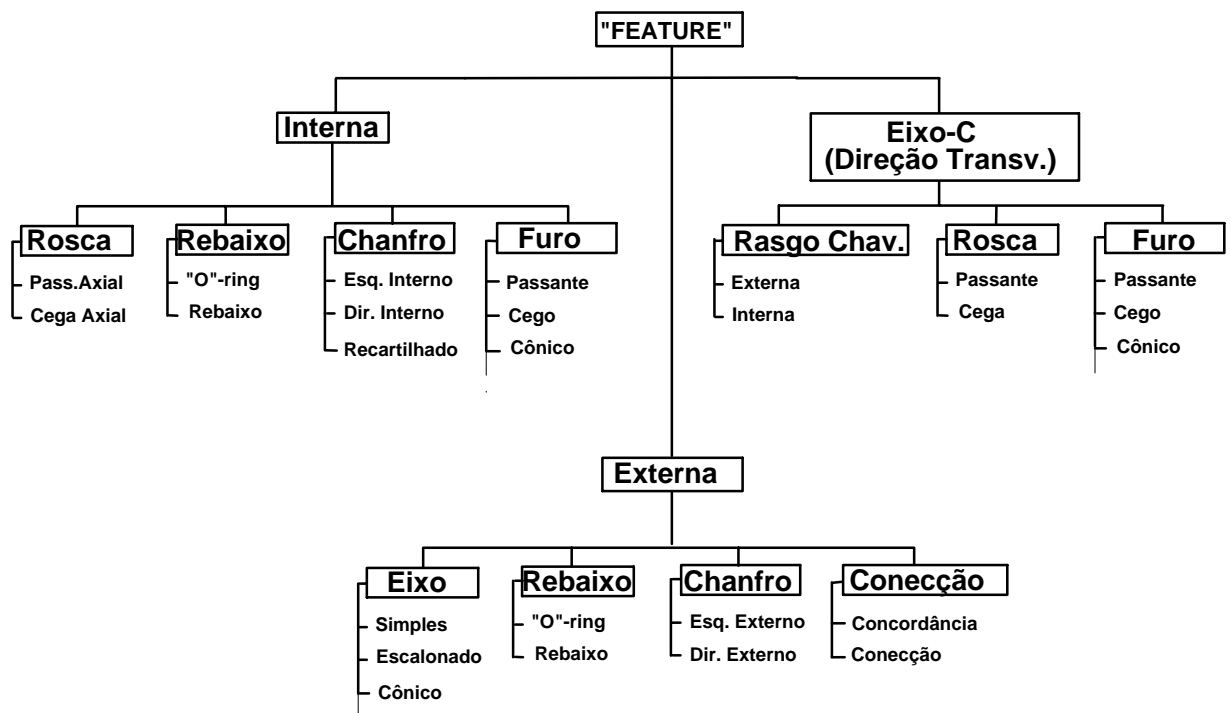


Figura 2: Classificação das "features" presentes na célula escolhida.

