

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

**Geração e Recuperação da Sequência de Operações
para o Roteiro de Fabricação.**

Publicação FEM 28/94

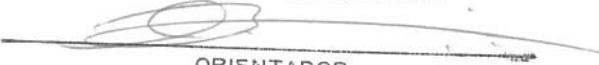
Eng. Marcelo Luiz Gomes n/g 586

Orientador : Prof. Dr. Antônio Batocchio t

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL
DA TESE DEFENDIDA POR MARCELO LUIZ
GOMES E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 01/07/94.

Julho - 1994


ORIENTADOR

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Tese de : Mestrado

**Título da Tese : "Geração e Recuperação da Seqüência de Operações
para o Roteiro de Fabricação".**

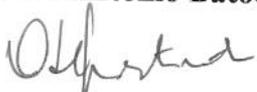
Autor : Eng. Marcelo Luiz Gomes

Orientador : Prof. Dr. Antônio Batocchio

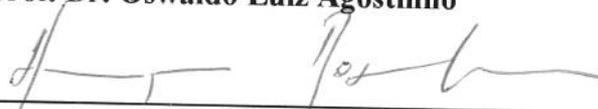
Aprovado por :



Prof. Dr. Antônio Batocchio



Prof. Dr. Oswaldo Luiz Agostinho



Prof. Dr. Henrique Rozenfeld

Campinas, 01 de julho 1994.

À Dorinha Gomes Pardal, minha grande e verdadeira amiga

AGRADECIMENTOS

- A meus pais, pelo apoio irrestrito e total incentivo.
- A Luciana Bernardo Miotto pelos serviços profissionais de digitação, revisão ortográfica e a constante companhia.
- A Luís Fernando Fonseca Silveira pelos serviços profissionais de revisão ortográfica e gramatical.
- A Ester Duclos pelos serviços de tradução e versão.
- À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP - pela bolsa de mestrado e auxílios viagem recebidos.

SUMÁRIO

	Dedicatória	i
	Agradecimentos	ii
	Sumário	iii
	Lista de Figuras	vi
	Lista de Tabelas	vii
	Siglas & Glossário	viii
	Resumo	x
	Abstract	xi
CAPÍTULO 1 : Introdução		
1.1	Contexto da Manufatura	01
1.2	Justificativas	03
1.3	Objetivo	04
1.4	Conteúdo deste Trabalho	05
CAPÍTULO 2 : Tecnologia de Grupo e CAPP		
2.1	Introdução	07
2.2	Tecnologia de Grupo	
2.2.1	Generalidades	08
2.2.2	Princípios Básicos de um Sist. de Classificação e Codificação	09
2.2.3	A Filosofia da Tecnologia de Grupo	11
2.2.4	Comentários	17
2.3	<i>Computer Aided Process Planning - CAPP</i>	
2.3.1	Aspectos Conceituais do Planejamento do Processo	17
2.3.2	CAPP Variante	22
2.3.3	CAPP Generativo	24
2.3.4	CAPP Mistos	28

2.4	A Empresa Modelo de Manufatura Integrada	30
2.4.1	Cenários da EMMI	31
2.5	Comentários	33
CAPÍTULO 3 : O Sistema Desenvolvido		
3.1	Introdução	34
3.2	A Abordagem Proposta	35
3.3	Os Recursos de <i>Hardware</i> e <i>Software</i> Requeridos	36
3.4	O Sistema Global do CAPP	39
3.5	Um Sistema Proposto de CAPP Variante	40
3.5.1	Interface com o Módulo Codificador	41
3.5.2	Lógica de Funcionamento	41
3.5.3	A Pesquisa e Recuperação Usando Princípios de T.G.	42
3.5.4	O Inferenciador	47
3.6.	Comentários	55
CAPÍTULO 4 : Interface Gráfica e um Aplicativo		
4.1	Introdução	56
4.2	O Gerenciador de Interface Gráfica <i>Sunview</i>	57
4.3	Um Exemplo de Aplicação	66
4.4	Interface com as Bases de Dados de Detalhamento	70
CAPÍTULO 5 : Conclusões e Trabalhos Futuros		
5.1	Conclusões	73
5.2	Sugestões para Novos Trabalhos	75

BIBLIOGRAFIA

Referências Bibliográficas 76

Material Consultado 79

APÊNDICE A

81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 : Influência dos Fatores Externos na Dinâmica Empresarial	03
Figura 2.1 : Similaridade de Peças, Baseado em Processos de Manufatura	10
Figura 2.2 : Forma de Componentes, Similaridade de Projeto	13
Figura 2.3 : Planos Distintos, Similaridades no Planejamento de Processo	13
Figura 2.4 : Bases de Conhecimento para as Funções de CAPP	20
Figura 2.5 : Arquitetura de KBES	25
Figura 2.6 : Árvore de Decisão	26
Figura 2.7 : Esquema Representativo do Cenário 3 da EMMI	32
Figura 3.1 : Esquema Representativo do Sistema Proposto	41
Figura 3.2 : Lista Ligada de Estruturas para o Plano de Processo	44
Figura 3.3 : Estrutura da Hierarquia dos Diretórios de Pesquisa	45
Figura 3.4 : Estrutura de Arquivo Plano de Processo Atributo↔Valor	47
Figura 3.5 : Visão Geral do Projeto do Módulo de Seqüência de Operações	52
Figura 3.6 : Trecho do Código Executável para o Inferenciador Eixos	53
Figura 3.7 : Trecho do Código Executável para o Inferenciador Engrenagens	54
Figura 4.1 : Esquema Representativo da Hierarquia de Objetos	58
Figura 4.2 : Hierarquia dos Objetos da Biblioteca Sunview	60
Figura 4.3 : Estado Inicial da Interface de Planejamento	61
Figura 4.4 : Interface Gráfica do Módulo CAPP com as Janelas Ativadas	64
Figura 4.5 : Fragmentos de Codificação, Definição de Interface Gráfica	65
Figura 4.6 : Eixo Exemplo	66
Figura 4.7 : Arquivo de Plano de Processo na Base de Dados de Famílias	69
Figura 4.8 : Esboço de um Trecho da Folha de Processo	70
Figura 4.9 : Algoritmo para Interface com Base de Dados de Máquinas	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 : Informações do Plano de Processo	19
Tabela 2.2 : Tabela de Decisão	27
Tabela 2.3 : Níveis Possíveis de Automação para um CAPP	29
Tabela 3.1 : Benefícios da Aplicação de T.G. em Sistemas de CAPP	33
Tabela 3.2 : Seqüência de Operações Usada pelo Inferenciador de Eixos	49
Tabela 3.3 : Seqüência de Operações Usada pelo Inferenciador de Cubos	50
Tabela 3.4 : Seqüência de Operações Usada pelo Inferenciador de Capas	50
Tabela 3.5 : Seqüência de Operações Usada pelo Inferenciador de Engrenagens	51
Tabela 4.1 : Arquivo inprocess.txt ; Seqüência de Operações Sugerida pelo inferenciador de Eixos	67
Tabela 4.2 : Seqüência de Operações Revisada pelo Planejador	68
Tabela 4.3 : Levantamento do Banco de Dados de Máquinas Ferramentas	72

SIGLAS & GLOSSÁRIO

ABC	Activity Based Cost Custo Baseado em Atividades
AFP	Análise de Fluxo da Produção
CAD	Compter Aided Designer Projeto Auxiliado por Computador
CAE	Computer Aided Engeneering Engenharia Auxiliada por Computador
CAM	Computer Aided Manufacturing Manufatura Auxiliada por Computador
CAPP	Computer Aided Process Planning Planejamento de Processo Auxiliado por Computador
CEP	Controle Estatístico da Produção
CIM	Computer Integrated Manufacturing Manufatura Integrada por Computador
CN	Controle Numérico
EMMI	Empresa Modelo de Manufatura Integrada
EUA	Estados Unidos da America
GT	Group Technology Tecnologia de Grupo
KBES	Kwnology Based Expert System Sistema Especialista Baseado em Conhecimento
MRP	Material Requeriment Planning Planejamento de Material Requerido
PCP	Planning Control Production Planejamento e Controle da Produção
RAM	Randomic Access Memory Memória de Acesso Aleatório

SCC	Classification Codification System Sistema de Classificação e Codificação
SME	Society of Manufacturing Engeneering Sociedade de Engenharia de Fabricação
UNIX	Sistema Operacional para Estações de Trabalho
Array	Lista de Elementos
Best-sellers	Melhores Programas
DOS	Sistema Operacional para Micros Computadores
Frames	Quadros de Exposição Suporte - Tipo de Janela
High light	Marcados Através de Mudança de Tomalidade
INGREES	Base de Dados Relacional Comercial
Lay-out	Organização, Distribuição
Mainframes	Computadores de Grande Porte
Master	Principal, usado como padrão
Notifier	Notificador
Part Number	Número da Peça
Procedures	Funções dentro do Sistema
Set-up	Preparação de Máquina
Sunview	Sistema Gerenciador de Interface Gráfica
Window	Janela de Manipulação de Dados
Workstation	Estação de Trabalho

RESUMO

Nos últimos anos, o ambiente da manufatura mundial vem sofrendo modificações radicais. O crescimento tecnológico acelerado vem elevando consideravelmente a diversificação dos itens produzidos pelas indústrias de manufatura, com especial enfoque no ramo metal-mecânico. Para melhorar a qualidade e/ou reduzir custos, na tentativa de se buscar novos mercados, ou manter os já conquistados frente a uma concorrência cada vez mais acirrada, engenheiros de fabricação e gerentes são levados a repensarem suas organizações, buscando aperfeiçoamento, eficiência e racionalização de sua produção. Isto é particularmente acentuado no Brasil atual, devido à abertura ao mercado internacional após novembro de 1992.

Para estas empresas se manterem no mercado com competitividade de custos e qualidade, novas técnicas gerenciais para o planejamento de processo e de produção de lotes de pequenos e médios volumes devem ser adotadas. Uma tentativa, ainda tímida nas indústrias brasileiras, para contornar tais dificuldades na área de manufatura, consiste na utilização da automação ligada aos princípios de tecnologia de grupo; obtendo-se vantagens econômicas das similaridades geométricas e/ou de processos de peças fabricadas neste ambiente de produção.

Com a proliferação de planos de processo na realidade industrial, empresas vêm sofrendo com a falta de planejadores experientes, profissional em falta no mercado. Este fato incentiva a pesquisa em técnicas que auxiliem tais profissionais em sua árdua tarefa, evitando a duplicidade de planos e ferramental, agilizando a função, dando consistência, padronização e completeza aos planos.

Este trabalho tem por objetivo apresentar técnicas utilizadas para a amenização dos problemas gerados pela alteração nos ambientes de produção e introduzir um modo sistemático de geração de planos de processo aplicado à manufatura de peças rotacionais, dentro da realidade brasileira. O sistema é desenvolvido com o uso de linguagem C de programação tendo o UNIX como sistema operacional, *workstation* como plataforma de *hardware* e usando a biblioteca *Sunview* para o interfaceador gráfico.

Através da aplicação de tecnologia de grupo na recuperação de planos existentes, e uso de um inferenciador para a automatização das macro funções do planejamento de processo, para os novos planos, proporciona-se rapidez, padronização e consistência ao plano de processo. Desta maneira a experiência do planejador é armazenada na forma de uma base de dados.

ABSTRACT

The world manufacturing situation have been enduring radical changes. The accelerating technological growth have significantly enlarged the variety of items created by manufacturing industries and specials focus have been given to the mechanical-metal field. In order to enhance the quality and/or reduce costs on a attempt to search a new market or to keep those already conquered at an increasingly strenuous competition; what become particularly true in Brazil after the opening to the international market in 1992, When manufacturing engineers and managers were compelled to remode there organizations in search of enhancement, efficiency and a more rational production.

So to maintain the market by competitive costs and quality new managing techniques for process planning and for production for medium and small batches have being adopted by those enterprise. One timid attempt - by brazilians industries - to overcome the difficulties in manufacturing consists of utilizing the automation associated with group technology principles. This approach have yielded economical advantages from the geometrical and/or the process similarities in manufacturing parts of medium and small volumes.

As the proliferation of the use of process planning takes place in a new industrial reality the enterprises are experiencing the lack of proficient trained planners which are meager in the market. This fact estimulates the research of new techniques that may help these professionals on their hard duty in avoiding duplicity of plans and tools therefore streamlining the functions bestowing the plans consistence, more standardization and completeness.

This work intends to present techniques employed to soften the problems generated by the changes in the environment of production. It is also meant to present a systematic way of generating process plans applied to the manufacture of turning components within the Brazilian present situation. The system is developed by using C language having UNIX as operational system; workstation as hardware platform and using Sunview libraries as graphic interfacier.

Through the application of group technology (G.T.) to retrieve existing plans and the usage of an inference processor to automate the macro planning functions in order to prepare new plans, it is possible to achieve higher speed, standardization and consistency in the process storing the planner's experience in a data base.

1.1 - Contexto da manufatura

A administração da produção nos sistemas de manufatura tradicionais organiza-se pela especialização de tarefas, controladas por estudos de tempo e movimento. Deste modo, operários são especializados em determinadas operações muito específicas. Isto é possível e traz até bons resultados para a produção em massa com volume de lotes altos e vida longa dos produtos, quando se pode ter máquinas e operários dedicados permanentemente a um produto por ano, sendo que esta era a realidade vivida pela indústria metal-mecânica mundial até meados da década de 70. O crescimento contínuo do mercado, no pós-guerra, impunha a produção em grande escala, com padrões de qualidade e custo pouco questionáveis, e condições de trabalho relegadas a importância secundária (LORINI, 1993).

Entretanto, nos últimos anos, o ambiente da manufatura mundial vem sofrendo modificações radicais. O crescimento tecnológico acelerado vem elevando consideravelmente a diversificação dos itens produzidos pelas indústrias de manufatura, com especial enfoque no ramo metal-mecânico. Para melhorar a qualidade e/ou reduzir custos, na tentativa de se buscar novos mercados ou se manter os já conquistados frente a uma concorrência cada vez mais acirrada, principalmente no Brasil após a abertura do mercado internacional no final de 1992, engenheiros de fabricação e gerentes são levados a repensarem suas organizações, buscando aperfeiçoamento, eficiência e racionalização de sua produção.

A habilidade para competir e ter sucesso depende, cada vez mais, de uma adaptação contínua e antecipada à influências externas. Estas influências estão relacionadas às áreas de mercado, ciência, sociedade e política. Na figura 1.1 podemos ver o inter-relacionamento entre a organização empresarial e estas áreas de influência (AGOSTINHO, 1991).

As relações com o mercado consumidor são de especial importância para qualquer empresa, devido às suas freqüentes flutuações, resultantes das tendências econômicas e mudanças no comportamento deste mercado consumidor. O consumidor mais e mais exigente por qualidade, custos e personalização dos produtos, tem levado a manufatura de bens a sofrer grandes alterações nos últimos vinte anos. O Brasil, pela sua inércia em atualização tecnológica, causada principalmente pelo desenvolvimento científico e tecnológico deficiente e dependente, somente agora começa a tomar consciência dessa profunda alteração na filosofia de manufatura.

