



Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos

ISSN-0109-2569

**Desenvolvimento de um módulo de planejamento  
automático de operações para carcaças de  
redutores de velocidade  
(versão 1.0)**

**SOLANGE REZENDE RODRIGUES  
MAURI APARECIDO DE OLIVEIRA**

**Nº 22**

**RELATÓRIOS TÉCNICOS DO ICMSC**

**SÃO CARLOS  
Set. / 1994**

|             |        |
|-------------|--------|
| SYSNO       | 869059 |
| DATA        | / /    |
| ICMC - SBAB |        |

# **Desenvolvimento de um Módulo de Planejamento Automático de Operações para Carcaças de Redutores de Velocidade**

(Versão 1.0)

**Solange Rezende Rodrigues  
Mauri Aparecido de Oliveira**

Universidade de São Paulo  
Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos  
Departamento de Computação e Estatística  
e-mail: [solange@icmsc.sc.usp.br](mailto:solange@icmsc.sc.usp.br)

São Carlos  
Agosto de 1994

# Conteúdo

|          |                                                        |           |
|----------|--------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>                                      | <b>1</b>  |
| 1.1      | Localização . . . . .                                  | 1         |
| 1.2      | Objetivos . . . . .                                    | 3         |
| 1.3      | Organização do Trabalho Desenvolvido . . . . .         | 3         |
| <b>2</b> | <b>Atividades Desenvolvidas</b>                        | <b>3</b>  |
| 2.1      | Fase de Análise . . . . .                              | 4         |
| 2.2      | Fase de Especificação . . . . .                        | 4         |
| 2.3      | Fase de Projeto . . . . .                              | 6         |
| 2.3.1    | Aquisição de Conhecimento . . . . .                    | 6         |
| 2.3.2    | Estruturação e Representação do Conhecimento . . . . . | 12        |
| 2.3.3    | Modelagem da Base de Conhecimento . . . . .            | 14        |
| <b>3</b> | <b>Resultados Alcançados</b>                           | <b>15</b> |
| <b>4</b> | <b>Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros</b>   | <b>16</b> |

## Lista de Figuras

|   |                                                                                                |    |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Integração do Plano de Operações ao Plano de Processo. . . . .                                 | 2  |
| 2 | Exemplo de Carcaça de Redutor de Velocidade. . . . .                                           | 5  |
| 3 | Etapas de desenvolvimento do SBC para o Módulo Planejador de Operações. . . . .                | 7  |
| 4 | Componentes de uma Regra de Produção. . . . .                                                  | 11 |
| 5 | Representação de Classe, Objetos e Propriedades. . . . .                                       | 12 |
| 6 | Representação da Classe Furos e Sub-classes. . . . .                                           | 13 |
| 7 | Exemplo de Estratégia para Determinação da Sequência de Operações de Usinagem. . . . .         | 14 |
| 8 | Exemplo de Herança entre Classes. . . . .                                                      | 15 |
| 9 | Sequência de Operações para se Usinar Diversos Tipos de Furos numa Carcaça de Redutor. . . . . | 16 |

# 1 Introdução

## 1.1 Localização

O projeto a ser descrito encontra-se inserido no Projeto de Manufatura Integrada por Computador (CIM), em desenvolvimento no Laboratório de Máquinas Ferramentas (LAMA-FAE) e fomentado pelo RHAE, e visa contribuir com a capacitação tecnológica do Brasil em CIM, criando condições para que o LAMAFAE implante um centro CIM para a difusão de tal tecnologia, utilizando as instalações de uma Fábrica Integrada Modelo, atualmente em montagem.

Dentro do CIM, vários fatores fazem com que se procure implantar o Planejamento de Processo Assistido por Computador (CAPP Computer Aided Process Plainning), visando um aumento da produtividade das atividades a ele relacionadas. O CAPP deve incorporar os novos desenvolvimentos computacionais existentes, os quais possibilitem aplicações anteriormente inviáveis.

O Planejamento de Processo transforma as especificações de um produto em informações de processo, com os tempos e locais de trabalho para o planejamento de produção e instruções aos operadores do chão de fábrica, necessários para a usinagem de uma peça.

O CAPP trabalha com todo o processo de tomada de decisão envolvido nas especificações de uma peça para um ambiente de manufatura. O processista para elaborar um plano, além de sua própria experiência em manufatura, necessita de conhecimento específico sobre:

- análise dos parâmetros tecnológicos em desenho mecânico;
- máquinas disponíveis no chão de fábrica;
- capacidade dessas máquinas;
- ferramentas disponíveis;
- dispositivos disponíveis;
- instrumentos de medida, inspeção, etc.;
- grau de especialização dos operadores das máquinas; etc.

Na figura 1 pode ser observado como o plano de operações localiza-se dentro do planejamento de processo, o plano de operações apresenta informações da sequência de operações de usinagem que deve ser usada para obter o produto e junto com cada operação vem associada a forma de obtê-la (máquina, ferramenta, tempos, etc.).