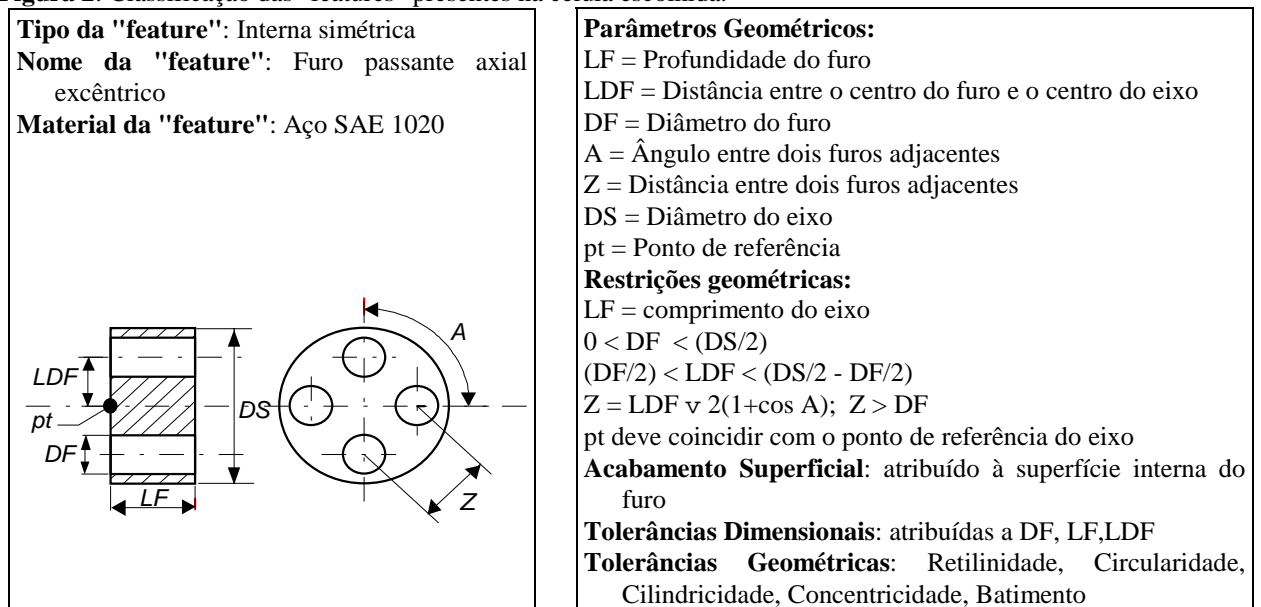


Figura 3: Atributos geométricos e tecnológicos da "feature" furo passante axial excêntrico.

Uma vez que a SLC utiliza o software AutoCAD versão 12, e também outras empresas nacionais de pequeno e médio porte também possuem este software, foi decidido que o Sistema de Suporte à Manufatura seria desenvolvido usando-se o AutoCAD, e a programação seria feita na linguagem AutoLISP.

Interface Gráfica

Para que o projeto das peças seja efetuado de forma satisfatória no computador, inúmeros requisitos são necessários, dentre eles a existência de uma interface gráfica amigável. No presente trabalho, procurou-se explorar o máximo possível as ferramentas disponíveis no software AutoCAD para atingir este objetivo. Tais ferramentas são os ícones gráficos, e o uso do "mouse" na interação com o programa.

Alguns ícones gráficos são ilustrados na figura 4. Através destes ícones, o projetista tem completa visualização da "feature" que se deseja acrescentar ao desenho. Ao efetuar a escolha da "feature", aparecerá na tela uma janela referente aos atributos da "feature", a qual o projetista deverá preencher. Um exemplo desta janela, denominada "janela de diálogo", é ilustrado na figura 5.

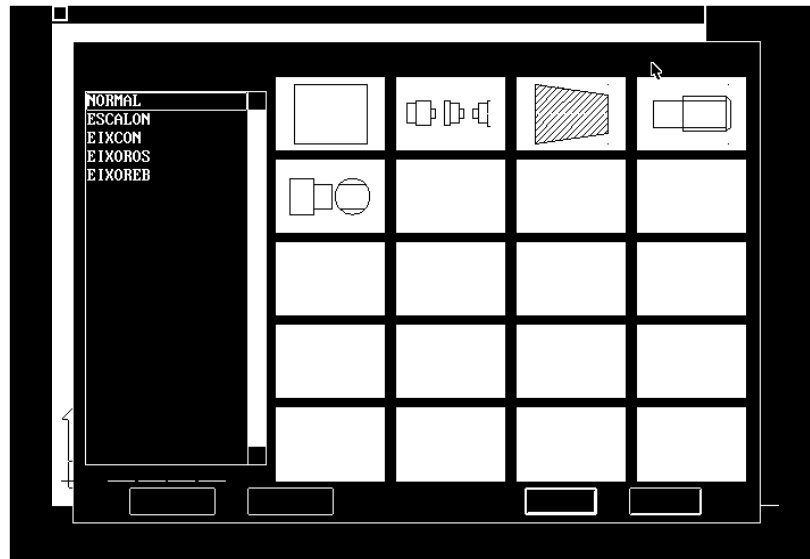


Figura 4: Ícones gráficos utilizados para a escolha de "features".