Esta mudança de comportamento, em conjunto com a constante e rápida evolução tecnológica dos produtos, aliada à inviabilidade de se manterem estoques, devido aos custos financeiros e aos riscos de obsolescência, tornam o volume dos lotes cada vez menores, discretizando a produção. A diversificação dos produtos, com seus ciclos de vida reduzidos, impostos pela rápida mudança de preferência do mercado, dificulta a automação, tão necessária à indústria moderna, nos moldes da manufatura tradicional.

Em síntese, no novo panorama industrial temos: a diminuição sensível da vida dos produtos; o aumento, na mesma velocidade, da diversificação dos mesmos; crescentes pressões por tempo, qualidade e custos; e baixo volume dos lotes produzidos. Em países industrializados, 30% do Produto Interno Bruto é representado pelo total de produtos manufaturados, sendo que deste total 40% se realiza em forma de lotes contra apenas 15% na forma de produção em massa. Do total da produção de manufaturados realizado em lotes, mais de 75% são formados por pequenos lotes de até 50 peças (HOUTZEEL, 1984; LORINI, 1993), ilustrando esta nova realidade.

1.2 - Justificativas

A tendência às mudanças continua a ser sentida nas áreas das ciências naturais e tecnológica, legislação, políticas sociais e desenvolvimento de novas fontes de energia. Todos esses fatores combinados geram a necessidade de respostas rápidas, a custos aceitáveis.

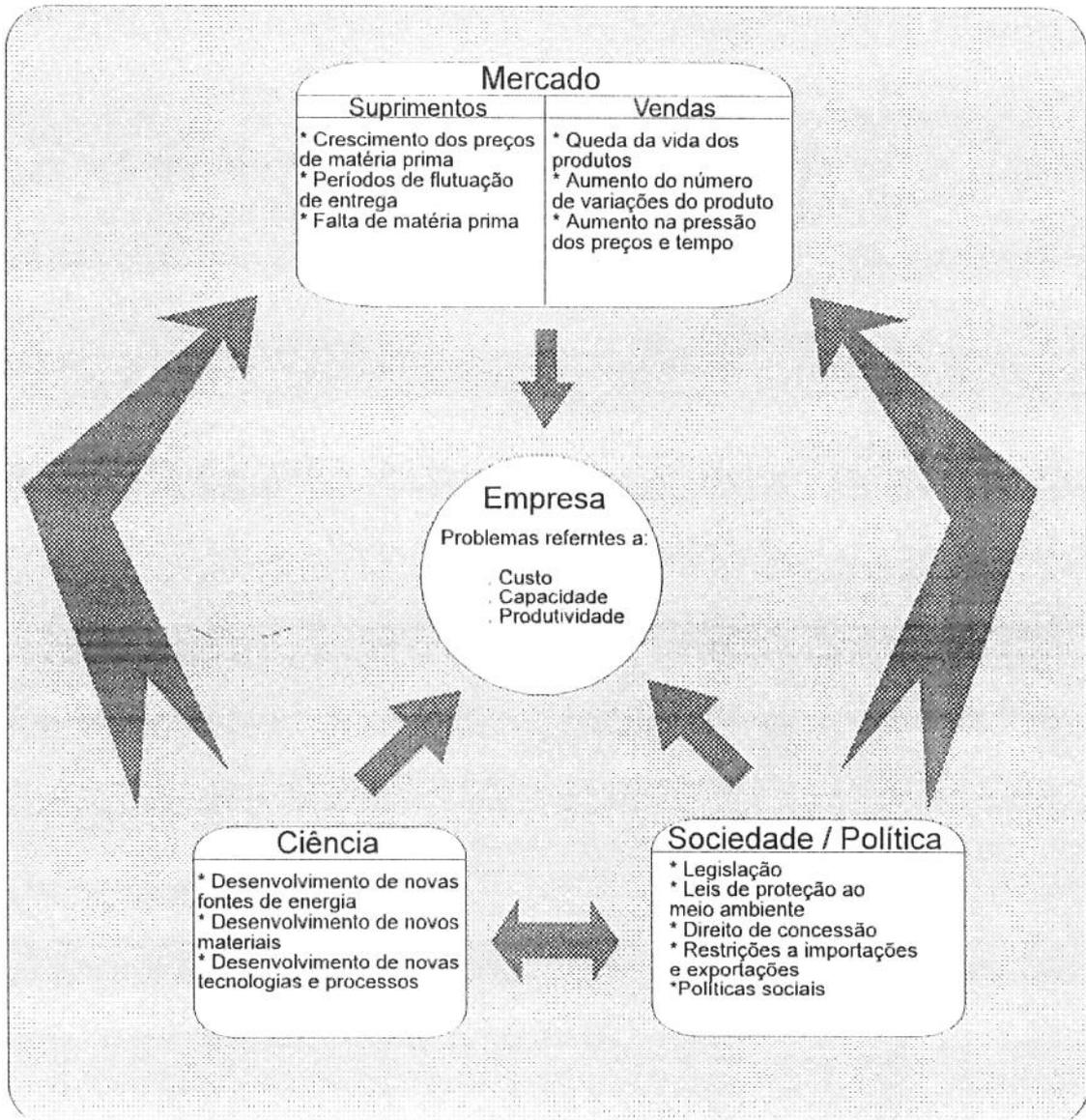


Figura 1.1 - Influência dos Fatores Externos na Dinâmica Empresarial (AGOSTINHO, 1991).

Dentro deste quadro, as filosofias de grandes séries e produção em massa vigentes durante as décadas de 50 e 60, próprias do estilo americano, mostram-se inadequadas para as novas exigências, tornando o planejamento e execução da produção tarefas difíceis. Assim, as indústrias dão provas de clara ineficiência, proliferando planos de processo, elevando os custos de máquinas e ferramental, complicando o carregamento e programação destas máquinas, elevando tempos de *set-up*, taxas de refugo e custos de controle de qualidade (AGOSTINHO, 1991; LORINI, 1993; SAKURAI, 1990). Deste modo, a produção passa a operar com grandes inventários em processo, prazos excessivamente altos para implantação de novos produtos e perdas de produtividade. Diminuindo a produtividade, aumentam os custos de maneira geral.

Para estas empresas se manterem no mercado, com competitividade de custos e qualidade, novas técnicas gerenciais para o planejamento de processo e de produção de pequenos lotes devem ser adotadas. Uma tentativa, ainda tímida nas indústrias brasileiras para contornar tais dificuldades na área de manufatura, consiste na utilização da automação ligada aos princípios de tecnologia de grupo. Esta técnica pode ser definida como uma filosofia para o gerenciamento da produção, na qual se procura obter vantagens econômicas das similaridades geométricas e/ou de processo das peças fabricadas em lotes de volumes pequenos e médios, tratando-as em conjunto, como se fosse uma produção em massa (GROOVER, 1987).

Com a proliferação de planos de processo, na nova realidade industrial, empresas vêm sofrendo com a falta de planejadores experientes, profissionais deficitários no mercado, devido ao longo tempo necessário para sua formação e assimilação de novas tecnologias. Este fato incentiva a pesquisa em técnicas que auxiliam estes profissionais em sua árdua tarefa, evitando a duplicidade de planos e ferramental, agilizando a função, dando consistência, padronização e completeza aos planos.

1.3 - Objetivo

Este trabalho tem por objetivo apresentar técnicas utilizadas para a amenização dos problemas gerados pela alteração nos ambientes de produção, além de procurar introduzir um modo sistemático de geração de planos de processo, aplicado à

manufatura de peças rotacionais dentro da realidade brasileira. Através da aplicação de tecnologia de grupo na recuperação de planos existentes, e do uso de um inferenciador para a automatização das macro funções do planejamento para novos planos, proporciona-se rapidez, padronização e consistência ao processo, armazenando a experiência do planejador na forma de uma base de dados.

1.4 - Conteúdo deste trabalho

O segundo capítulo mostra os princípios e vantagens da aplicação da nova filosofia de gerenciamento da produção - a tecnologia de grupo - no ambiente de manufatura. Discute-se a função do planejamento do processo na estrutura industrial, seus objetivos e sua influência na qualidade e custo da produção no novo ambiente de pequenos e médios lotes vividos pelas indústrias na modernidade. A caminho da automação industrial, neste ambiente são mostradas as abordagens e enfoques de ajuda computadorizada para o planejamento de processo, as diferenças, características, vantagens e desvantagens intrínsecas de cada um dos tipos de abordagem. Finalizando o capítulo, são apresentados os objetivos a serem alcançados em um amplo projeto que busca a automatização de um sistema de produção modelo, viabilizando um ambiente de fabricação assistido por computador em direção a uma integração mais ampla, que será um ambiente de manufatura integrada por computador - CIM.

O terceiro capítulo traz um estudo da realidade industrial nacional a respeito de como é executada a função de planejamento de processo, de seu quadro organizacional, analisando suas necessidades e justificando a melhor abordagem de ajuda computadorizada, bem como os recursos de *hardware* e *software* necessários para o desenvolvimento de um aplicativo. Tendo T.G. atuando como um elemento de estruturação e racionalização de informações, é apresentada a concepção do módulo desenvolvido para a geração e/ou recuperação da seqüência de operações, onde este aplicativo se integra no sistema global, suas características e sistemática de utilização.

O quarto capítulo traz o sistema de gerenciamento da interface gráfica usuário ↔ sistema, através de uma linguagem orientada à objeto. Demonstra-se um exemplo de aplicação do módulo para eixos, obtendo a seqüência de fabricação sugerida, antes e depois da interação planejador ↔ sistema, explicitando os passos do planejamento, o

status atual de automação do sistema e as próximas interações com um esboço do plano final do processo para a peça.

Na seqüência, no quinto capítulo realiza-se uma análise do sistema, listada as conclusões obtidas com o trabalho e proposta sugestões para trabalhos futuros.

O Apêndice A traz um resumo do sistema de codificação gerado pelo módulo de classificação.

2.1 - Introdução

As novas realidades econômicas e de mercado obrigaram a maior parte das empresas operar com uma filosofia "magrinha e mesquinha" (OSTRENGA, 1993). Os mercados tornaram-se globais, com concorrentes em escalas mundiais oferecendo bens e serviços de alta qualidade e de baixos custos. As exigências dos clientes em termos de velocidade e exatidão, juntamente com a grande variedade de novos produtos, os ciclos de vida reduzidos e o pequeno volume dos lotes, devido às pressões financeiras e de obsolescência, levaram todas as empresas a melhorar a eficiência e reestruturar suas organizações, sob o risco de se tornarem ineficientes nas respostas e extremamente vulneráveis, se uma guerra de variedades irromper em sua indústria.

Com o aumento de rendimento do habitante médio mundial, durante as décadas de 60 e começo de 70 (SAKURAI, 1990), a demanda por mercadorias de consumo cresceu enormemente. Com o aumento do padrão de vida, a maioria dos clientes começou a se mostrar insatisfeita com os produtos da produção em massa e ansiar por alta qualidade, por produtos personalizados e especializados a suas necessidades. Para suprir a alta variedade de produtos com qualidade, em volumes de produção menores a custos aceitáveis, empresas centraram seus esforços na automação industrial fazendo o possível para prover flexibilidade para os processos de produção a baixo custo.

Desta forma, com a produção manual sendo repassada para máquinas automáticas, reduz-se a importância do trabalho direto para os custos de produção, sendo que o trabalho indireto das áreas de projeto, planejamento, marketing...

assumiram o papel principal para estes custos. Assim, o foco do gerenciamento de custos mudou-se da produção para planejamento e projeto do produto, justificando pesquisas e investimentos em técnicas para padronização, sistematização e otimização destas funções.

A proliferação de novos produtos pode aumentar a complexidade da execução do trabalho em toda uma organização: na engenharia de produto/processo, nas operações, nas funções de apoio, nos serviços aos clientes, em recursos humanos... No chão de fábrica causa o aumento do tempo de preparação de máquinas, aumento do tempo de produção e do custo do produto, além de exigir grandes esforços na área de planejamento de processo, uma vez que profissionais com grande experiência já se encontram em extinção. Técnicas baseadas em similaridades geométricas e de processo têm sido aplicadas na solução destes problemas.

De forma geral, as empresas trabalham com uma estrutura de planejamento de processo, onde em cada nova peça a ser confeccionada, um novo plano é executado. Desta maneira não é incomum a duplicidade de planos e a falta de homogeneidade entre eles com a exigência de esforço e tempo consideráveis. Da mesma forma que células de manufatura são aplicadas à produção (GONÇALVES FILHO & CHRISTIANO, 1994), para aproveitamento das similaridades, Tecnologia de Grupo é aplicada ao planejamento de processo, auxiliado ou não por computador, para minimizar o número de planejamentos e sistematizar a função.

2.2 - Tecnologia de Grupo

2.2.1 - Generalidades

É evidente que, quando uma companhia fabrica uma série de produtos compostos por vários componentes, existem, inevitavelmente, similaridades entre alguns componentes. Como exemplo, podemos citar uma indústria de componentes de transmissão automobilística, que produza caixa de transmissão para vários tipos de veículos, existem grupos de eixos, engrenagens, buchas que possuem similaridades

geométricas e de processo (GOMES & BATOCCHIO, 1994). E isto é válido para outras indústrias, por exemplo: mecânicas e eletrônicas..

Supervisores, no chão de fábrica, podem organizar, segundo tais similaridades, a seqüência de peças, na produção, em uma determinadas máquina, de modo a ajudar a minimizar o tempo de preparação. Este tipo de percepção foi a base dos trabalhos iniciais da Tecnologia de Grupo, por volta da Segunda Grande Guerra (HOUTZEEL, 1984).

2.2.2 - Princípios Básicos de um Sistema de Classificação e Codificação

O princípio de sistemas de codificação e classificação foi relacionar valores numéricos que refletissem similaridades, sendo possível obter vantagens disso. Criaram-se, então, os sistemas de codificação e classificação, que eram usados como ferramentas para recuperação de projetos similares, realizados anteriormente, evitando-se duplicações e iniciando-se a padronização. Peças eram descritas através de códigos e seus projetos eram guardados em pastas. Quando uma nova peça entrava no processo, esta era codificada (o projetista tinha um livro de ilustrações e vários tipos de superfícies associadas, cada uma, a um número). Com este código pesquisava-se, nos arquivos, se existia um projeto similar; em caso afirmativo, este era recuperado.

Apesar de úteis, estes sistemas eram limitados, primeiro pelo tamanho: a recuperação era relativamente fácil quando se tinham poucas pastas. No entanto, quando estas chegavam a milhares, a recuperação tornava-se complicada. Um segundo problema refere-se à aplicação, pois o planejamento de processo não depende só da similaridade geométrica, mas também de dimensões, material, número de peças a ser produzido e outros fatores que definem os processos de fabricação requeridos.