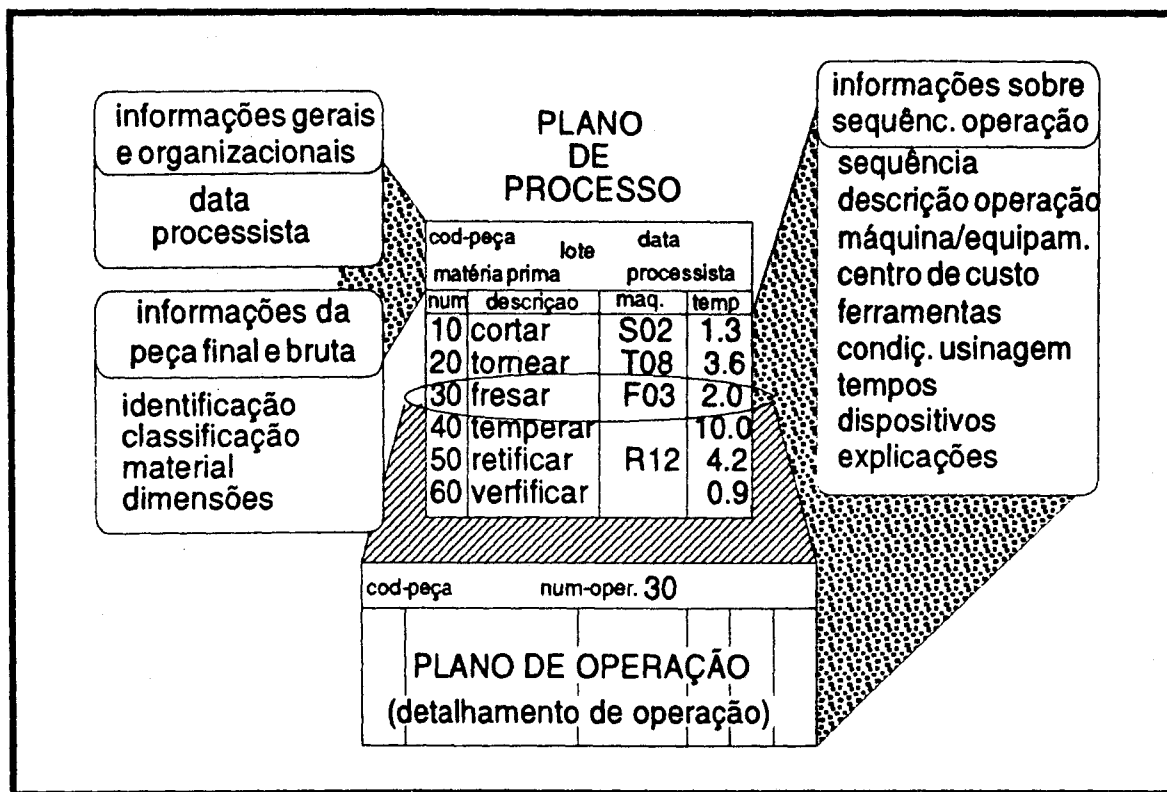


Figura 1: Integração do Plano de Operações ao Plano de Processo.

Basicamente, a classificação mais usual de sistemas CAPP utiliza o critério do método do planejamento, método variante ou generativo. No variante, o planejamento tem como base uma plano de processos existentes e é normalmente voltado para famílias de peças. Durante o planejamento, o processista efetua modificações na plano tomado como base, gerando dessa forma um novo plano.

No método generativo, parte-se da representação da peça e através de inferências automáticas e/ou interativas, especifica-se um novo plano de processo. No caso de um planejamento generativo, a representação das peças pode estar armazenada no computador, de uma forma interpretável ao sistema CAPP, quando ocorrem inferências automáticas. No caso de um planejamento generativo interativo, a representação da peça pode ser um desenho tradicional.

Dentro desta filosofia desenvolve-se módulos de Planejamento de Processo Assistido por Computador (CAPP) Baseado em Conhecimento para o planejamento do processo em domínios específicos e para funções específicas do planejamento.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo principal deste relatório técnico é mostrar o processo usado na construção de um Módulo de Planejamento de Operações para Carcaças de Redutores de Velocidade, baseado no método generativo automático utilizando-se técnicas de Inteligência Artificial. Este módulo será integrado em um ambiente de planejamento de processo.

## **1.3 Organização do Trabalho Desenvolvido**

As atividades envolvidas neste trabalho podem ser divididas em três etapas:

- Análise;
- Especificação;
- Projeto.

O trabalho realizado na fase de análise corresponde na determinação das necessidades reais de utilização de técnicas de Inteligência Artificial no CAPP, bem como na expressão dessas necessidades em termos da solução CAPP existente. Aqui foi definido qual o domínio de trabalho, ou seja o tipo de produto para o qual que construiria o CAPP, escolhendo-se assim as carcaças de redutores de velocidade como domínio.

A fase de especificação consiste na determinação dos métodos utilizados para projetar a solução, com ênfase na determinação e descrição das funções a serem automatizadas. Nesta fase delimitou-se o tipo específico de carcaça de redutor de velocidade para o qual foi criado o Módulo Planejador de Operações.

Na fase de projeto a preocupação está voltada para o desenvolvimento do módulo para planejar operações de usinagem. A primeira fase do projeto de construção do módulo planejador automático foi a Aquisição de Conhecimento (AC), ou seja, a extração da lógica utilizada pelo Especialista (neste caso um processista experiente em usinagem mecânica) na obtenção do plano de processo bem como, os parâmetros usados na definição de cada uma das funções e o processo de como trabalhar com este conjunto de informações.

## **2 Atividades Desenvolvidas**

O trabalho desenvolvido é constituído de diversas fases divididas da seguinte maneira: Fase de Análise, Especificação e Projeto.

A seguir são mostradas todas as atividades desenvolvidas neste trabalho.

## 2.1 Fase de Análise

A Fase de Análise é fundamental, pois nela delimita-se o domínio no qual se irá trabalhar definindo-se os pontos onde existe a necessidade da aplicação de Inteligência Artificial.

Aqui foram estudados todos os diversos tipos de redutores de velocidade que se encontram comercialmente, estes estudos foram realizados através de livros, "handbooks" e catálogos de fabricantes. Após a verificação dos tipos de redutores de velocidade encontrados no mercado optou-se por desenvolver um Módulo de Planejamento de Operações para carcaças de redutores de velocidade pertencentes a um domínio com as seguintes características:

- redutores para uma redução de velocidade (uma entrada e uma saída);
- carcaças para alojar dois eixos (eixo da coroa e eixo do pinhão);
- carcaças com quatro assentos de rolamentos;
- redutor com carcaça bipartida;
- carcaça produzida a partir de ferro fundido;

A figura 2 mostra um exemplo de carcaça de redutor de velocidade que apresenta as características do domínio escolhido para estudo.

## 2.2 Fase de Especificação

Nesta fase foram definidos todos os elementos necessários para descrever a carcaça. Ou seja, a preocupação principal é a criação de um plano com a sequência de operações de usinagem para os furos existentes na carcaça dos redutores de velocidade. Para descrever a carcaça foi utilizado o conceito de features<sup>1</sup>, onde cada furo representará um feature com características específicas. Portanto, nesta fase foram definidos todos os tipos de furos do domínio de carcaças escolhido. Assim foram definidos:

- Furos de localização: os furos de localização são os furos nos quais serão alojados os pinos que servirão de guias para o acoplamento da base e da tampa. Necessitam de tolerância e acabamento suficientes para que o ajuste das partes não tenham jogo, o que provocaria deformação nos assentos dos rolamentos. Os furos são considerados passantes tanto na base quanto na tampa da carcaça, não havendo possibilidade de mudança para furo não passante. Fazendo-se esta consideração tem-se maior facilidade de fabricação e de desmontagem da carcaça em caso posterior para manutenção.

---

<sup>1</sup>Regiões ou pontos de uma peça que possuem algum significado para a manufatura.