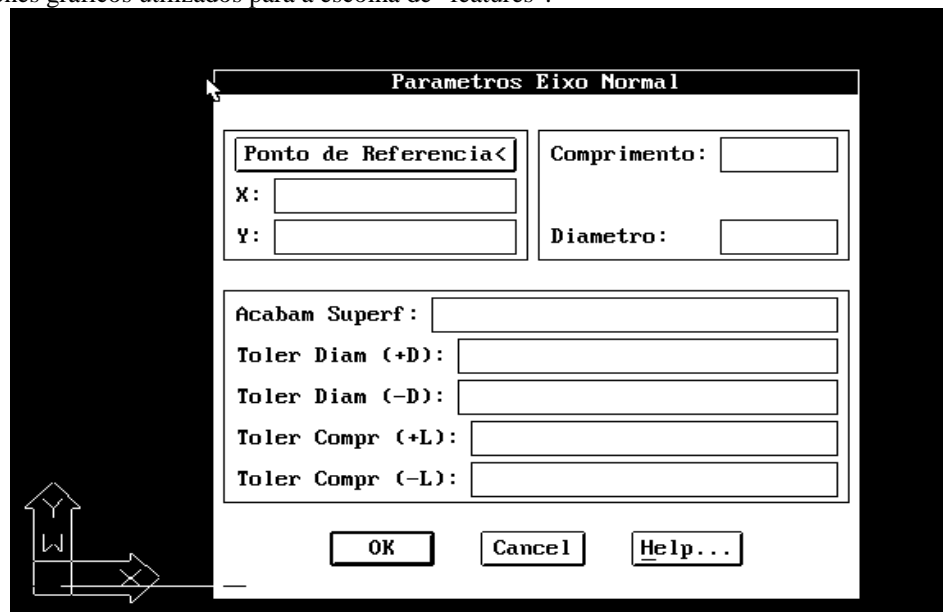


Figura 5: Janela de diálogo, onde é feita a entrada e/ou modificação de atributos de "features".

Criação da Peça

Para criar a peça, o projetista deverá aplicar a filosofia de "construção" da peça, em que os tijolos são as "features". O projetista poderá posicionar a primeira "feature" selecionada em qualquer posição no espaço de trabalho, enquanto que as "features" subseqüentes serão posicionadas em relação à "feature" anterior. Cada "feature" possui um "ponto de referência", que serve de referência para o posicionamento da "feature" no espaço, e também para relacionar a "feature" com outras "features". Na figura 3 é ilustrado o ponto de referência da "feature" furo passante axial excêntrico.

Durante a criação da peça, é possível que uma "feature" seja adicionada à peça com um ou mais atributos inconsistentes com as "features" anteriores. Por exemplo, um furo concêntrico axial pode ser adicionado com um diâmetro maior do que o eixo que o circunscreve, ou então uma superfície de referência de perpendicularismo pode ser escolhida, e a mesma não ser perpendicular à "feature". Devido a isso, no módulo CADD são incorporadas restrições geométricas a cada uma das "features", e quando pelo menos uma delas é violada, o software alerta o projetista deste fato, informando-o a natureza do alerta (p.ex. "diâmetro do furo > diâmetro do eixo. Entrar novo diâmetro do furo"). Esta técnica evita que sejam criadas peças inconsistentes, e que venham a atrasar o processo de projeto, e por conseguinte o de fabricação. Na figura 3 são ilustradas as restrições da "feature" furo passante axial excêntrico.

Exemplo de uma Peça Criada com o Módulo CADD

Na figura 6 ilustra-se o exemplo de uma peça criada utilizando-se o módulo CADD.