Peças podem parecer diferentes e terem os mesmos processos de fabricação, podem ser parecidas e requerem processos totalmente diferentes. Peças, com geometrias totalmente diferentes, fundidas, requerendo somente uma operação igual, irão ter planos iguais. A figura 2.1 mostra um exemplo de algumas peças com geometria diversas, que por precisarem somente de operações de furação, têm similaridade de planejamento de processo.

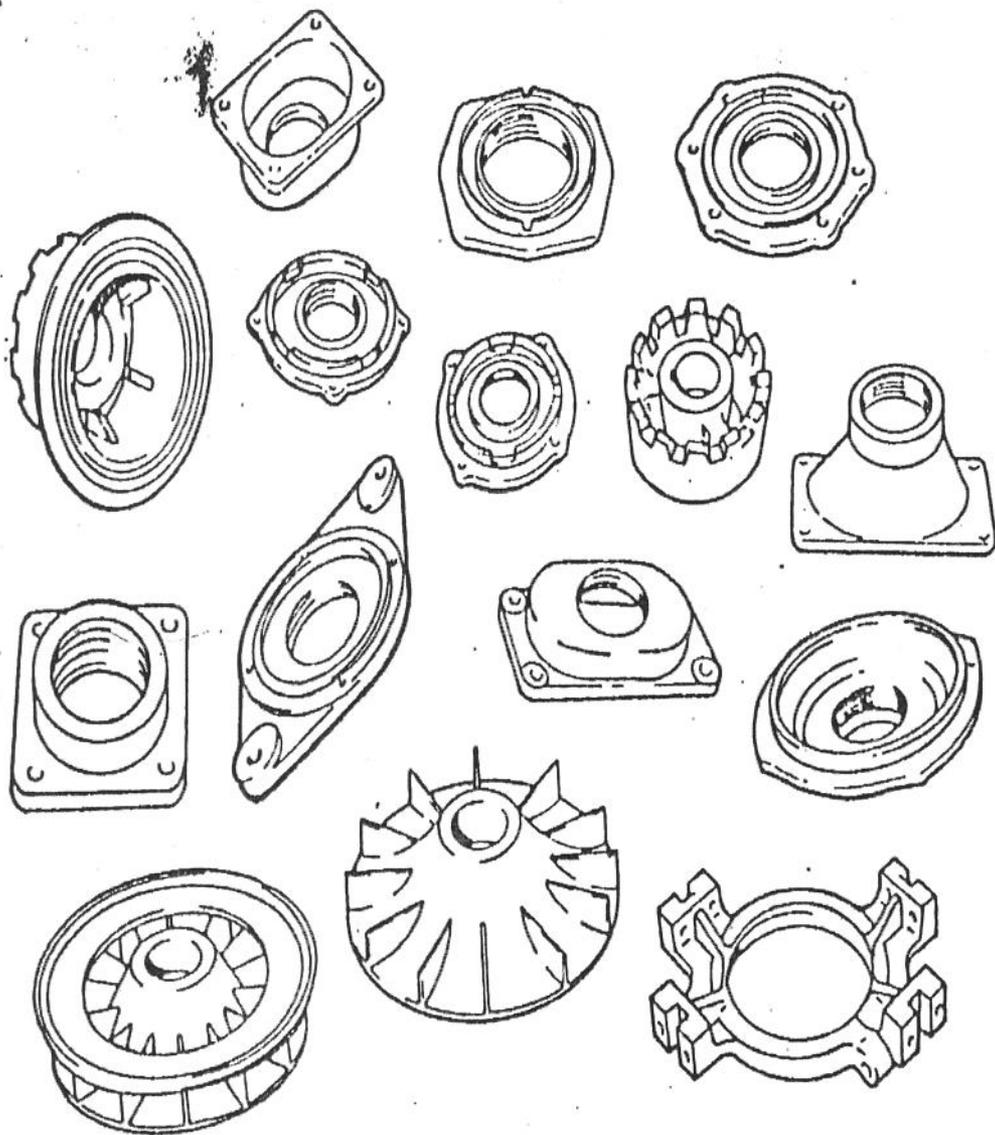


Figura 2.1 - Similaridade de Peças, Baseado em Processos de Manufatura
(HYER, 1984)

Tendo isto em vista, na Alemanha, as pesquisas moveram-se para sistemas de codificação e classificação que vislumbram estas similaridades. Este foi um importante passo, pois permitiu a realização do agrupamento de componentes, que levou a meios mais baratos de produção em lotes. Utilizando as vantagens de máquinas-ferramenta dedicadas à produção deste grupo, minimiza-se o tempo de preparação (*set-up*), iniciando a aplicação de T.G. na manufatura (LORINI, 1993).

Nos anos 60, nos Países Baixos, a classificação e codificação se direcionou para a implantação computacional. Foi o primeiro marco em direção a uma ferramenta para interfacear base de dados de projeto e manufatura.

O sistema de classificação veio como um modo reduzido de indexar desenhos, com propósito de recuperação de informações de projeto, manufatura, custos, vendas, compras e em todas as áreas que pudessem se beneficiar de similaridades. Este fato permitiu a solução do problema da aparência randômica da produção em lotes, tornando esta mais flexível e, portanto, viável economicamente.

2.2.3 - A Filosofia da Tecnologia de Grupo

•Conceituação da Tecnologia de Grupo

Tecnologia de Grupo (T.G.) é uma abordagem aplicada a projeto e fabricação, que busca aprimorar o conteúdo de informações do sistema de fabricação através da identificação e aproveitamento da uniformidade ou similaridade de peças, baseada em sua forma geométrica e/ou similaridades em seu processo de fabricação.

•Benefícios da Implementação da Tecnologia de Grupo

T.G. pode ser implementada, utilizando-se sistemas de classificação e codificação para identificar e ter conhecimento de tais similaridades (FREITAS & BATOCCHIO, 1993). Na fabricação pode-se decidir sobre meios mais eficientes para aumentar a flexibilidade do sistema pelo fluxo dinâmico de informações, reduzindo tempo de *set-up* e necessidades de áreas ocupadas, além de padronização nos procedimentos (folha de processo) para produção em lotes. No projeto pode desenvolver-se a postura de projetar para facilitar a produção, ajudando a eliminar duplicações e redundância, além de diminuir tempo e esforço para a tarefa (HYER & WEMMERLOU, 1988).

T.G. é usada para produzir importantes reduções em tempo e esforço de projeto. Frequentemente em projeto é mais fácil projetar novas peças ao invés de tentar localizar uma similar, já projetada. Este fato é justificado, primeiro pela facilidade com que tais peças podem ser projetadas usando um sistema *Computer*

Aided Design (CAD); segundo, pela proliferação de peças, que podem alcançar proporções epidêmicas, especialmente em grandes empresas, tornando a pesquisa muito trabalhosa e demorada.

Uma base de dados de T.G. ajuda a inverter esta tendência, por tornar fácil e rápido recuperar e revisar peças existentes que são similares com a nova peça a ser projetada. Usando um sistema T.G., o projetista necessita somente identificar o código que trata a peça desejada. Se a existência de uma peça similar é constatada na base de dados, e este é o caso mais freqüente, então pode-se modificar o projeto existente. Em essência, T.G. possibilita literalmente começar o processo com um projeto quase completo, economizando substancial tempo e esforço para esta tarefa.

Quando empresas implementam T.G., não é incomum descobrir muitas versões de uma mesma peça. Esta técnica facilita a padronização de peças, que podem ser intercambiáveis numa variedade de aplicações e produtos. Com a padronização, gerada pela implementação de T.G., em projeto, o primeiro grande impacto no planejamento de processo é que o conteúdo de informações do sistema de fabricação total pode ser drasticamente reduzido por causa das simplificações de processo e ferramental.

Estudo feito em indústria americana (HOUTZEEL, 1984) mostra, a partir da classificação e codificação de uma amostra aleatória das peças da produção, que de 2100 peças escolhidas existem apenas 900 projetos diferentes (figura 2.2), o mesmo ocorrendo para planejamentos de processo, apresentando 1.200 planos distintos (figura 2.3), todos os outros eram duplicidade dos primeiros. Isto foi observado em cerca de outras 100 instalações, revelando que, para indústrias de grande porte, indústria com, em média, 70.000 componentes, o número de planos diferentes raramente excede 5.000 unidades.

Visto que os custos de um novo projeto (projeto, planejamento, ferramental, fixadores, programa CN, MRP) podem chegar a US\$ 12.000, importantes ganhos serão conseguidos se projetos desnecessários forem evitados. Isto pode ser conseguido através de recuperação e padronização de projetos e planos com o uso de sistemas de codificação e classificação e de Tecnologia de Grupo.

Tecnologia de Grupo sugere reconhecimento e exploração de similaridades; na prática, isto significa fazer atividades parecidas juntas, padronizar tarefas similares, guardar e recuperar eficientemente informações sobre atividades já realizadas.

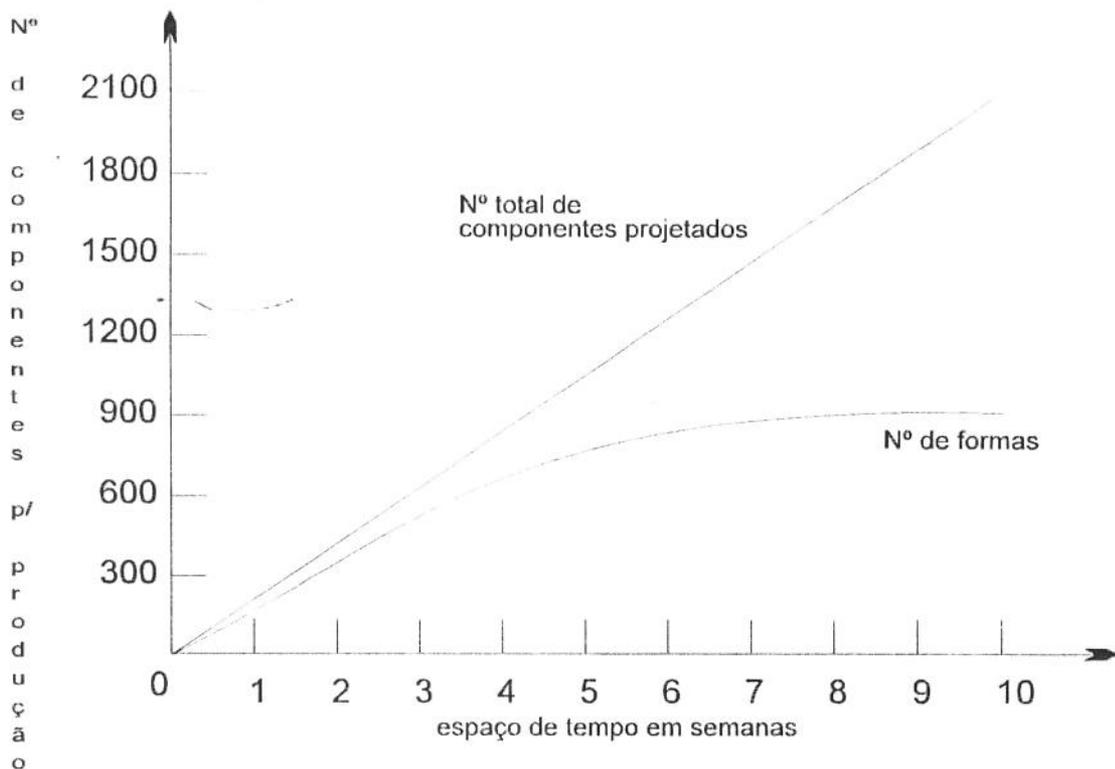


Figura 2.2 - Forma de Componentes, Similaridade de Projeto (HOUTZEEL, 1984)

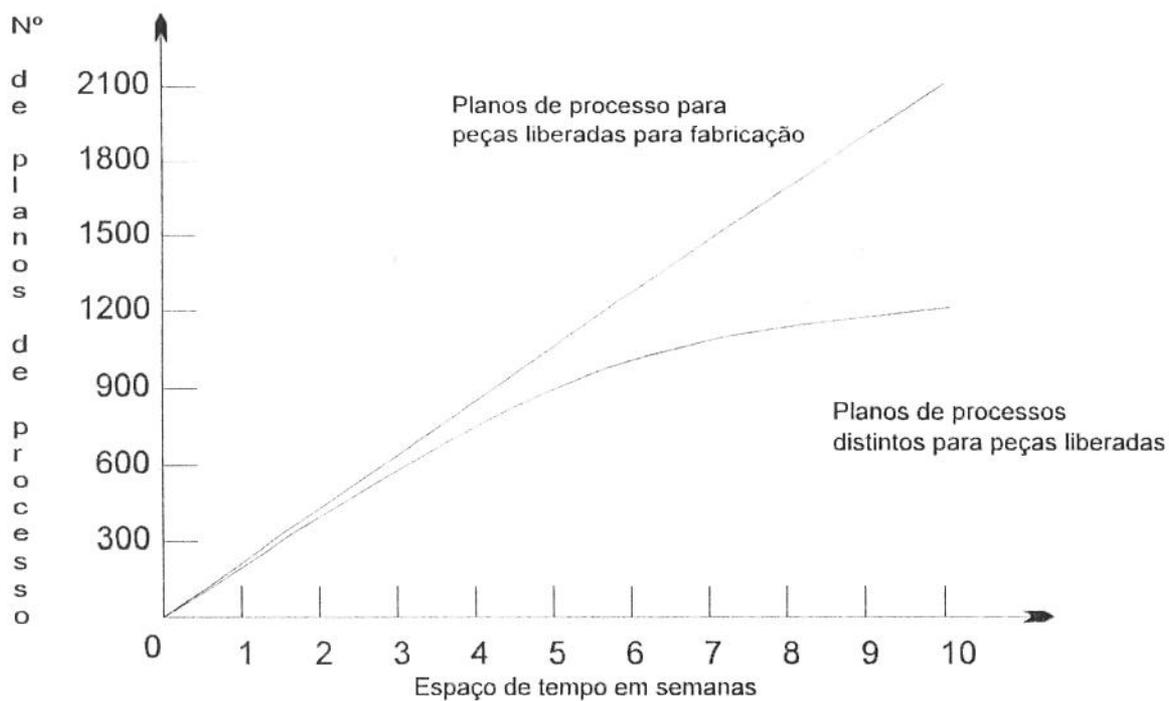


Figura 2.3 - Planos Distintos, Similaridades no Planejamento de Processo (HOUTZEEL, 1984)

No meio fabril, T.G. é um método de obter as vantagens da produção em massa na produção em pequenos lotes, através de ganhos na redução do tempo total da produção, redução da variedade e do inventário em processo, redução de filas de produção, aumento da padronização, resultando na diminuição de fixadores, ferramentas, estoques, tempo de preparação de máquinas, simplificando grandemente as funções de controle de produção, melhorando prazos e satisfazendo o cliente. Tudo isto é obtido devido à classificação das peças, aumentando as quantidades de peças similares, tal que surgem lotes maiores e justificam o uso de máquinas e fixadores dedicados, além de simplificar as tarefas de planejamento.