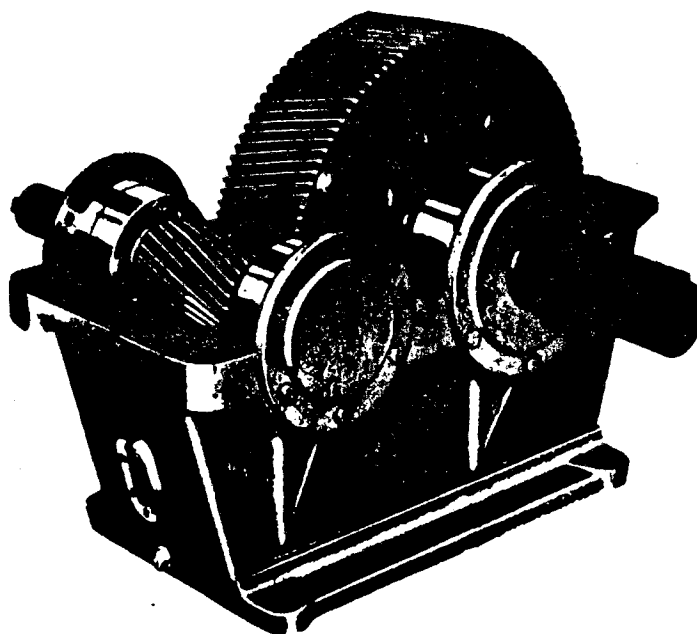


Figura 2: Exemplo de Carcaça de Redutor de Velocidade.

- **Furos de fixação:** Estes furos também são considerados passantes e não apresentarão rosca. São necessários para alojar os parafusos de fixação das duas partes da carcaça, os parafusos prenderão a tampa e a base por meio de porcas e arruelas de pressão. Os parâmetros tecnológicos para estes furos normalmente nem são especificados no desenho do produto (carcaça) visto que são furos normalmente obtidos apenas com furação por broca.
- **Furos com rosca:** Este tipo de furo será utilizado para alojar os parafusos que prendem as tampas dos rolamentos na carcaça e para colocação de uma argola com rosca na parte superior da tampa para facilitar o transporte da carcaça. A priori neste trabalho não são colocados bujões para esvaziar e carregar o redutor de óleo, caso isso seja feito haverá necessidade de furos com rosca para a fixação desses bujões. Também não é colocado visor verificação do óleo (nível, limpeza, etc.) do redutor, sendo que se isso fosse feito haveria novamente a necessidade de furos com rosca. Essa parte fica como sugestão para complementação do trabalho numa próxima etapa de detalhamentos.

- Furos dos rolamentos: Os furos que servirão de assento para os rolamentos já serão previamente fundidos na carcaça (base e tampa) necessitando apenas de operações posteriores para melhorar a dimensão, acabamento e desvios de posição. Isto é feito principalmente porque as dimensões desse tipo de furo são maiores, proporcionando economia de material e diminuição no tempo de usinagem.

## 2.3 Fase de Projeto

Após as fases de Análise e Especificação teve início a fase de Projeto, iniciando-se pela Aquisição de Conhecimento.

O trabalho de Aquisição de Conhecimento foi realizado utilizando as técnicas de Elicitação de Conhecimento, principalmente as entrevistas com especialistas da área de Planejamento de Processo. Buscando-se obter a lógica utilizada e os parâmetros de apoio na construção de planos de processo e o plano de operações.

Após a fase de aquisição de conhecimento foi realizada a etapa de implementação do conhecimento adquirido. Onde este conhecimento adquirido foi transformado em regras que foram implementadas na Base de Conhecimento do Módulo Planejador de Operações. Na figura 3 temos o esquema da sequência para desenvolver-se o Sistema Baseado em Conhecimento (SBC) para o Módulo Planejador de Operações.

Para a Aquisição de Conhecimento é baseada em consulta a "handbooks" e em métodos de Elicitação de Conhecimento<sup>2</sup> como:

- Entrevista Aberta e Focalizada;
- Análise de Casos;
- Análise de Protocolo, etc.

### 2.3.1 Aquisição de Conhecimento

A aquisição de conhecimento foi baseada em técnicas de elicitação de conhecimento tais como: entrevistas abertas, entrevistas focalizadas, etc.

A aquisição de conhecimento foi realizada em conjunto com os especialistas da área de fabricação mecânica que são chamados de processistas, foram realizadas **Entrevistas Abertas** nas quais os processistas fizeram uma descrição do que é o planejamento de operações. As entrevistas abertas serviram como um primeiro contato com os conceitos de fabricação necessários para se construir um plano de operações para carcaças de redutores de velocidade.

---

<sup>2</sup>O modelo que usa técnicas para extrair conhecimento de especialistas humanos é denominado Elicitação de Conhecimento.