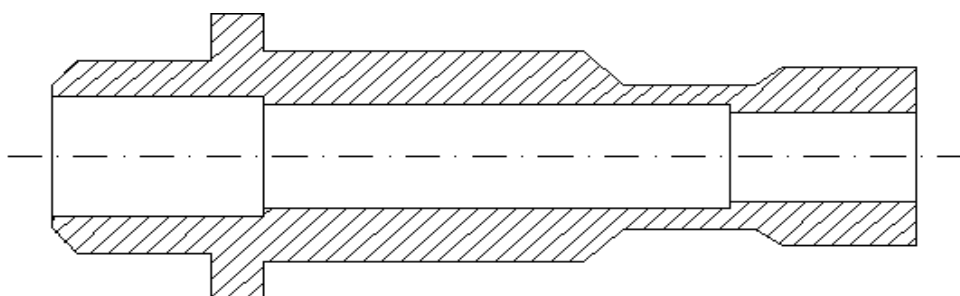


Figura 6: Exemplo de uma peça criada através do módulo CADD.

Conclusões

No presente artigo, foi apresentado o módulo CADD, que foi desenvolvido em cooperação com a empresa SLC. O software em sua atual implementação foi apresentado à SLC, e foi considerado satisfatório. Uma dificuldade na utilização do software, apontada pelos profissionais da SLC foi que eles não estão habituados a criar peças diretamente no computador utilizando "features".

Pode-se argumentar que o desenvolvimento de um software desde o início para uma aplicação específica, que é o caso do MSS, venha a inviabilizar a sua aplicação a outros tipos de problemas, como por exemplo: (a) outras células na SLC; (b) peças em outras empresas. Por um lado este argumento é correto, pois o presente trabalho propõe-se a resolver o problema de integração projeto → fabricação para peças de revolução fabricadas numa célula da SLC. Entretanto, a experiência adquirida neste desenvolvimento tem sido muito grande, e vislumbra-se no futuro levar em conta aspectos de portabilidade no desenvolvimento de cada um dos módulos do Sistema de Suporte à Manufatura. Além do mais, o trabalho de cooperação GRUCON - SLC tem por objetivo principal a integração projeto → fabricação para todas as peças usinadas na fábrica, e portanto o domínio de aplicação do software deverá ser maior que o proposto inicialmente.

O Sistema de Suporte à Manufatura ainda não se encontra operacional na SLC, uma vez que a maioria dos seus módulos ainda está sendo desenvolvida.

Referências

- Alting, L., Zhang, H. e Lenau, T., 1988, "XPLAN - An Expert Process Planning System and Its Further Development", em 27th International MATADOR Conference, UMIST, Reino Unido, 20-21 abril.
- Cutkosky, M.R. e Tenenbaum, J.M., 1987, "CAD/CAM Integration Through Concurrent Process and Product Design", em Intelligent Integrated Manufacturing Analysis and Synthesis, C.R. Liu, A. Requicha e S. Chandrasekar (eds.), ASME, Nova Iorque.
- Eversheim, W., Fuchs, H. e Zons K.H., 1980, "Automatic Process Planning with Regard to Production by Application of the System AUTAP for Control Problems", em Computer Graphics in Manufacturing Systems, 12th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Belgrado, Iugoslávia.
- Huang, H., 1988, "A Generative Process Planning System for Turned Components", Tese de Doutorado, UMIST, Manchester, Reino Unido.

- ISO TC184/WG3 N324 - T7, 1994, "ISO 10303 - Part 224 - Mechanical Product Definition for Process Planning Using Form Features", South Carolina, Estados Unidos, 27 junho.
- Jasthi, S.R.K. et al., 1994, "A Feature-Based Part Description System for Computer-Aided Process Planning", *Journal of Design and Manufacturing*, Vol 4, pp 67-80.
- Kanumury, M., Chang, T.C., "Process Planning in an Automated Manufacturing Environment", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol 10, No 1, pp 67-78.
- Korde, U.P., 1992, "Computer-Aided Process Planning For Turned Parts Using Fundamental and Heuristic Principles", *Journal of Engineering for Industry*, Vol 114, pp 31-40.
- van Houten, F.J.A.M., 1991, "A Computer Aided Process Planning System", Tese de Doutorado, University of Twente, Enschede, Holanda, maio.