A técnica deve ser encarada não somente como uma forma de agrupar peças, e sim como uma filosofia, sob pena de não se aproveitar as potencialidades desta poderosa arma em todos os campos da empresa onde haja similaridades.

As vantagens ganhas pela implementação de T.G. em produção em lotes são consideráveis, porém alguns produtos e ambientes industriais são mais apropriados para este sistema que outros. Logo, é imperativo para a empresa, que necessita adotar T.G., uma completa investigação das características peculiares de sua organização.

O agrupamento de peças, relatado nas famílias de peças, é a chave para implementação da T.G.. O conceito de família fornece informações para racionalização, tanto de projeto como do planejamento de processo, além de formação de células de manufatura. Famílias de peças orientadas à fabricação têm em comum exigências de processamento similar. Em princípio, famílias de peças podem ser baseadas sobre qualquer número de diferentes considerações. Por exemplo, peças manufaturadas pela mesma empresa ou peças que servem funções similares, tais como eixos, engrenagens ou peças fabricadas todas a partir do mesmo material, podem concebivelmente ser agrupadas em famílias de peças.

•Métodos de Formação de Famílias

Três métodos são comumente usados para tentar solucionar o problema de agrupamento eficiente de peças (CHANG, 1985): inspeção visual, análise de fluxo de produção (A.F.P.) e sistema de codificação e classificação.

a.) O primeiro método é, obviamente, muito simples, mas limitado em sua eficiência quando lida com um grande número de peças.

b.) A A.F.P. (BURBIDGE, 1975) analisa a seqüência de operação e a rota da peça através das máquinas na empresa. Peças com operações e rotas comuns são agrupadas e identificadas como uma família de peças de fabricação. Similarmente, as máquinas usadas para produzir a família de peças podem ser agrupadas para formar as células de manufatura. Para esta técnica ser bem sucedida, deve ser assumido que a maioria das peças pertencem a famílias definidas e as máquinas a grupos definidos. Famílias são formadas usando dados das folhas de operação ou carta de rota, ao invés de desenho das peças. A principal desvantagem é a necessidade de alta definição dos dados da folha de processo e carta de fluxo, o que devido ao baixo nível organizacional das empresas brasileiras é uma tarefa difícil de se cumprir (ROZENFELD & MÓDOLO, 1991), além das dificuldades envolvidas na organização manual dos dados de produção.

c.) Sistema de classificação e codificação (S.C.C.) de peças é um método muito difundido e utilizado. Nesta abordagem, peças são examinadas separadamente para identificar características genéricas que são capturadas pelo sistema de classificação. Sua principal vantagem é a precisão que fornece para a formação de famílias de peças. A maior desvantagem é o custo para implementação, tanto para os desenvolvidos internamente ou comprados de fornecedores. Em adição, empregados devem ser treinados e a codificação das peças, já existentes, é um trabalho intensivo, consumindo muito tempo e esforço. Isto sem contar com o custo de *Hardware*, de adaptação de *Software* e de recuperação e análise de dados da empresa.

Contrabalanceando tal custo, estão potenciais economias devido a pesquisa e recuperação, tanto de projeto como planejamento de processo, eliminando a proliferação de peças e planos de processo, diminuindo tempo e esforço para tais tarefas e a infindável lista de simplificações do sistema de fabricação que T.G. torna possível.

O melhor sistema de codificação é aquele que é adaptado especificamente à empresa onde ele será aplicado. Idealmente, um S.C.C. deveria permitir ao projetista visualizar, tanto a peça quanto seu plano de processo, pelo exclusivo número código. Códigos mais curtos, os quais são mais fáceis para usar e menos propensos a erros, são também menos flexíveis e mais sujeitos a incomplezas. Sistemas S.C.C. em T.G. computadorizados permitem a geração e manipulação de códigos com mais dígitos, mais facilmente.

A estrutura dos sistemas de classificação podem ser de dois tipos, hierárquico ou atributos (CHANG, 1985). No primeiro tipo, cada posição é relativa à anterior.

Assim, se o primeiro dígito define a forma principal, o segundo definirá uma característica desta forma e assim por diante. Por exemplo, se o primeiro dígito representar uma forma rotacional, o segundo poderá ser o máximo diâmetro externo. Já para o mesmo código, se o primeiro dígito representar uma forma não rotacional, o segundo poderá definir o comprimento máximo do componente. Utilizando este conceito, peças podem ser agrupadas em famílias hierarquizadas, com o aumento da especificação das características.

Por ser diferenciada, este tipo de codificação é compacta, sendo possível incluir grandes quantidades de informações em apenas alguns dígitos, pois cada dígito é um expoente do precedente. É útil para aplicações de recuperação. Entretanto, visto que dígitos na mesma posição podem ter diferentes significados, dependendo do dígito anterior, este tipo de código não é de fácil análise computacional; logo, sua utilidade é limitada quando recursos de análise e comparação são desejados.

Código por atributo é baseado na definição de diferentes características. Cada posição do código representa uma característica e tem um significado específico para cada valor. Por exemplo, o primeiro dígito poderá sempre descrever a forma externa; o segundo, a forma interna; o terceiro, presença de elementos de forma e assim por diante. Assim, um código identificará todas as características principais do componente. Como consequência, o significado de um dígito é consistente para o sistema como um todo.

A identificação de características geométricas e de processo similares define o agrupamento em famílias. Código por atributo tem como características a grande facilidade de análise. Por exemplo, para se conhecer quantas peças possuem furos axiais, é só analisar quantos códigos têm dígitos referentes a esta característica em uma determinada posição da estrutura; grande facilidade, portanto, de comparação. Porém, devido a grande possibilidade de atributos nas peças de uma indústria, há necessidade de códigos muito longos para contemplar todas estas características.

Muitos sistemas de codificação confiam num tipo híbrido de código. Um meio-termo útil é um código de comprimento fixo, cujos primeiros dígitos são padrões para todas as famílias de peças e os últimos dígitos variáveis; somando a característica de ser compacta das estruturas monocódigos com a facilidade de manipulação dos policódigos.

2.2.4 - Comentários

Um fator essencial para o sucesso da implantação de Tecnologia de Grupo é a obtenção de um sistema de classificação e codificação eficiente, que contemple todas as informações necessárias para as funções envolvidas, permitindo facilidade de uso, manipulação e compreensão, visto que este é a base para formação e recuperação de famílias.

Os custos de fabricação não são somente determinados pelo projeto. O planejador desempenha o principal papel nestes custos, por determinar os métodos de fabricação. A escassez de planejadores e a necessidade de ganho de produtividade na indústria nacional fazem a importância de investimento em sistematização e padronização do planejamento, retendo a experiência dos planejadores na forma de roteiros padrões que podem ser recuperados, manuseados e alterados quando necessário.

2.3 - *Computer Aided Process Planning* - C.A.P.P.

2.3.1 - Aspectos Conceituais do Planejamento do Processo

• Definição do roteiro de Fabricação

Para que um componente seja fabricado é requerido um documento especificando a completa seqüência de operações, todos seus parâmetros e instruções. Este roteiro é definido como roteiro de fabricação ou plano de processo; a função responsável pela geração desse roteiro é o planejamento de processo, na figura do planejador ou engenheiro de fabricação.

•Definição do Planejamento do Processo

Chang (1985) define planejamento de processo como "a função na qual são estabelecidos os recursos de fabricação, os processos e parâmetros, que serão usados para converter uma peça de sua forma bruta até sua forma final, especificada em projeto". A Sociedade de Engenharia de Fabricação (SME) define como a determinação sistemática dos métodos pelos quais um produto pode ser fabricado de forma completa e econômica.

•A Tarefa do Planejamento do Processo

A tarefa de planejamento de processo tradicional envolve uma série de passos. O primeiro passo é a análise do desenho do projeto, onde são estudados e interpretados os requerimentos do produto como tamanho de lote, configuração geométrica, propriedades do material bruto, tolerâncias dimensionais, rugosidade, tratamento térmico, dureza e requerimentos especiais. Após isto, é realizada a seleção dos processos de fabricação segundo as estratégias da empresa, visto que a mesma peça pode ser processada de diversas maneiras, dependendo da realidade da empresa. O próximo passo é a seleção dos centros de usinagem que executarão as tarefas, considerando disponibilidade, capacidade e limites de tamanho.

Então é determinada a seqüência de operações baseada na estratégia específica da companhia, que consiste em operações definidas para um grupo de peças definidas. As ferramentas e condições de usinagem são determinadas a seguir. Tempos de máquinas e manuais devem ser calculados a seguir, incluindo tempo de preparação de máquina, carga e descarga, inspeção e troca de ferramenta, exigindo um profundo conhecimento do nível organizacional da empresa pelo processista. Finalmente, folhas ou roteiros de processo são editadas. É fácil observar que além de diferenças conceituais, consistência, completeza e organização assumem níveis diferentes para planos realizados em empresas distintas ou por planejadores diferentes. Logo significativos benefícios econômicos podem ser conseguidos através da otimização da função do planejamento de processo.

Portanto, a tarefa de planejamento de processo consiste na preparação das instruções que descreve como fabricar, completa e economicamente, um determinado componente, satisfazendo as especificações contidas no projeto. O plano de processo

contém alguns ou todos os seguintes segmentos (WOLFE,1985), como mostrado na tabela 2.1:

- seqüência de operações	- fixadores
- máquinas	- dispositivos
- ferramentas	- métodos
- materiais	- tempos padrões
- tolerâncias	- detalhes de preparação
- notas	- critérios de inspeção
- parâmetros de corte	- representação gráfica da peça nos vários estágios de preparação

Tabela 2.1: Informações do Plano de Processo

•A Função do Planejamento do Processo

A função de planejamento de processo pode ser dividida em dois grandes grupos (ROZENFELD,1989):

a.) O primeiro é definido como planejamento macro e é responsável pelos dados organizacionais, definição da peça em bruto, processos e operações de usinagem, seqüência e maquinário; esta fase necessita intensivamente da experiência do processista, o que dificulta a sua automação.

b.) O segundo grupo é dito como de detalhamento e é responsável pela decomposição de cada operação em suas sub-operações, ferramental requerido, programa fonte CN, condições de usinagem, tempos... Devido à existência de algoritmos e fórmulas bem definidas, esta fase é mais independente da experiência, como pode ser visto na figura 2.4, o que facilita e diminui o esforço para automatização desta fase.

•A Influência do Planejador no Planejamento do Processo

A qualidade de um plano é altamente dependente do conhecimento pessoal e experiência do planejador. Esta não é uma função facilmente ensinada e aprendida, visto que um planejador, tradicionalmente, tem grande tempo de chão de fábrica, até mesmo como operador. Portanto, planejamento de processo é uma tarefa que requer um grande tempo para execução e muita experiência; um planejador típico tem perto de 40 anos e cerca de 15 anos de indústria. (CHANG,1985)

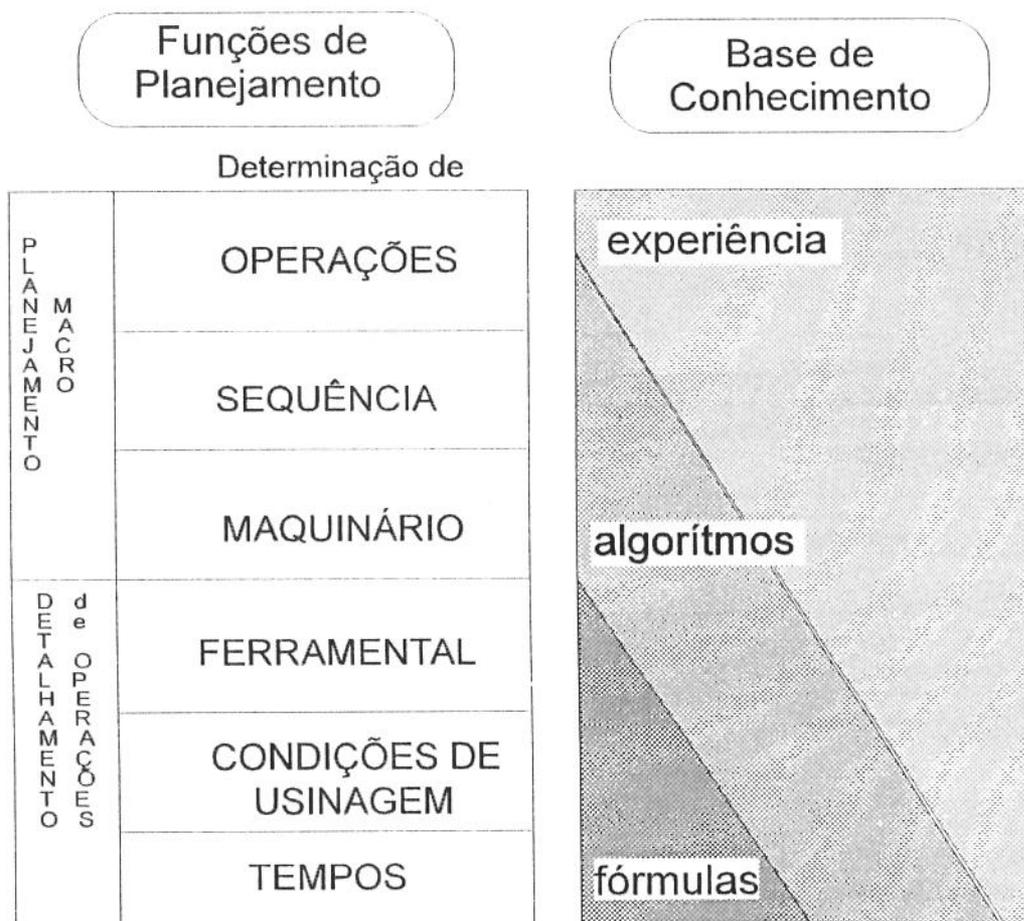


Figura 2.4 - Bases de Conhecimento para as Funções de CAPP (ROZENFELD,1989)

Recentemente, indústrias têm sofrido com a falta destes profissionais. Alguns fatores são responsáveis por este fato. O primeiro é proveniente de mudanças das características do meio fabril, citadas anteriormente (a saber: diminuição sensível da vida dos produtos e aumento da diversificação), gerando produção de grande número

de pequenos lotes. Este fato traz uma sobrecarga para a área de planejamento, que deve realizar grande número de planos para os novos componentes; além da geração de duplicações de planos, projetos e ferramental.

Além disso, com a necessidade de grande tempo de fábrica, os planejadores se aposentam logo e a qualidade nas substituições nem sempre é alcançada. Um terceiro ponto é a rápida mudança nas tecnologias atuais, tornando difícil que o planejador se mantenha atualizado. (CHANG, 1985)

Planejadores novos e relativamente inexperientes não têm condição de conhecerem planos similares ou mesmo iguais já realizados, causando duplicações, diminuindo a rapidez, aumentando o tempo e o custo do planejamento, além de torná-los inconsistentes.