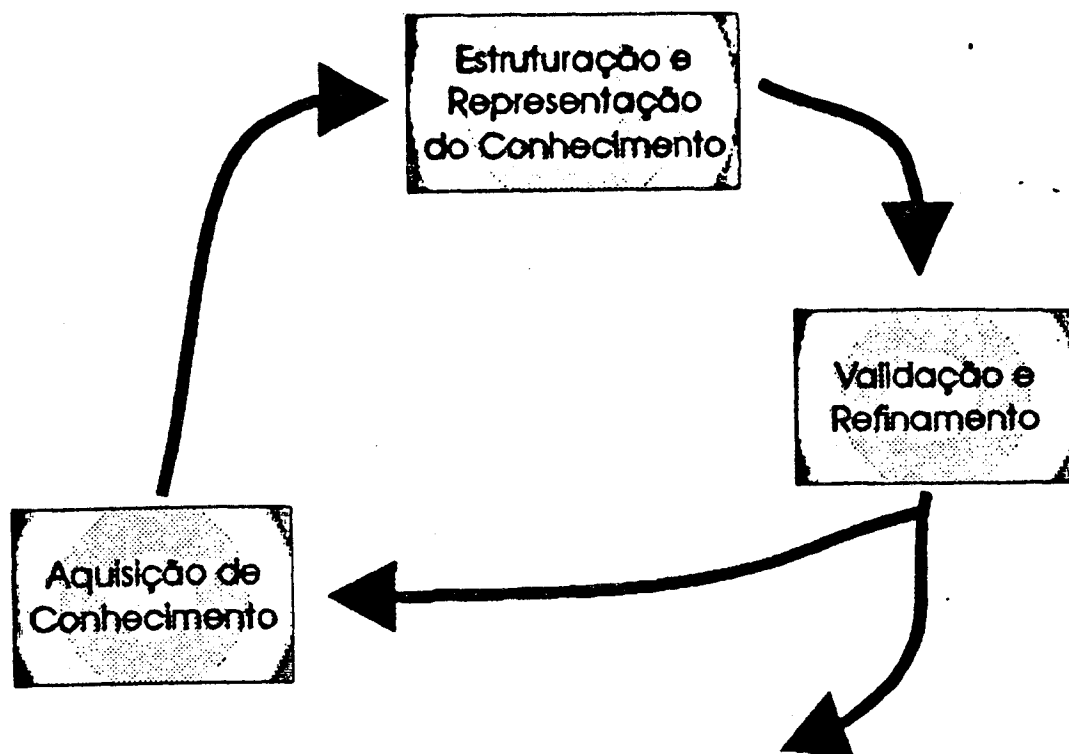


Figura 3: Etapas de desenvolvimento do SBC para o Módulo Planejador de Operações.

Na parte referente às **Entrevistas Focalizadas**, o interesse foi aprofundar-se em tópicos importantes de como o processista raciocina para a construção da sequência de operações de usinagem.

Na etapa de **Análise de Protocolo** foi observada a construção de diversos planos de operações questionando-se o processista do porquê eram tomadas certas decisões na construção desses planos. A ênfase deve ser dada ao que o processista, por isso esta fase de observação tem muita importância.

Apartir da Aquisição de Conhecimento foram determinados como fatores principais de análise os seguintes itens:

- operações de usinagem;
- parâmetros tecnológicos especificados;
- máquinas necessárias;
- ferramentas e dispositivos.

### **2.3.1.1 Operações de Usinagem**

Numa das etapas de aquisição de conhecimento foi analisado o raciocínio utilizado pelo processista na determinação das operações de usinagem necessárias para se fabricar os furos e os parâmetros envolvidos.

A escolha da operação de usinagem depende:

- Feature (ou seja, furo) que se quer obter - cada feature está relacionado com uma ou mais operações de usinagem para sua obtenção. Por exemplo, para se obter um furo para colocação de tampas para proteção de rolamento é necessário operações de furação e abertura de rosca.
- Parâmetros tecnológicos especificados em cada furo - os parâmetros utilizados são: rugosidade superficial, desvios de forma e posição e tolerâncias dimensionais. Através dessas especificações as operações podem ser divididas em suboperações denominadas desbaste e acabamento. No desbaste retira-se o máximo material possível, aproximando o furo da dimensão final porém com sobremetal suficiente para se dar o acabamento. O acabamento é utilizado para deixar a peça nas especificações pedidas no projeto.

Apartir do conhecimento extraído foram montadas diversas regras utilizadas no sistema para tomada de decisões como por exemplo a escolha de operações de usinagem.

As operações fundamentais que serão usadas para usinar os furos na carcaça são:

- furar
- alargar
- mandrilar
- rosquear

### **2.3.1.2 Parâmetros Especificados - Sequência de Máquinas**

Na determinação da sequência de máquinas que serão necessárias para usinar a peça o processista analisa diversos fatores que influem na escolha de uma máquina dentro das disponibilidades do chão de fábrica.

Através da aquisição de conhecimento do processista foi determinada a lógica utilizada por ele na escolha das máquinas, onde os principais fatores são:

- Tipo de peça, Rotacional ou Prismática - este tipo de análise utilizada pelo processista é fundamental para a escolha das máquinas que serão utilizadas nas primeiras operações de usinagem que darão a forma conveniente ao blank<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup>Material em bruto utilizado na usinagem.

- Dimensão da peça - o processista verifica através das dimensões especificadas no desenho se será possível ou não fixar o blank na máquina que executará usinagem.
- Parâmetros Tecnológicos - quanto menores as tolerâncias especificadas no projeto, melhores serão as máquinas escolhidas pelo processista. A lógica do processista fundamenta-se em que as operações desbaste servem para se retirar material do blank sem a preocupação de garantir tolerâncias muito apertadas, enquanto nas operações de acabamento o conjunto máquina-ferramenta-peça precisa ser rígido o bastante para que as especificações do projeto sejam alcançadas garantindo a funcionalidade do produto. As operações de desbaste também possuem critérios para sua realização, pois são estas operações que preparam as peças para as operações mais finas de acabamento. A escolha da máquina está completamente em função do conhecimento que o processista tem da capacidade das máquinas do chão de fábrica.
- Outros fatores tais como força, velocidade e potência de corte também são verificados pelo processista para se determinar se a máquina é capaz ou não de se executar a usinagem. No Módulo Planejador a verificação destes fatores se faz de modo interativo onde os dados da peça a ser usinada são fornecidos pelo usuário e então são realizados os cálculos necessários para se obter uma máquina capaz de realizar a usinagem.

A influência dos parâmetros tecnológicos para a determinação das operações segue os seguintes aspectos:

- Qualidade IT - Tolerância Dimensional:

Este tipo de tolerância é necessário para garantir principalmente o ajuste entre o anel externo do rolamento e o furo da carcaça, e ainda o ajuste do pino-guia e o furo. Os furos que servirão como alojamento para os parafusos de fixação entre carcaça e tampa e os que serão usados para fixar o redutor no solo não necessitam de grande precisão dimensional, bastando operações de furação para obtê-los. Os valores de qualidade IT comumente obtidos por cada um dos processos que serão empregados são mostrados abaixo:

| <i>Operação</i>             | <i>Qualidade IT</i> |
|-----------------------------|---------------------|
| Furação com brocas          | 10                  |
| Alargamento em desbaste     | 9—8                 |
| Alargamento em acabamento   | 7—6                 |
| Mandrilamento em desbaste   | 8—11                |
| Mandrilamento em acabamento | 6—7                 |

Quando a tolerância dimensional de um furo não vem expressa na forma de qualidade IT a outra forma de especificá-la é através de valores em milímetros, onde para cada processo tem-se os seguintes limites de tolerância que podem ser obtidos:

| <i>Operação</i> | <i>Tolerância Dimensional (mm)</i> |
|-----------------|------------------------------------|
| Furação         | 0,3—0,05                           |
| Alargamento     | 0,05—0,02                          |
| Mandrilamento   | 0,2—0,02                           |

- Rugosidade Superficial:

A rugosidade superficial será especificada nos furos para alojamento dos rolamentos e determinadas faces da carcaça do redutor que necessitem ser fresadas com alguma precisão. A escala de rugosidade adotada é a aritmética ( $R_a$ ) medida em micrometros. Os valores normalmente obtidos são:

| <i>Operação</i> | <i>Rugosidade (<math>R_a</math>)</i> |
|-----------------|--------------------------------------|
| Furação         | 6,3—1,3                              |
| Alargamento     | 3,2—0,8                              |
| Mandrilamento   | 6,3—0,4                              |

- Desvios de Forma e Posição

Os desvios serão usados para garantir o posicionamento dos furos e para que as superfícies acopladas permitam a montagem de todos os acessórios dentro de parâmetros estabelecidos favorecendo o funcionamento correto do equipamento. Para garantir qualidade na montagem existe um conjunto de tolerâncias para desvios de forma e posição que devem ser especificados no desenho da carcaça. A obtenção dessas tolerâncias, depende porém, da capacidade das máquinas que se esteja usando. Os desvios mais comumente usados em projetos de carcaças de redutores de velocidade são dados abaixo:

- circularidade ;
- cilindricidade ;
- paralelismo ;
- perpendicularismo ;
- posição ;
- concentricidade e coaxialidade ;
- planicidade.

O processista através de sua experiência consegue avaliar uma grande quantidade de variáveis quando está escolhendo uma máquina. No sistema que está sendo desenvolvido a escolha de uma determinada máquina é realizada através de uma comparação entre os

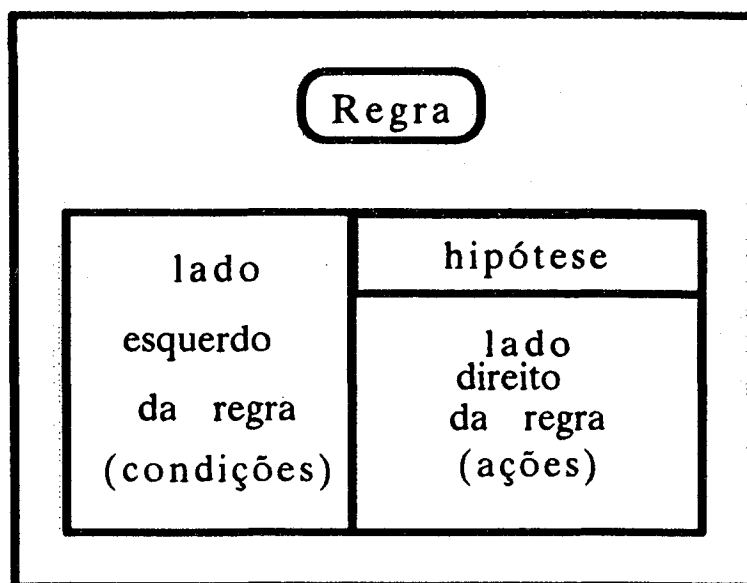


Figura 4: Componentes de uma Regra de Produção.

dados adquiridos com relação aos tipos de furo e suas especificações e os dados da máquina capaz de realizar a operação.

#### 2.3.1.3 Máquinas e Ferramentas de Usinagem

As máquinas para se realizar a usinagem de carcaças de redutores de velocidade, são mostradas no conjunto abaixo. Estas máquinas realizam as operações fundamentais, ou seja operações imprescindíveis para fabricação do produto:

- fresadora vertical ;
- furadeira de coluna ;
- fresadora CNC ;
- furadeira revólver ;
- furadeira multipla ;
- mandriladora.

As ferramentas que serão usadas para se executar as diversas operações são estabelecidas a seguir:

##### 1. fresar em desbaste e acabamento:

- cabeçote para fresar ;

- pastilhas de metal duro classe K10.
2. furar: brocas de aço rápido (HSS)
  3. alargar: alargador de aço rápido (HSS)
  4. rosquear: macho (HSS)
  5. mandrilar em desbaste e acabamento:
    - suporte ;
    - pastilha de metal duro classe K10.

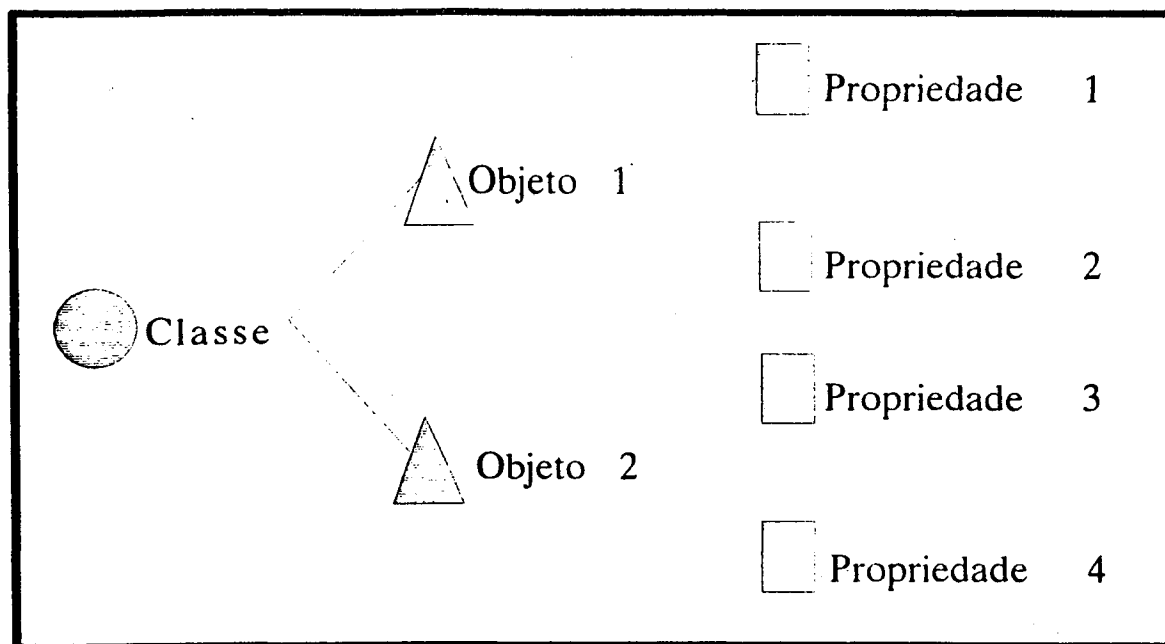


Figura 5: Representação de Classe, Objetos e Propriedades.