A escassez de planejadores - estima-se que nos EUA chegue a 100.000 - (CHANG, 1985), ligada as tendências atuais, influencia negativamente o trabalho do processista, visto que, a esta tarefa, já demorada, soma-se a grande quantidade de planos em desenvolvimento, tornando-a um "gargalo", impedindo que os planos sejam entregues nas datas previstas.

•Planejamento do Processo Auxiliado por Computador

Os custos de fabricação, a produtividade e a qualidade dos componentes dependem diretamente das atividades de projeto e planejamento de processo que, por esta razão, devem ser realizadas de modo mais racional possível (ROZENFELD, 1989; ROZENFELD & MÓDULO, 1991). Estes fatos fazem a importância de investimentos em sistematização e padronização do planejamento de forma a reter a experiência dos planejadores.

A grande vedete da última década foi o planejamento de processo auxiliado por computador - CAPP, reconhecido como uma das vigas mestras para o sucesso da Manufatura Integrada por Computador - *Computer Integrated Manufacturing* (CIM) (ALTING & ZHANG, 1989).

Wolfe (1985) cita: "o engenheiro de projeto pode usar o sistema CAD para projetar uma peça e o engenheiro de processo pode usar uma máquina Comando Numérico (CNC) para fazer a peça; mas a total integração não ocorrerá até podermos

unir CAD e *Computer Aided Manufacturing* (CAM) através do CAPP. Engenharia de projeto idealiza o produto e então lança os desenhos para o outro lado do muro, para fabricação confeccioná-los; CAPP facilita a remoção deste muro, rumo à engenharia simultânea".

2.3.2 CAPP Variante

A abordagem variante para planejamento de processo, auxiliado por computador, poderá ser comparável com o planejamento manual, onde o plano para uma nova peça será criado através da pesquisa, identificação e recuperação de um plano existente de uma peça similar e feitas as modificações necessárias para a nova peça. Nesta abordagem, as peças são agrupadas em famílias. Caracterizada por suas similaridades geométricas e de processo, é definido um plano padrão (plano semelhante), que contempla todas as possíveis operações para este tipo de componente, para cada família de peças. Como exemplo, podemos citar CAPPE (ROZENFELD, 1989; ROZENFELD, 1994) e MIPLAN (HOUTZEEL, 1980).

Através de um sistema de codificação e classificação, um código para cada peça é construído; este é usado para a identificação da família do componente e de seu plano associado. O plano é recuperado e editado, através das modificações necessárias para a nova peça.

Tecnologia de grupo pode ser aplicada ao planejamento para pesquisa de planos de processo existentes e de roteiros de fabricação para famílias e para recuperar a sequência de operações básicas no planejamento de um novo componente.

A abordagem variante requer que um grupo de planos padrões de processo sejam primeiramente desenvolvidos e arquivados conforme os conceitos de T.G.. Assim, a tarefa do planejamento de processo para uma nova peça começa com a codificação e classificação do componente. Com estas informações, o plano correspondente é recuperado. Desde que este plano padrão pode não ser exatamente o que é requerido para a peça em questão, um editor é fornecido para modificação do mesmo. Em muitos casos, poucas alterações são requeridas, devido ao fato que freqüentemente novos planos consistem em variações dos padrões. Assim, considerável tempo é economizado e uma maior consistência é obtida.

Portanto, a fase que exige maior esforço é a de preparação dos arquivos, ou seja, o levantamento dos planos iniciais, codificação e definição das famílias; visto que, não existe nenhuma regra rígida para isto. Os arquivos são montados hierarquicamente, sendo que cada família é acessada pelo código associado, e sob estas se encontram os planos de peças e seqüências de fabricação. Entretanto, existem dificuldades na manutenção de consistência na prática de edição e inadequação para acomodação de diferentes combinações geométricas, necessitando de interação do planejador para diminuir estes impactos.

Sistema simples, porém requer grande interação humana no desenvolvimento dos planos. Este método retém a experiência do planejador na forma de roteiros padrões que podem ser recuperados, manuseados e alterados quando necessário. Utiliza-se dos princípios de tecnologia de grupo para arquivamento e recuperação de planos já realizados anteriormente.

Este método de planejamento aumenta em muito a eficiência do processo, aumentando a sistematização, a padronização, diminuindo o tempo e esforço necessário para o planejamento, unificando ferramentas e dispositivos, diminuindo o tempo total de fabricação devido ao agrupamento de planos semelhantes em famílias, o que minimiza o tempo de preparação dos planos, além de reter a experiência na forma de arquivos. Deve-se ter em mente que o auxílio por computador é somente uma ferramenta para dar maior rapidez e possibilitar capacidade de manipulação de dados, visto que a aplicação de computadores, que vai da área comercial à produtiva, na indústria mecânica, tornou-se amplamente viável nos dias de hoje, cumprindo a idéia de usar a velocidade e consistência do computador para ajudar na determinação de planos de processo.

As principais vantagens do método (ALTING & ZHANG, 1989) são o aumento na capacidade de gerenciamento de informações, produzindo rapidez na avaliação de planos de processo; diminuição do tempo e esforço gasto no planejamento; eliminação de duplicações; padronização de planos, permitindo estruturação e implementação de famílias específicas para cada empresa, incorporando o conhecimento de fabricação do planejador e estruturando os planos para as necessidades específicas da empresa. Exige baixo investimento e pouco tempo de desenvolvimento, principalmente para empresas de pequeno e médio porte e baixo custo de desenvolvimento do *software* e *hardware* (especialmente em pequenas empresas ou onde a variação dos produtos não é muito grande). Este método será focado com mais detalhes nos itens 3.5 e 3.6 deste trabalho, quando se apresentará uma proposta de um sistema que se utiliza destes princípios.

2.3.3 CAPP Generativo

Nesta abordagem, uma vez a peça codificada e classificada, o sistema prepara o plano usando decisão lógica, algoritmos e uma base de dados geométricos. As regras de manufatura e capacidade dos equipamentos são armazenadas no sistema. O plano específico para um novo componente pode ser então, teoricamente, gerado sem envolver a experiência do planejador de processo. Nenhum plano padrão pré-definido é requerido.

Entretanto, a interface com o sistema CAD é extremamente complexa para geometrias globais devido à grande quantidade de dados tecnológicos e formas distintas que uma peça contém e nem sempre estão disponíveis de maneira adequada no projeto, o que exige grande esforço na interface CAPP com CAD. Os meios mais comuns usados nesta interface são *features* e racionalização geométrica que centra-se, de maneira geral, em definir diversos tipos de superfícies e os processos associados a cada uma destas (LI & BEDWORTH, 1988).

Este tipo de sistema faz uso de decisão lógica para a confecção do plano e são denominados Sistemas Experts ou de Inteligência Artificial. A decisão lógica determina como o processo e a seqüência são selecionados. Tal decisão é baseada na checagem da capacidade do processo com as especificações do processo. Um sistema expert é definido, segundo Alting & Zhang (1989), como uma ferramenta que tem a capacidade de entender um problema específico e usa o domínio conhecimento inteligente (base de conhecimento) para sugerir ações alternativas para solução.

Um sistema expert baseado em conhecimento (KBES) é constituído por quatro componentes fundamentais: uma base de conhecimento, uma interface de aquisição de conhecimento, um mecanismo de interferência (reconhecimento) e um esquema de interface com usuário, disposto conforme figura 2.5.

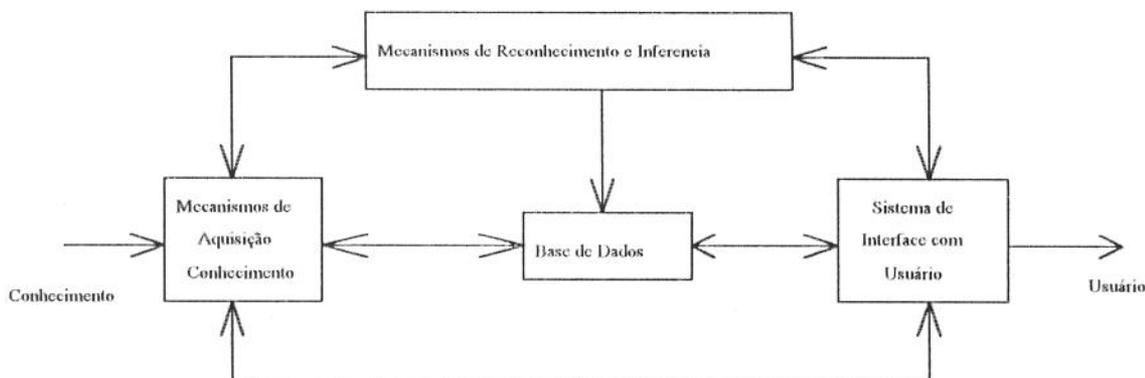


Figura 2.5 - Arquitetura de KBES (ALTING & ZHANG, 1989)

Os sistemas experts podem ser classificados em duas categorias:

a) Sistema baseado em regras. Este sistema utiliza um `if...<condição>; then...<ação >` para a representação dos conhecimentos. O sistema de regras é composto de dois grandes componentes: uma base de conhecimento que contém as regras e um inferenciador que controla a invocação dessas regras.

```
Ex: if é diâmetro externo IT8
      then um torneamento é sugerido
```

Talvez a mais eficiente maneira de implementar estas expressões seja codificá-las diretamente em linguagem computacional, ou seja, implementar informações de *Handbooks* e limites de processo, diretamente na forma de tabelas em linguagem de alto nível. Porém, tal processo pode torná-lo muito longo e ineficiente, ocupando grande tempo de processamento e causando inflexibilidade. Em outras palavras causando dificuldade de modificação, o que acarreta altos custos de manutenção, dificultando ou inviabilizando seu uso.

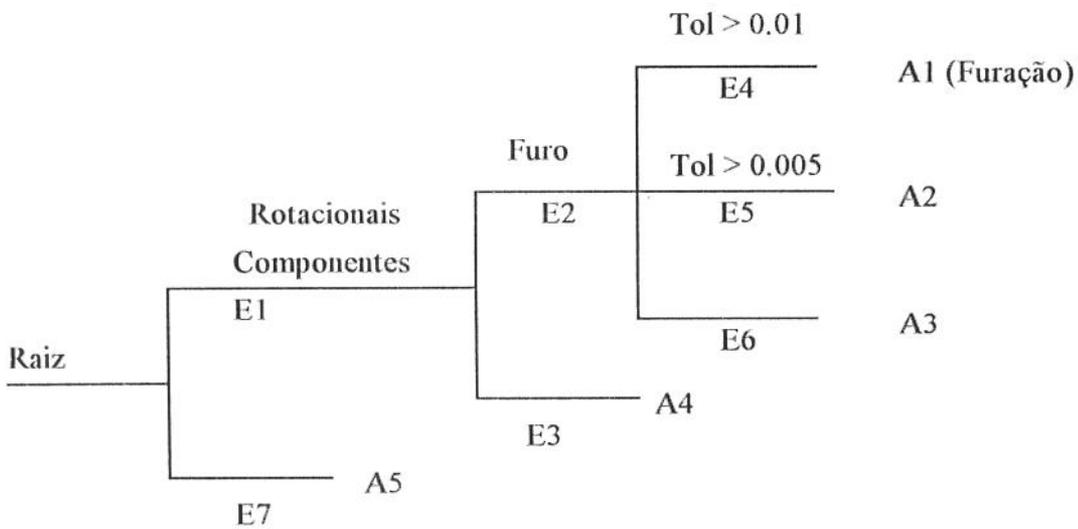
b.) Métodos de representação da capacidade do processo, relacionados diretamente com a decisão lógica, que são divididos em:

- árvores de decisão
- tabelas de decisão

• Árvores de decisão

Trata-se de um caminho natural para representar as informações do processo. As condições são locadas nos ramos da árvore e ações pré-determinadas podem ser encontradas nas funções de cada ramo. A árvore pode ser implementada por código. Este, por sua vez, pode ser diretamente traduzido por um programa de carta de fluxo ou como dados. Neste caso, é preciso um programa de interpretação de dados para determinar o fluxo da árvore.

Na figura 2.6 podemos ver a implementação de uma árvore de decisão, que pode ser codificada em linguagem natural.



exemplo de código fonte:

```
Raiz. . . .
  Se E1 é verdadeiro então
    Se E2 é verdadeiro então
      caso E4 verdadeiro faça A1
      caso E5 verdadeiro faça A2
      caso E6 verdadeiro faça A3
    Senão faça A4
  Senão faça A5
```

Figura 2.6 - Árvore de Decisão (CHANG,1985)

•Tabela de decisão

É um dos métodos mais populares para representação de dados complexos de engenharia. Tabelas requerem um pré-processador especial ou uma linguagem, a fim de implementar e controlar a operação. As condições são representadas como dados de entrada. Através da combinação das mesmas, as decisões são tomadas. Na tabela 2.2 podemos ver um exemplo de tabela de decisão. O pré-processador pode ser usado, ocasionalmente, para transformar as tabelas de decisão em programas básicos.

Furo	X	X	X	X	X		
Diâmetro ≥ 0.0	X	X	X	X	X		
Rasgo						X	
Rasgo Interno							X
T.P ≤ 0.002	X						
$0.002 < T.P < 0.01$		X					
$0.01 < T.P$			X	X	X		
Tol < 0.002			X				
$0.002 < Tol < 0.01$				X			
$0.01 < Tol$					X		
Brochamento	X						
Mandrimento Fino		X	X				
Mandrimento Semi-fino				X			
Furação					X		
Fresamento						X	
Rasgador							X
T.P = 0.01	X						
T.P = 0.02		X					
Tol = 0.01			X				
Tol = 0.02				X			
Diâmetro = 0					X		

Tabela 2.2 - Tabela de Decisão (CHANG, 1985)

Com o rápido desenvolvimento de técnicas de inteligência artificial, estes esforços têm dado resultados iniciais que indicam ser o sistema generativo promissor e desejável.

Entretanto, estes sistemas são, no momento, desenvolvidos para limitados tipos de peças, por exemplo, para peças torneadas com limitados tipos de características geométricas, temos como exemplo XPLANE (KALS, 1986), COATS (GIUSTI & SANTOCHI, 1986), OPS5PLUS (PANDE & PRABHU, 1990) e EXCAP (WRIGHT, 1987). Ainda não existe nenhum resultado que atenda a grandes variedades de tipos de peças (WANG & WISK, 1987; LI & HAM, 1987; PORTO, 1990).

A grande vantagem desta abordagem (ALTING & ZHANG, 1989) é a consistência e completa automação do sistema, eliminando a dependência do planejador. É um sistema direcionado preferencialmente a grandes empresas que trabalham com grande número de produtos com pequenos volumes dos lotes, e têm grande disponibilidade de investimento em pesquisa no direcionamento ao CIM.