### 2.3.2 Estruturação e Representação do Conhecimento

Para a implementação foi necessário a **estruturação do conhecimento**, ou seja o conhecimento adquirido foi expresso na forma de regras utilizando todos os elementos (parâmetros tecnológicos, geométricos, etc.) que servem para definir a carcaça de redutor de velocidade.

O formato das regras de produção que são implementadas apresenta o aspecto mostrado na figura 4, onde tem-se todas as condições necessárias para se verificar uma determinada hipótese, verificada a hipótese tem-se a sequência de ações atribuídas a ela. Na estruturação do conhecimento foi realizado um estudo para definir os elementos que seriam utilizados para a implementação do Módulo Planejador. Essa etapa constituiu-se

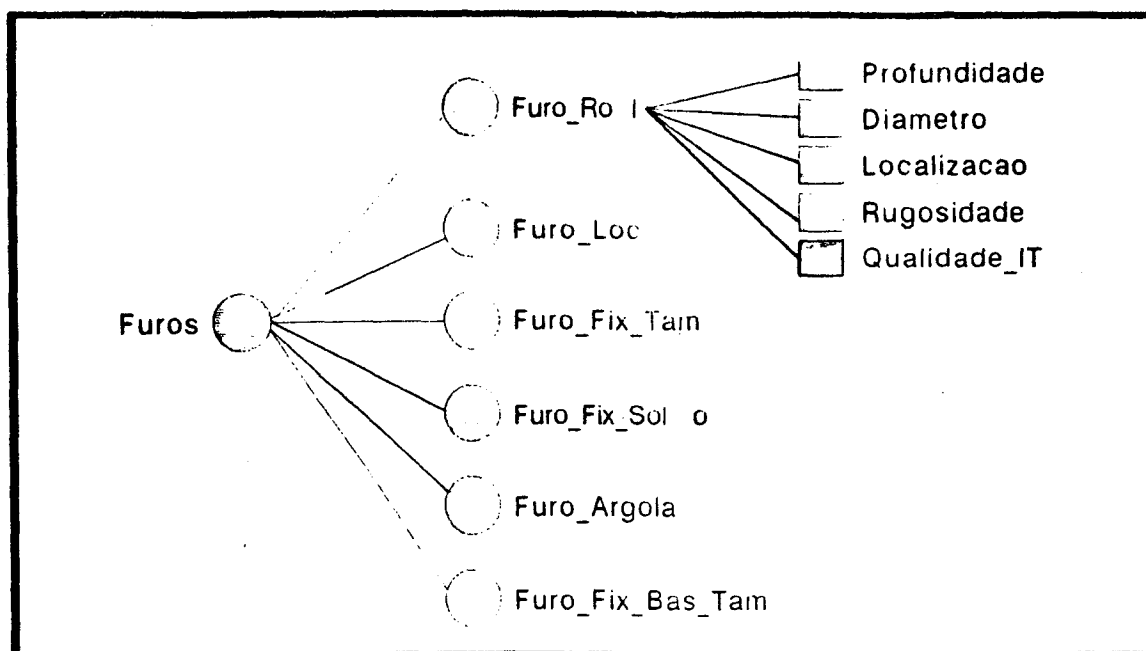


Figura 6: Representação da Classe Furos e Sub-classes.

no modelamento das funções, ver figura 5, do planejamento de operações, ou seja foram definidas classes, subclasses, objetos e propriedades necessários para descrição do produto e obtenção das relações que estes objetos apresentam entre si.

Uma outra etapa da fase de projeto foi a parte de **representação do conhecimento**, que constituiu-se no trabalho de implmentação do conhecimento estruturado. Para esta implementação foi necessário o uso de uma ferramenta que possibilitou a construção da Base de Conhecimento com todas as possíveis relações que os elementos dessa base podem apresentar. A ferramenta utilizada foi a shell NEXPERT Object. Essa shell dispõe de uma interface que facilita a construção do SBC através de: editores de regras, classes, objetos, visualização da rede regras, rede de objetos, etc. E ainda permite a construção de uma interface do sistema com o usuário final.

As regras implementadas na NEXPERT tem o formato SE...ENTÃO...SENÃO. Estas regras foram construídas apartir do conhecimento adquirido na fase anterior dos especialistas em fabricação mecânica (processistas) e em função dos parâmetros tecnológicos que podem ser especificados para cada tipo de furo da carcaça do redutor de velocidade. A figura 6 mostra a classe dos furos com uma série de sub-classes, ou seja todos os tipos de furos que podem aparecer na carcaça do redutor de velocidade pertencem a *classe furos*, na figura tem-se, como exemplo, propriedades associadas a uma determinada sub-classe.

Como finalização da fase de projeto tem-se a **validação do conhecimento**, esta validação está sendo realizada utilizando-se projetos de redutores de velocidade comparando-se os resultados dos planos de operações reais com os planos fornecidos pelo Módulo Planejador de Operações.