Algumas dificuldades deste tipo de abordagem (CHANG, 1985) são as decisões macro, devido à dificuldade de formação de regras, à grande dificuldade de interface com CAD, necessidade de grandes investimentos em projetos de longo prazo e grandes dificuldades de interfaccamento.

2.3.4 CAPP Mistos

Algumas empresas e meios acadêmicos estão se utilizando de um sistema misto que reúne as vantagens da recuperação de informações, automatizando a tomada de decisões nos módulos onde existem fórmulas e algoritmos disponíveis como tempos, ferramental e condições de usinagem. Rozenfeld (1989) ilustra os vários níveis possíveis de automação, como visto na tabela 2.3, propondo um sistema modular automatizado progressivamente.

Um sistema puramente generativo é desejado por todas as empresas. Porém, até que não se consiga solucionar as dificuldades dos CAPP generativos emergentes, muito esforço de trabalho e pesquisa deve ser destinado a sistemas semi-generativos (EMERSON & HAM, 1982; CHO, 1991). Esta abordagem reduz a interação com o planejador através de seqüências de operações padrões, tabelas de decisões para detalhamento de operação e escolha de máquina e ferramental, e formulações matemáticas para o cálculo de tempo e custos. Não é totalmente generativo, porém

provém redução de tempo e custo na elaboração da folha, além de proporcionar consistência e padronização.

O planejador é apto e necessário para interferir no plano proposto, de modo a modificar e completar as instruções de trabalho, sendo que cabe a ele a validação e liberação do documento. Sendo assim, este tipo de abordagem aumenta a velocidade da produção, reduz e orienta a participação do planejador de processo e garante qualidade ao plano.

NÍVEL DE AUTOMAÇÃO								
	----->							
Ajustar Dados	---	--	---	---	---	E	E	---
Preparar Desenhos	---	--	E	E	E	--	---	---
Digitar Dados	---	--	---	E	E	E	---	---
ALTERNATIVAS de AUTOMAÇÃO	1	2	3	4	5	6	7	8
Dados Organizacionais	M	I	I	I	I	A	A	A
Peça em Bruto	M	I	I	I	A	A	A	A
Processos e Operações	M	I	I	I	A	A	A	A
Seqüência	M	I	I	I	A	A	A	A
Maquinário	M	I	I	I	A	A	A	A
Sub-operações	M	I	I	A	A	A	A	A
Seqüência sub	M	I	I	A	A	A	A	A
Programa CN	M	M	I	I	I	A	A	A
Ferramental	M	I	I	A	A	A	A	A
Condições de Usinagem	M	I	I	A	A	A	A	A
Tempos	M	I	I	A	A	A	A	A
Fixação/dispositivos	M	M	I	I	I	A	A	A
Simulação/Colisão	M	M	I	I	I	A	A	A
Textos	M	I	I	I	I	I	I	I
Legenda: I - interativo M - manual A - "automático" E - existente --- não existente								

Tabela 2.3 - Níveis Possíveis de Automação para um CAPP
(ROZENFELD, 1989)

2.4 - A Empresa Modelo de Manufatura Integrada

Os empreendimentos industriais tem buscado constantemente, ao longo dos anos, a melhoria da produtividade, de maneira a racionalizar os recursos investidos. Dessa maneira, há necessidade de ações internas às empresas para que sejam produzidos bens que satisfaçam as necessidades mercadológicas, que na atualidade se caracteriza pela diversificação e diminuição do ciclo de vida dos produtos. À luz desses fatos, o sistema fabril deverá responder a essas questões, sob pena de desaparecer frente seus concorrentes.

Sob a ótica da modernização, os aspectos relativos à flexibilidade e à automação são importantes, devido às influências sobre o comportamento e a produtividade do sistema de manufatura. Neste contexto, os sistemas de manufatura em fase de estudo e implantação, principalmente no primeiro mundo, passam pelo crivo das experiências pilotos desenvolvidas nos principais institutos de pesquisa e universidades. A partir dos resultados obtidos e da análise destes, as inovações ali testadas são incorporadas pelas empresas, com as devidas adaptações.

O desenvolvimento de uma Empresa Modelo de Manufatura Integrada (EMMI) no Departamento de Engenharia de Fabricação da FEM/UNICAMP vem no sentido de dotar de uma infra-estrutura física fabril, que permita atingir, paulatinamente, os estágios de evolução dos sistemas de manufatura, baseados no emprego da automação nos níveis de engenharia e no chão de fábrica.

Este projeto mais amplo tem por objetivos (DOCUMENTO EMMI/DEF,1993) o desenvolvimento de uma fábrica experimental de manufatura, integrando as atividades de Engenharia, Planejamento e Produção, buscando o estado da arte CIM, o desenvolvimento de produtos (*software*, sistema de informações, protocolos, etc.) para suportar o sistema de decisão nas atividades de Engenharia, Planejamento e Produção e a formação de recursos humanos nas diversas áreas de conhecimento envolvidas, visando atender demanda futura das empresas, na definição, implantação e operacionalização de células e de sistemas integrados de manufatura.

Com o desenvolvimento da EMMI, pretende-se criar uma infra-estrutura que permita o desenvolvimento de produtos e a promoção do conhecimento. Pretende-se que esta empresa modelo seja o laboratório experimental das entidades parceiras: universidades, institutos de pesquisa e empresas, e que os resultados obtidos permitam

criar condições reais e efetivas para atendimento das necessidades de modernização das empresas da região de Campinas.

2.4.1 - Cenários da EMMI

O projeto da EMMI conta com um cronograma evolutivo constituído de cenários. No cenário 1, será implantado uma célula flexível de manufatura (CFM) , que de modo geral são unidades especializadas em um processo, interligados por um sistema de transporte e manuseio de materiais. A interligação deste sistema é feita através de linhas de comunicação e o gerenciamento por um sistema computacional especializado. Dentro deste contexto, linhas de pesquisas tem desenvolvido trabalhos para suprir tais necessidades.

O cenário 2 compreende a estruturação do nível de engenharia, a implantação de uma rede local às atividades de engenharia e a supervisão da célula de manufatura, e a montagem de uma Célula de Inspeção. Neste nível, ter-se-á os seguintes módulos: Sistema Gráfico CAD/EUCLID IS; Sistema de Programação CNC/EUCLID IS; Sistema de PCP/MRP II; Sistema CEP; Sistema Custos ABC; Sistema Supervisor da Rede e Gerenciador de Base de Dados. Estes módulos estarão integrados, através do supervisor, à base de dados. Para o sistema gerenciador de base de dados será utilizado um software comercial (INGRESS), baseado no padrão SQL.

O cenário 3 prevê a expansão dos sistemas, tanto ao nível de engenharia como ao nível da célula de manufatura, com a incorporação dos módulos de planejamento de processo assistido por computador variante, que faz uso das vantagens de T.G., cuja estrutura é o escopo deste trabalho, e será abordada nos itens 3.4 e 3.5 e PCP fino. A figura 2.7 ilustra a estrutura do cenário 3. Nesta etapa os sistemas de CAPP, MRPII, PCP Fino e Custos ABC deverão estar integrados através do INGRESS, que é um Sistema de Gerenciamento de Base de Dados relacional, com linguagem SQL, que estará implantado no servidor da rede.

Neste ambiente de produção, dentro da sub-área "Desenvolvimento em Engenharia", cuja uma das linhas de pesquisa é o Planejamento do Processo Auxiliado por Computador, pretende-se desenvolver um programa para racionalizar as funções

chaves do planejamento do processo, como sequenciamento de operações, bem como a seleção de processos de usinagem e seleção de máquinas ferramenta.

Esquema do Cenário 3

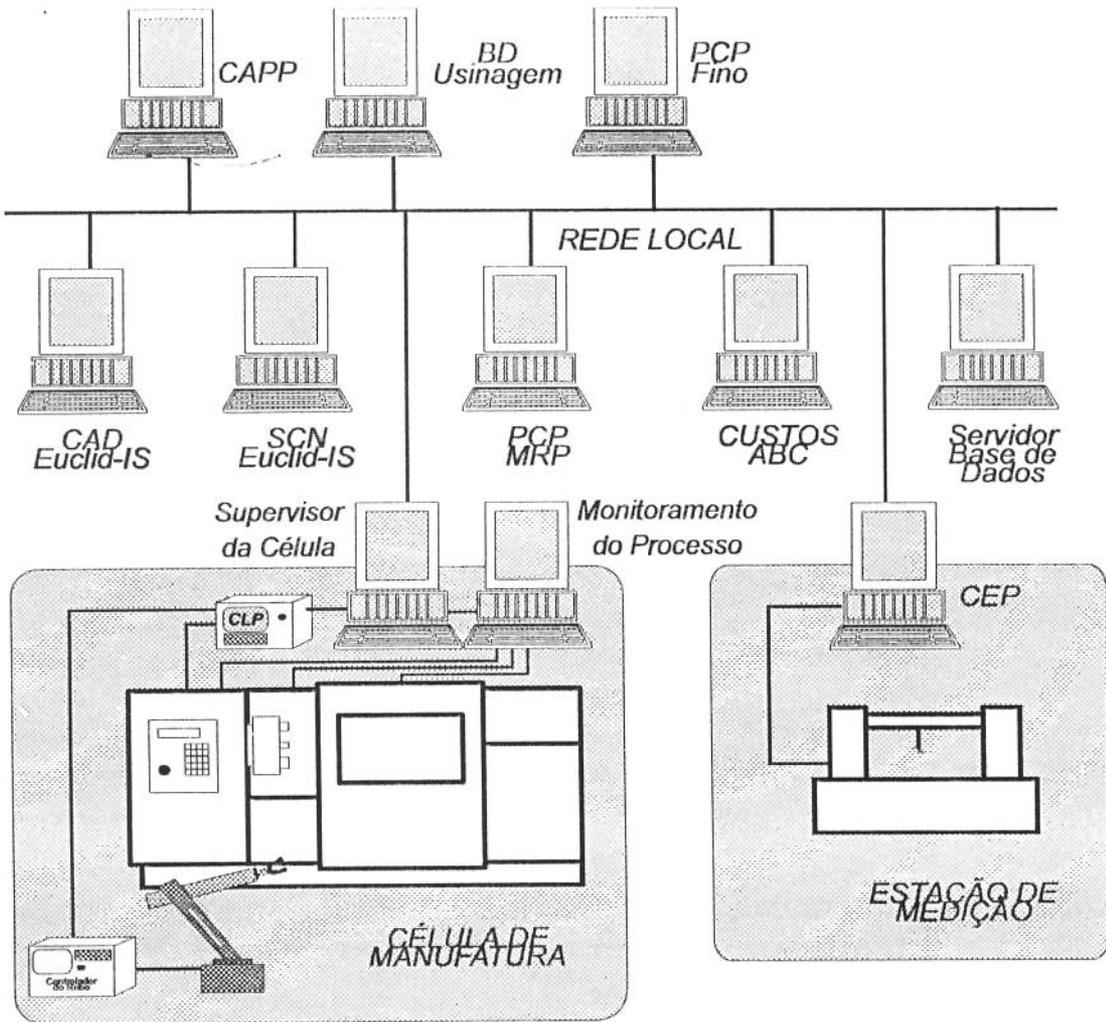


Figura 2.7 - Esquema Representativo do Cenário 3 da EMMI.
(Documento EMMI/DEF, 1993)

O Planejamento do Processo possibilita a geração dos documentos que detêm o conhecimento do nível de tecnologia utilizada por uma empresa. As informações contidas nas folhas de processos, obtidas pelo planejamento, tais como: a operação, a máquina, a ferramenta, as condições de usinagem e tempo de máquina possibilitam a

definição de custo, metas e parâmetros gerenciais para medidas de avaliação(por exemplo: eficiência e produtividade).

Desta forma, torna-se de suma importância o desenvolvimento de procedimentos que permitam a sistematização das informações necessárias ao Planejamento do Processo, através de um *software*, que irá apoiar a racionalização e a melhoria da produtividade dos planejadores.

Um outro ponto a ressaltar é que este sistema permitirá a padronização e a rápida recuperação de informações. Neste caso em particular, do plano de processo (ou roteiro de fabricação) de peças já planejadas anteriormente. Isto permitirá, que somente novos planos sejam gerados, quando a peça (ou novas peças) não estiver sido planejada anteriormente.

2.5 - Comentários

No terceiro capítulo, far-se-á uma análise sobre as reais condições de trabalho de grande parte das indústrias nacionais, sua organização, recursos de *hardware* e *software*, bem como as vantagens de um sistema CAPP para a função do planejamento, propondo um sistema interativo de planejamento de processo desenvolvido no Departamento de Engenharia de Fabricação da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas dentro de um projeto de Empresa Modelo de Manufatura Integrada (EMMI) .

3.1 - Introdução

No novo cenário mundial, a indústria nacional desorganizada e atrasada tecnologicamente, tem a função do planejamento de processo feita de forma não sistematizada, sendo que em muitas delas a decisão do "como fazer" é deixada para o operador, o que diminui a produtividade e a eficiência destas indústrias. Este problema tende a se agravar ainda mais com a abertura à concorrência externa, iniciada em novembro de 1992, de modo que, para a sua sobrevivência, é fundamental a aplicação de técnicas que racionalizem as funções de produção.

A maioria das indústrias nacionais geralmente não se utilizam de planos de processo, sendo que muitas decisões ficam por conta do operador de máquinas-ferramenta, e os setores de planejamento de processo, quando existem, não possuem qualquer sistematização, racionalização ou padronização de procedimentos; ou seja, cada plano é diferente em organização, conteúdo e *lay-out*. Cada planejador utiliza os processos a que está mais familiarizado, sem levar em consideração, muitas vezes, fatores econômicos e de capacidade, além de causar duplicação de planos de processo, desbalanceamento de carga, duplicação de ferramental e dispositivos, diminuição da eficiência, da flexibilidade e produtividade. (ROZENFELD, 1991)

Este fator, em conjunto com o atraso tecnológico e a dependência da indústria nacional, faz com que somente agora esta comece a tomar consciência das profundas alterações na filosofia de manufatura. A baixa produtividade e qualidade, causada por equipamentos e com poucas possibilidades de alterações, faz com que elas trabalhem

com grandes inventários e prazos excessivamente longos para introdução de novos produtos, tornando os custos de produção elevados.

Como último fator temos o baixo nível organizacional das indústrias nacionais, tal como cadastro de máquinas, operações padrão, ferramental e folha de processo, nem sempre correspondendo ao verdadeiro caminho que a peça segue para ser fabricada.

A maioria das firmas não tem recursos suficientes para permitir grandes investimentos na pesquisa relativa a CAPP. Em oposição a isto, elas não podem ignorar a grande quantidade de tempo manual que seus empregados gastam desenvolvendo planos de processo, por requerer muita perícia, conhecimento e tempo de chão de fábrica, além de terem custos, tempo e qualidade questionáveis. Esta perícia é difícil de repassar quando um funcionário deixa a firma.