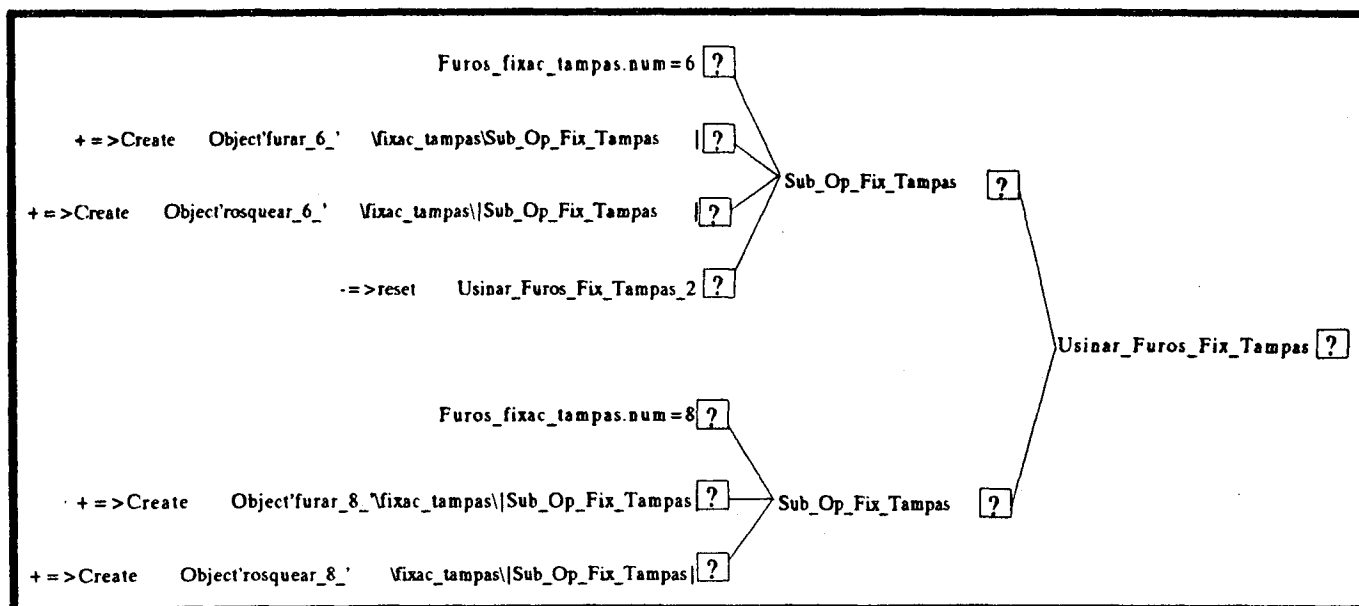


Figura 7: Exemplo de Estratégia para Determinação da Sequência de Operações de Usinagem.

### 2.3.3 Modelagem da Base de Conhecimento

As Bases de Conhecimento são as entidades componentes de um SBC (Sistema Baseado em Conhecimento) que armazenam o conhecimento sobre o domínio de problema que se quer resolver. Tal conhecimento envolve as estruturas que representam a modelagem do problema, as regras e inerentes a estas podem estar armazenadas heurísticas e métodos empregados na resolução de problemas. Na figura 7, para determinar-se qual a sequência de suboperações para se usinar os furos de fixação das tampas dos rolamentos, deve-se verificar qual o número de furos que cada tampa possuirá nesse caso 6 ou 8 furos. Assim, em função do número de furos são criados os objetos da sub-classe *Sub-Op-Fix-Tampas* que pertence a classe *Usinar-Furos-Fix-Tampas* definindo-se dessa forma a sequência de operações para cada caso.

Para a modelagem dos elementos envolvidos na representação do conhecimento do sistema, utilizou-se conceitos de Orientação a Objetos (OO) através da representação de *classes-objetos-propriedades* da NEXPERT. Um importante aspecto de BCs modeladas usando o conceito de OO é a *Economia de Representação*. Ela consiste em armazenar eficientemente procedimentos e instanciá-los sempre que necessários. Um importante mecanismo que contribui para a economia de representação é a *herança*, que expressa a similaridade entre classes e simplifica as definições de classes iguais a outras que já foram definidas. Na figura 8, tem-se que as propriedades da classe Furos especificadas por: Diam, Localização, Profundidade, *Qualidade-IT* e Tolerancia são herdadas por todas as subclasses. A *herança* representa generalização e especialização tornando explícitas propriedades comuns em uma hierarquia de classes.

Através dos mecanismos de herança é possível caracterizar elementos (como objetos e

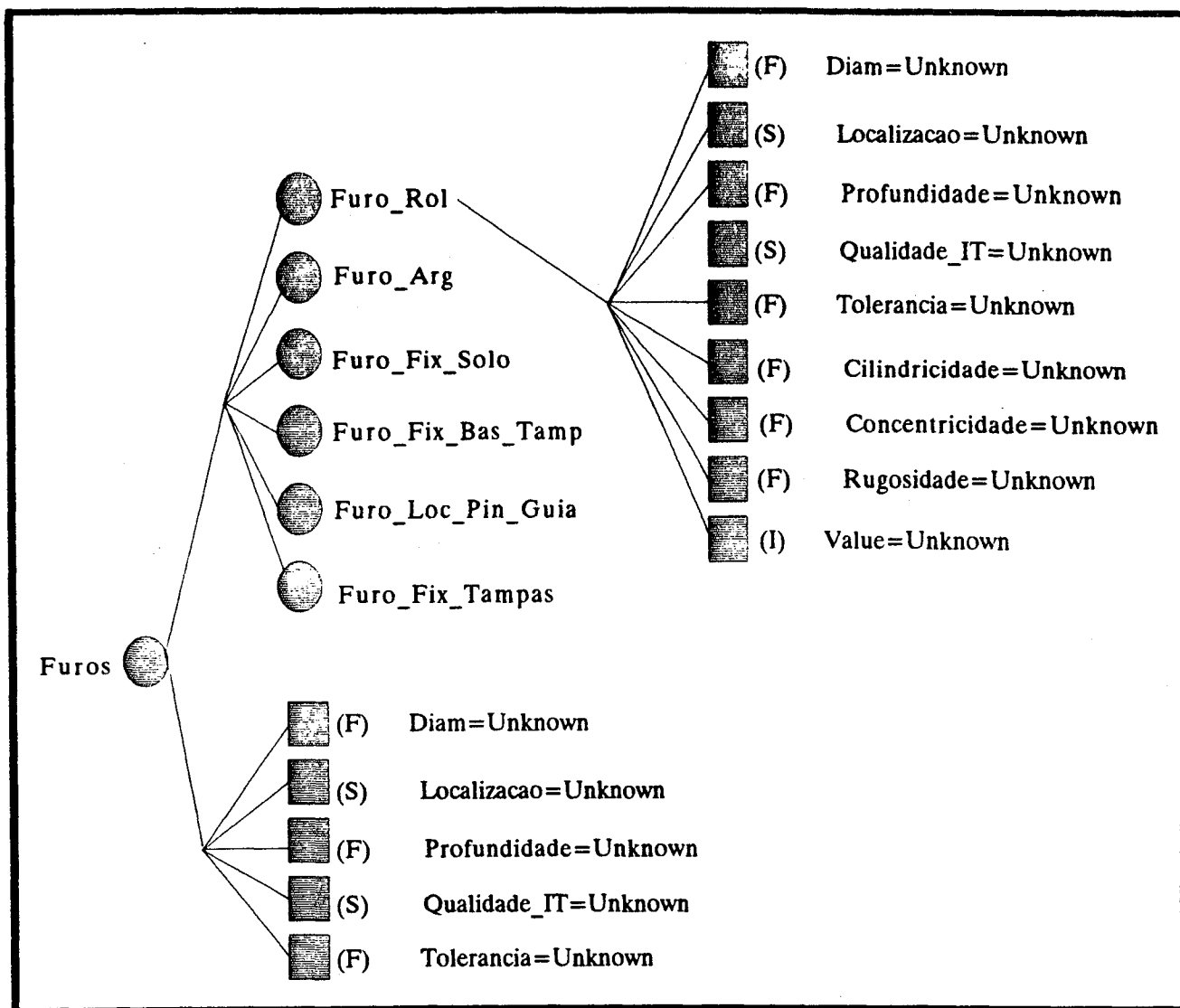


Figura 8: Exemplo de Herança entre Classes.

subclasses) com as mesmas propriedades das classes ou objetos acima e/ou abaixo da hierarquia das classes. Como resultado final da implementação tem-se a sequência de operações de usinagem para furos de carcaça mostrado na figura 9, onde estão definidos os elementos que serão gerados apartir de cada operação.

### 3 Resultados Alcançados

Todas as regras montadas apartir da Aquisição de Conhecimento para determinação de operações foram implementadas no Módulo de Planejamento Automático que encontra-se em fase final de desenvolvimento. Para implementação das regras está sendo utilizada o shell Nexpert Object. As regras para obtenção das operações de usinagem para os diversos

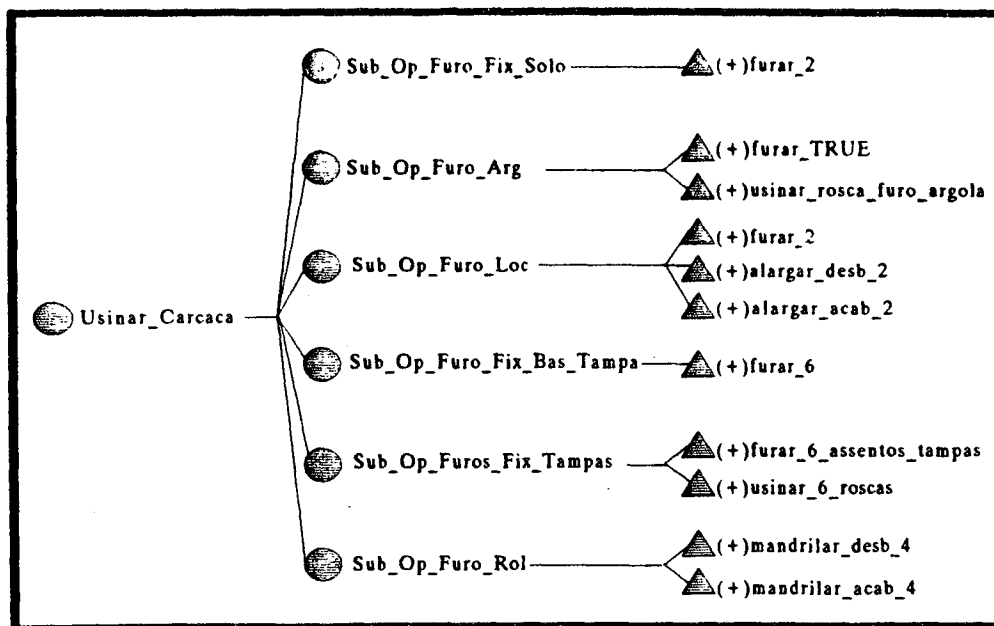


Figura 9: Sequência de Operações para se Usinar Diversos Tipos de Furos numa Carcaça de Redutor.

tipos de furos da carcaça de redutores e as regras para escolha do número de cada tipo de furo estão sendo testadas e encontram-se em fase de complementação e refinamento.

## 4 Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

É importante lembrar que a construção de um Sistema Baseado em Conhecimento para o planejamento automático do processo é viável para onde se deseja um elevado grau de automação.

Por este motivo foi escolhido um domínio restrito para se obter o conjunto de operações de usinagem para construir o planejador automático. Mesmo para um domínio específico a aquisição de conhecimento é uma das fases mais difíceis. Muitas vezes o especialista não consegue explicar as heurísticas usadas para resolver os problemas do seu domínio.

Como sugestão de trabalho é interessante estudar uma metodologia para aquisição de conhecimento que seja adequada a problemas de planejamento e testá-las para outros domínios de peças.

## Referências

- [Agostinho 81] Agostinho, O.L.; Rodrigues, A. C. S; Lirani, J. *Tolerâncias, Ajustes Desvios e Análise de Dimensões* Edgard Blucher LTDA., 1985.
- [Agostinho 78] Agostinho, O.L.; Rodrigues, A. C. S; Lirani, J. *Princípios de Engenharia de Fabricação Mecânica - Processos de Fabricação* Publicações da Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 1978.
- [Barreiro 85] Barreiro, J. A., *Tratamientos Termicos de los Aceros*.
- [Chang 85] CHANG, T.C; WYSK, R.A., *An Introduction to Automated Process Planning Systems*, Prentice-Hall, 1985.
- [Micheletti 79] Micheletti, ; *Tecnologia Mecânica 2, LE Machine Utensile*, 1979.
- [Ferraresi 77] Ferraresi, D. *Fundamentos de Usinagem dos Metais*. Edgard Blucher LTDA., 1977.
- [Oliveira 84] Oliveira, J.F.G *Principais Normas Brasileiras Relativas Metrologia Industrial (TB-35, NB-86, NB-172, P-NB-273)*. Publicações da Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 1978.
- [Phipps 85] PHIPLIPS, R.H.; MOULEESWARAN. *A Knowledge-based Approach to Generative Process Planning. CAPP from Design to Production*. Michigan: Society of Manufacturing Engineers, pp.242-256, 1985.
- [Rodrigues 93a] Rodrigues, S.R.; Rozenfeld, H.; Monard, M.C. *A Feature Based Design Interface for a CAPP Environment*. Anales del Primer Congreso International de Informatica, Computation y Teleinformatica, Informatica'93, Mendoza, Argentina, pp 33-42, Junho 1993.
- [Rodrigues 93b] Rodrigues, S.R.; Oliveira, M.A. *Aquisição de Conhecimento para Eixos de Redutores*. Relatórios Técnicos ICMSC-USP, N° 15, Novembro 1993.
- [Rodrigues 93c] Rodrigues, S.R.; *Criação e Aplicação de Módulos Automáticos de Planejamento de Processo Assistido por Computador em Soluções Híbridas de Planejamento*. Tese de Doutorado, EESC-USP, Dezembro 1993.
- [Wang 91] Wang, H.; Li, J. K. *Computer-Aided Process Planning*, Advances in Industrial Engineering, 1991.
- [Maq Ferr Brasileiras] Máquinas-Ferramentas Brasileiras, Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos, Sindicato Interestadual da Indústria de Máquinas