3.2 - A Abordagem Proposta

Como uma solução está o desenvolvimento de um sistema variante, que produz alguns benefícios significativos, a um custo relativamente baixo e propicia um excelente meio para "aprender" o que será requerido para mais tarde desenvolver um sistema generativo. Uma pesquisa em empresas (WOLFE,1985) revelou economias significativas com a implementação de um sistema variante, a saber: 58% em planejamento de processo, 10% em esforço direto, 4% em material, 10% em refugo e retrabalho e 12% em ferramental.

Outro estudo em 53 indústrias americanas, que produzem grande número de itens (HYER & WEMMERLOU,1988), revela que benefícios da aplicação de T.G. em CAPP variante superam em muito os custos de implementação, como podemos ver na tabela 3.1, mesmo nas fases iniciais, somente com planejamentos simples e recuperação de famílias.

BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DE T.G. EM PLANEJAMENTO DE PROCESSO			
Benefício	Nº de empresas que reportaram este benefício	Redução média percentual	Redução percentual máxima
Redução no tempo requerido para criar um novo plano de processo	25	37.2	80
Aumento no número de planos de processo que refletem exatamente o uso de métodos de fabricação preferidos	24	41.2	90
Redução do número de planos de processo criados de improviso	21	43.5	95
Redução do número de planejadores de processo	8	27.0	80
Redução do número de planos de processo	7	38.5	80

Tabela 3.1 - Benefícios da Aplicação de T.G. em Sistemas de CAPP (WOLFE, 1985).

A implementação de um sistema variante ajuda a superar algumas dificuldades de ordem social, como a resistência humana a mudanças, relacionadas ao difícil rompimento com o paradigma do trabalho manual e confiança no sistema (EVERHEIM & NERTZEL, 1986).

3.3 - Os Recursos de *Hardware* e *Software* requeridos

Durante muito tempo, as estações de trabalho, ou *workstations*, ficaram relegadas ao papel de simples coadjuvantes no mundo da informática empresarial. As *workstations*, nos últimos dois anos, deixaram de ocupar apenas salas de laboratórios

científicos para executar, desde tarefas cotidianas de administração e planejamento até funções complexas como gerenciamento de informações em sistemas interligados.

Estes equipamentos se beneficiaram da grande onda de substituição dos componentes de grande porte por equipamentos menores e de alto desempenho, com uma série de vantagens (EXAME INFORMÁTICA, 1993). Com a aparência muitas vezes semelhantes à de microcomputadores, as *workstations* não necessitam de grandes instalações físicas, com salas isoladas em verdadeiras câmaras de ar refrigerado, para funcionar. Os modelos mais simples podem ficar sobre a mesa do usuário ou no chão de fábrica como se fossem micros pessoais.

Outra vantagem das estações é a grande variedade de *softwares* disponíveis no mercado, entre eles alguns *best-sellers* do mundo dos *mainframes*; além de poderem operar sozinhas, não necessitando de unidade central de processamento. As *workstations* apresentam sistemas de arquitetura aberto, ou seja, as especificações de seu projeto tornaram-se pública, como é o caso do UNIX, *software* responsável pelo controle de todas as operações realizadas pelos computadores da plataforma RISC, o que facilita a intercambialidade ou portabilidade (PRESSMAN, 1987) de aplicativos.

O UNIX foi projetado para ser multiusuário e multitarefa. Assim, muitos usuários podem acessar simultaneamente uma mesma máquina, sendo que o computador tem a habilidade para executar mais de uma aplicação ao mesmo tempo, sem interrupção das demais, provendo ganhos de produtividade e eficiência aos ambientes modernos altamente competitivos. Também fornece ambientes propícios para tarefas simultâneas de engenharia, onde projetistas, planejadores de processo e produção podem trabalhar juntos simultaneamente, para a execução de uma tarefa rumo a engenharia simultânea, derrubando as barreiras entre estas funções (DANTAS, 1994), visto que estes equipamentos não precisam interromper a criação de modelamento sólido enquanto cria a folha de processo e, ao mesmo tempo, envia e recebe informações da produção e outras áreas da empresa.

As estações vieram atender a necessidade de soluções intermediárias de *hardware* entre os micros pessoais e os *mainframes*, que dessem conta de aplicações tão distintas quanto modelamentos e animações gráficas, criação de desenhos e peças industriais ou mesmo controle de compra e venda administrativas e funções de planejamento.

Em áreas específicas como engenharia, projeto e manufatura auxiliadas por computador (CAE/CAD/CAM), a participação das *workstations* também seguem uma curva ascendente.

O guia brasileiro de automação industrial (GUIA, 1992) traz em seu balanço de 1992, que em 1990 havia em operação 125 *workstations* na indústria nacional; em 1991 este número subiu para 213, representando um aumento de 70,40% em relação a 1991; em 1992 este número foi para 422 *workstations* representando um acréscimo de 98,12% em relação ao ano anterior (este número representa agora 36,84% dos equipamentos de *hardware* utilizados para sistemas de engenharia, projeto e manufatura, assistidos por computador na indústria nacional). Isto mostra o crescente potencial de *softwares* aplicados a este tipo de equipamento.

As estações trazem a seu favor a grande quantidade de ferramentas e recursos incluídos em sua configuração básica, o que garante maior confiabilidade técnica. Com o aumento da performance e redução nos preços, esses equipamentos avançaram sobre um mercado antes de domínio absoluto dos microcomputadores. Grande quantidade de *softwares* tradicionais do ambiente DOS ganharam suas versões para UNIX, acrescentando a sua reconhecida capacidade de realizar cálculos complexos em tempo reduzido.

Apesar do confronto entre as duas tecnologias (PC e *workstations*) estar se tornando acirrado quanto à determinação de qual o padrão que irá dominar a informática industrial, há uma tendência do mercado em buscar um novo ambiente de computação multiplataforma, o que permitiria uma convivência simultânea entre PC, *workstations* e *mainframe* compartilhando os mesmos dados sem que o usuário perceba a diferença entre as máquinas (EXAME INFORMÁTICA, 1993) formando verdadeiras redes multitecnologia.

O módulo de recuperação e geração da sequência de fabricação está inserido dentro de um projeto de confecção do roteiro de fabricação, auxiliado por computador - CAPP - que é, por sua vez, uma ferramenta de um sistema de produção da empresa modelo de manufatura integrada assistida por computador, que será exposto no próximo item. Logo, outro fator a ser considerado é que o interfaceador gráfico adquirido, que será o futuro sistema gráfico do ambiente de produção modelo, o "Euclid'IS" roda em *workstation*, direcionando o projeto para ser codificado em ambiente UNIX destes equipamentos.

O projeto será ainda dirigido para máquinas-ferramenta tradicionais, devido a dois fatores: o primeiro é que apenas 15,9% (GUIA, 1992) dos tornos da indústria nacional são do tipo CNC, porém não podemos esquecer da grande produtividade e consequentemente, grande volume de produção deste tipo de equipamento na indústria nacional; Assim, um módulo para geração de programa CN pode ser desenvolvido, posteriormente, em outro projeto e integrado ao sistema.

A linguagem C não pode ser classificada simplesmente como uma linguagem de baixo ou de alto nível, sendo, portanto, considerada uma linguagem de nível médio no seu melhor sentido, ou seja, combinando elementos das linguagens de alto nível com a funcionalidade do Assembler (OLIVEIRA,1991).

A portabilidade é uma das principais características do código C, ou seja, podemos adaptar em um computador softwares desenvolvidos para computadores de tipos diferentes. O padrão ANSI assegura a portabilidade do código em outros ambientes. C permite também, a manipulação de *bits*, *bytes* e endereços com a simplicidade e facilidade que apenas uma linguagem de baixo nível pode proporcionar. Com isso ela ganha velocidade em relação às linguagens de alto nível.

Estes fatos, em conjunto com o fato do ambiente UNIX ter sido escrito em C, levou a escolher esta linguagem para confecção do código, facilitando as interfaces e trocas de dados com o sistema. A interface gráfica com o usuário é programada, através da biblioteca *Sunview*, por esta estar disponível na rede local e por ser uma linguagem orientada a objeto podendo, no futuro, ser facilmente modificada para objetos de sistemas mais modernos e amigáveis, como o OSF MOTIF.

3.4 - O Sistema Global do CAPP

O projeto global do CAPP desenvolvido é constituído de quatro sistemas interligados:

a.) Interface entre o sistema CAD AUTOCAD V.12 e o CAPP. Esta interface gráfica permite a integração (CHANG & WYSK, 1984) do sistema comercial CAD

ao planejamento do processo, de forma mais amigável possível, produzida através de um código com 25 dígitos que traz informações a respeito de características geométricas e de processo da peça em questão.

b.) Sistema de recuperação de planos de processos, baseado no conceito do método variante. Este utilizará os conceitos de famílias de peças e planos padrões, recuperando peças anteriormente planejadas.

c.) Sistema de geração de novas seqüências de fabricação, para peças não planejadas anteriormente, através dos conceitos de um inferenciador, que a partir de folhas master e de decisões baseadas em atributos previamente definidos gera uma seqüência sugerida para confecção de peça.

d.) Detalhamento de operações. Este terá a função de determinar as condições de usinagem, as ferramentas, os dispositivos, as máquinas-ferramenta, os tempos padrões de cada operação (e das sub-operações), através de desenvolvimento da Base de Dados e Gerenciamento da Base de Dados. Este módulo usará o banco de dados INGRESS. Este terá dupla função, sendo uma a desenvolver toda a Base de Dados necessária ao sistema do planejamento do processo e a outra o gerenciamento da Base de dados propriamente dita.

O método desenvolvido neste trabalho se refere a dois dos sistemas acima, a pesquisa e recuperação de seqüência e folha de processo para peças pertencentes aos bancos de dados do módulo e geração de nova seqüência de fabricação para peças não pertencente a estes.

3.5 - Um Sistema Proposto de CAPP Variante

O sistema proposto é apresentado na figura 3.1, sendo dividido em duas partes:

- A primeira de pesquisa e recuperação de planos existentes, com o auxílio de T.G.;
- A segunda de geração de novos planos, não pertencentes a nenhuma família padrão, através do inferenciador.

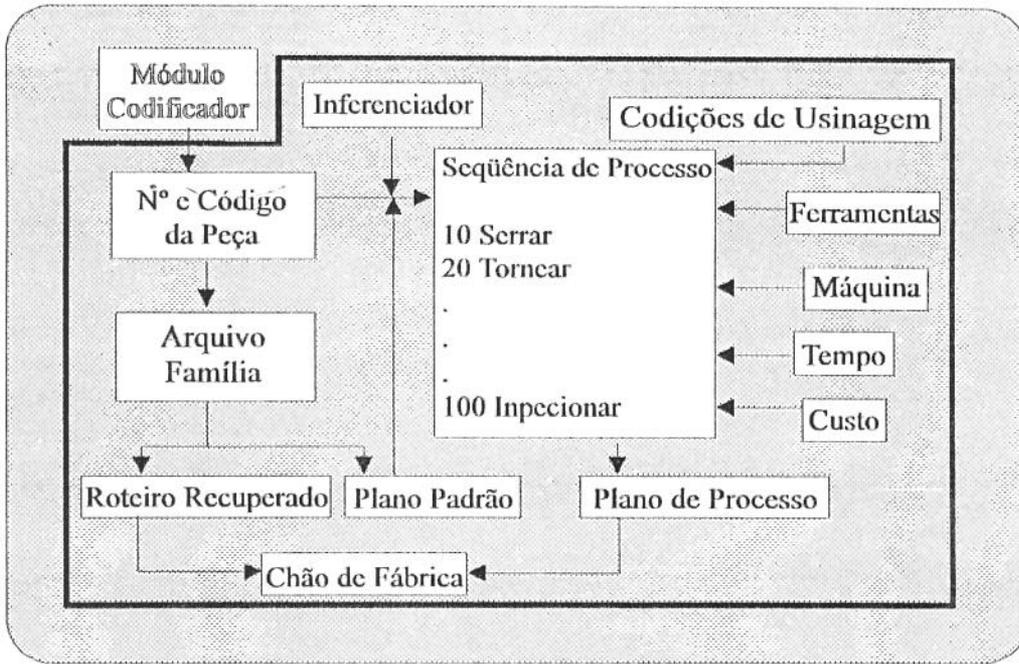


Figura 3.1 - Esquema Representativo do Sistema Proposto.

3.5.1 - Interface com o Módulo Codificador

Em sua primeira etapa o sistema é interfaceado com o módulo codificador (FREITAS & BATOCCHIO, 1993), desenvolvido paralelamente, que identifica características geométricas e de processo, além de dados como material e forma bruta da peça a ser fabricada. Este módulo fornece ao sistema um código, que define as famílias de peças, segundo suas similaridades. Arquivos são gerados com os planos de processo codificados, sendo possível acessá-los hierarquicamente de acordo com a família a que pertencem (BATOCCHIO, 1985).

3.5.2 - Lógica de Funcionamento

O CAPP variante age à medida em que, através de um código, de um sistema de codificação e classificação as características da peça são a ele fornecidas. Este verifica se a peça em questão possui um roteiro arquivado. Se positivo, este é recuperado e colocado à disposição do planejador. Caso contrário, o sistema classifica esta peça em determinada família padrão e acessa o roteiro de fabricação desta família,

colocando-a, igualmente, à disposição do planejador. A partir deste momento, o operador, que normalmente é um planejador de processo, altera o roteiro padrão, através de inclusões, deleções e modificações nas operações até que o roteiro para a nova peça esteja pronto. Este roteiro é então armazenado em uma base de dados para que se evite duplicações de roteiros, posteriores.

A partir da codificação de um novo componente, é realizada a pesquisa da existência do plano para a peça no arquivo de famílias. Caso esta peça já tenha sido planejada anteriormente, e seu plano esteja disponível no arquivo, é realizada sua recuperação, não necessitando de alterações, sendo liberado para o chão de fábrica. Se o componente não foi planejado, mas pertence a uma família padrão, existente no arquivo, o plano *master* da família é recuperado sendo colocado a disposição do planejador, em um editor de textos, para as alterações necessárias.

É então realizada a validação das informações existentes e, se necessário, os módulos de detalhamento (sobremetal, condições de usinagem, ferramental, tempos, etc..) são acionados para recalcular estes parâmetros.

Com o intuito de automatizar as macro funções do planejamento, para peças que não se enquadram nas condições anteriores (peças já planejadas ou pertencentes a famílias existentes), planos de processo, cedidos por uma indústria metal-mecânica, foram pesquisados, de modo a se associar ao código roteiros pré-estabelecidos, através de regras do inferenciador, que manipula as informações dos macro roteiros, verificando com os dígitos do código. Assim é gerado um editor que apresenta uma seqüência de operações básicas para orientar o início do planejamento de processo.

3.5.3 - A Pesquisa e Recuperação Usando Princípios de T.G.

A estrutura do sistema é montada em cima de uma lista ligada que contém as informações do planejamento de processo. Os dados que compõem cada operação do roteiro de fabricação deste plano são: o número da operação, a sua descrição e suas sub-operações. As sub-operações são compostas por seu número e descrição, máquina em que estas serão processadas e seus detalhamentos. O detalhamento de cada sub-operação é formado pelas dimensões (diâmetro e comprimento), ferramenta utilizada,

condições de usinagem (avanço, rotação, velocidade e profundidade de corte), número de passes e tempos de máquina.

Estes dados são manipulados pelos módulos e base de dados, como chaves para as pesquisas e cálculos. Estes são armazenados no código executável como estrutura de uma lista ligada, associada a cada operação. E o que é uma lista ligada?

Lista ligada (ARAKAKI, 1989; OLIVEIRA, 1991) é uma entidade bastante importante e uma das mais utilizadas em estrutura de dados. Lista ligada, ou simplesmente lista, é uma seqüência ordenada de dados denominada nós. Cada lista tem o seu nó inicial e o seu nó final, onde cada nó da lista apresenta o mesmo tipo de dados, embora o tipo de dados de uma lista possa variar de acordo com a aplicação.

Cada nó é composto basicamente por dois campos de informações: um campo de dados (onde se armazenam as informações relevantes à aplicação), e um campo de ponteiros (onde se armazenam os endereços, que implementam as conexões entre os nós). Cada campo de dados pode ser uma estrutura, que é uma aglomeração de dados de diferentes tipos formando uma estrutura composta. Assim pode-se ver uma lista ligada de estruturas como um pilha de caixas diferentes, que contenha dados independentes, unidos dentro de uma caixa maior, que é uma combinação de dados; sendo que estas caixas maiores são ligados entre si por cordas, formando uma estrutura única. A figura 3.2, mostra o projeto da lista ligada da estrutura, para o módulo do planejamento de processo.

As famílias de peças são definidas e formadas pelo módulo codificador, através de um código hierárquico com 6 dígitos do código, que contempla a macro-família de peças rotacionais e sua sub-família, a gama de comprimento e de diâmetro compreendido em cada sub-família. E a qualidade da acuracidade e acabamentosuperficial das peças, definindo quais os processos necessários para o cumprimento destas características.

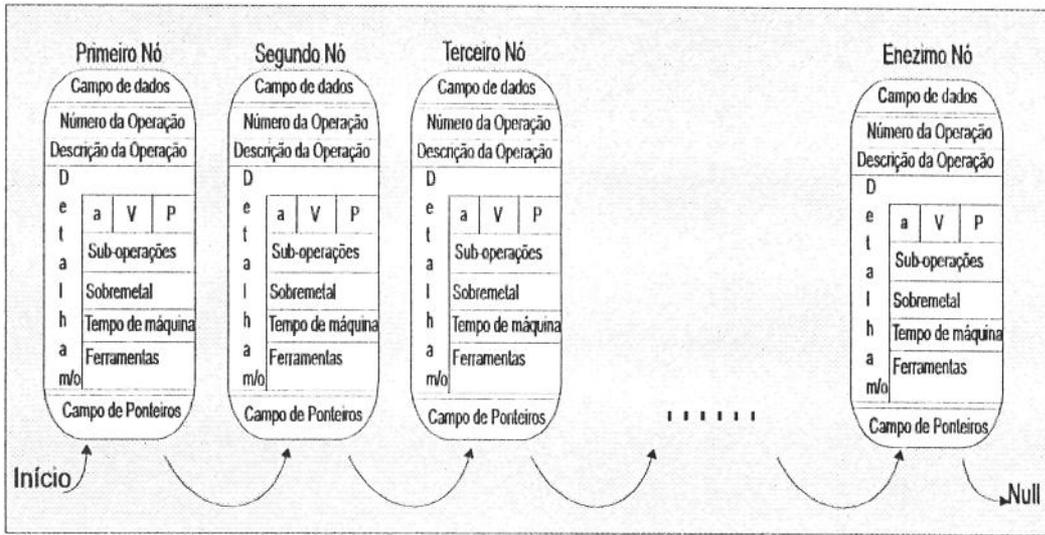


Figura 3.2 - Lista Ligada de Estruturas para o Plano de Processo.

Para a codificação projeto, a estrutura foi definida com a seguinte composição:

- uma variável inteira: que representa o número da operação;
- duas variáveis de caracteres: uma para a descrição da operação;
outra para a máquina ferramenta;
- um ARRAY de estrutura, com cinco posições, para as sub-operações que, por sua vez, é composta de:
 - variável seqüência de caracteres para ferramenta;
 - variáveis de valores reais para avanço por volta;
profundidade de corte;
velocidade de corte;
tempo de máquina;
diâmetro;
comprimento;
 - variáveis de valores inteiros para rotação de trabalho;
ângulo de usinagem;
número de passes;
- um ponteiro para o próximo nó da lista;

Deste modo, todo arquivo manipulado pelo módulo é montado de maneira que, quando lido ou gravado em disco ou no banco de dados, assume um formato adequado a se transformar em variáveis da lista ligada, o que será discutido neste item na função leitura.

Do módulo codificador vem o código da peça a ser planejada, o código da família a que esta peça pertence e seu número de projeto ou seu *part number*. Os arquivos contendo os planos são dispostos da seguinte maneira no disco: dentro de um diretório chamado famílias, pertencente a raiz do sistema, são criados sub-diretórios nomeados com o código de cada família que já passou pelo planejamento ou tem plano master programado no projeto do sistema. Dentro de cada sub-diretório, **código da família**, são colocados, além do arquivo contendo o plano *master* para esta família, todos os arquivos denominados *part number* que contém planos das peças planejadas. A figura 3.3, mostra a estrutura do diretório criado.

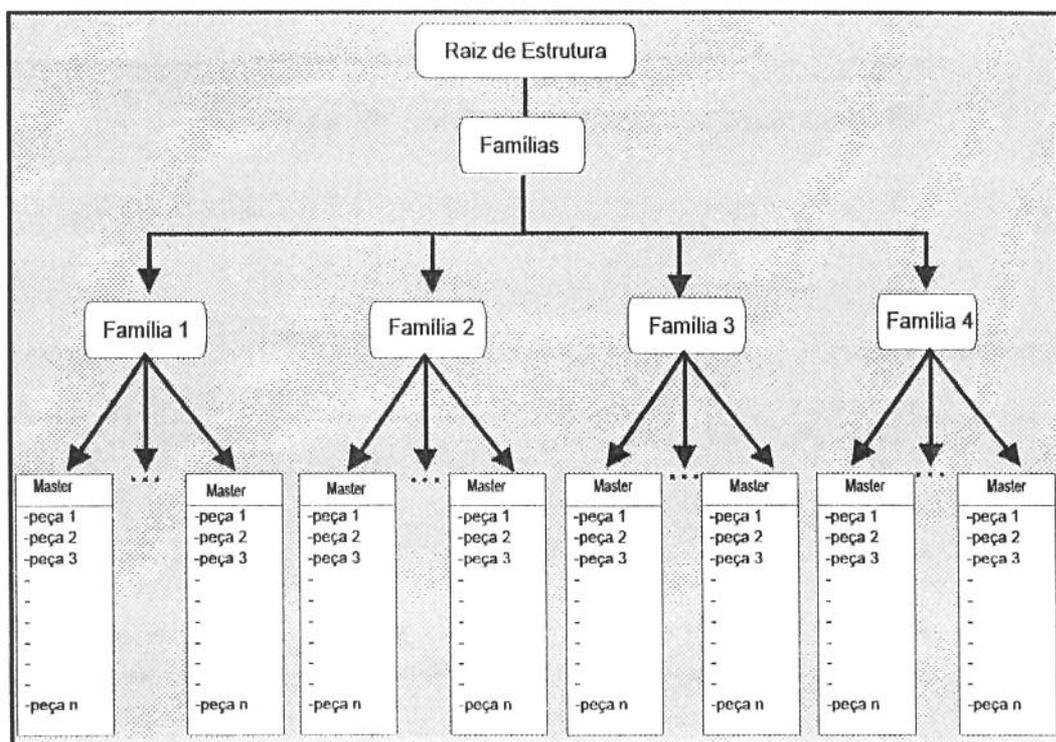


Figura 3.3 - Estrutura da Hierarquia dos Diretórios de Pesquisa.

Quando da pesquisa, partindo-se da raiz, usa-se uma função previamente programada, disponível na biblioteca padrão da linguagem C, para migrar a leitura para o sub-diretório código da família em questão. Se a variável de retorno desta função migração for nula, é porque a família não pertence a este diretório, ou seja, nenhuma peça desta família foi anteriormente planejada. Neste caso, um sub-diretório com este número é criado para armazenar o plano solicitado, abrindo-se uma nova família no diretório. O inferenciador é ativado para a criação da Sequência de Operações sugerida, dando início ao planejamento do processo da peça. Ao final do

planejamento, o plano de processo é arquivado no sub-diretório criado como o plano *master* da família e plano da peça planejada, estando preparado para armazenar os arquivos *part number* de planos pertencentes a esta família, futuramente planejados.

Se o retorno da função de migração for diferente de nulo, automaticamente o diretório de trabalho será o definido como "código da família", como resultado do sucesso da aplicação da função. Aplica-se agora, a função leitura de arquivo, que consiste de uma série. Tem como primeiro executável a verificação da existência ou não do arquivo a ser aberto, através da passagem do atributo "nome do arquivo" que é definido como o próprio *part number* da peça, e é proveniente do módulo codificador, o qual dispara o planejamento de processo.

Caso a verificação de existência retorne um valor diferente de nulo e o plano para peça já foi realizado, é então aberto, lido e posto à disposição para alterações por um planejador autorizado. Caso contrário, se o valor de retorno for nulo, o plano para a peça não se encontra no sub-diretório, significando que apesar de pertencer a esta família, esta peça não teve seu plano realizado no passado. Neste caso, é aberto o plano *master* para família, sendo colocado à disposição do planejador para alterações.

•A função leitura

A leitura de um arquivo plano de processo tem por objetivo a identificação dos elementos pertencentes ao plano que estão aí armazenados. Um plano de processo é formado por uma seqüência de operações, sub-operações e detalhamentos, sendo que estes últimos podem ou não estar completos, ou seja, para uma operação pode-se ter campos abertos no detalhamento, devido a não definição destes elementos pelo planejador ou módulos de detalhamento ou da necessidade de interrupção do planejamento incompleto, ou ainda da não significância de algum atributo para a operação em questão.

Deste modo, foi usado o conceito de atributo↔valor para esta identificação. Neste modelo, palavras chaves são usadas para especificar o valor de variáveis. Estas palavras são: MÁQUINA, FERRAMENTA, NULO, FIM, ...O arquivo é aberto e os primeiros campos de leitura são reservados para o número e nome, o código da peça e o código da família. A seguir, começa-se a montar os nós da lista ligada. Os campos são preenchidos segundo as palavras chaves, lendo-se o número e descrição da operação. Começa-se, então, a leitura e a atribuição das sub-operações e seus detalhamentos que são separados pela chave NULO. As sub-operações terminam

quando a chave FIM é encontrada. Neste momento, a operação é concluída e passa-se para um novo nó da lista ligada, até que seja encontrado o fim de arquivo.

Assim, ao final da função leitura, todos os parâmetros do planejamento de processo estão alocados na forma de variáveis, podendo ser manipuladas convenientemente, de acordo com as necessidades do módulo. Um exemplo de um arquivo para plano de processo é mostrado na figura 3.4

```
10 tornear MAQUINA torno_ROME_33-4
    SUB_OPERACAO 101 facear FERRAMENTA xxx-f DIAMETRO 100.00
    COMPRIMENTO 500.00 PROFUNDIDADE 4.0 AVANCO 0.50 VELOCIDADE 24.0 TEMPO
    1.30 ANGULO 90 ROTACAO 584 0
    SUB_OPERACAO 102 tornear_cilindrico_externo FERRAMENTA fff-p
    TEMPO 2.90 0 FIM
20 fresar
    SUB_OPERACAO 201 cortar_dentes FERRAMENTA kkk-1 AVANCO 2.30 0
    SUB_OPERACAO 202 acabar PROFUNDIDADE 1.50 ROTACAO 300 0 FIM
```

Figura 3.4 - Estrutura de Arquivo Plano de Processo
Atributo↔Valor

3.5.4 - O Inferenciador

Para a confecção do inferenciador foram construídas funções de manipulação da lista ligada exposta na figura 3.2. As funções trabalham de forma a manipular os ponteiros das estruturas, ou seja, as ligações de um nó até o próximo. A função de deleção quebra o ponteiro que liga o nó (leia-se operação) a ser deletado com o nó anterior e o liga ao próximo nó, após o nó deletado. Livrando a memória que guardava a estrutura deletada, a função está completa.

A função de inclusão aloca memória para a estrutura a ser incluída, quebra a estrutura antes da posição de inclusão, liga o ponteiro do nó anterior ao nó que será incluído e o ponteiro do nó da inclusão ao próximo nó, após o ponto de inclusão, preenchendo as variáveis da estrutura a ser incluída, tendo assim, uma nova lista agora

com a operação inclusa na posição desejada. Toda vez de uma inclusão ou deleção a função de renumeração é acionada automaticamente, alterando as variáveis número de operação, de modo que se tenha as operações numeradas em múltiplos de dez começando na operação dez.

A seqüência de operações (para peças inexistentes na base de dados e que não pertença a nenhuma das famílias que esta base contém) é montada através de "pseudo-decisões" feitas por um módulo denominado inferenciador.

Este inferenciador usa folhas de seqüência padrão para cada macro-família (eixos, engrenagens, cubos e capas). Esta seqüência pretende contemplar o máximo de operações possíveis, que a folha de processo de uma destas peças possa ter; ou seja, é hipotizada uma peça, que contenha todas as características, que uma de sua classe possa ter. Com este objetivo, foi realizada uma pesquisa em roteiros de fabricação de uma indústria metal-mecânica da área de transmissões automobilísticas. Primeiramente, estes roteiros foram agrupados, segundo as macro-famílias citadas acima; foi então confeccionada folhas que possuissem todas as operações que aparecessem em pelo menos um roteiro; obteve-se assim, seqüência básica de operações para cada macro-família de peças, mostradas nas tabelas de 3.2 a 3.5.

FAMILIA DE EIXOS	
Número da operação	Descrição da Operação
010	Facear e Centrar
020	Tornear
030	Furar
040	Retificar
050	Fresar Dentes
060	Chanfrar Dentes
070	Fresar Rasgo de Chavetas
080	Acabar Dentes
090	Fazer Rosca
100	Tratar termicamente
110	Inspecionar Dureza
120	Jatear
130	Lapidar Centros
140	Desempenar Polir
150	Rebarbar
160	Inspecionar Totalmente
170	Lavar
180	Testar Ruído e Contato
190	Passar óleo e armazenar

Tabela 3.2 - Sequência de Operações usada pelo Inferenciador de Eixos.

FAMILIA DE CUBOS	
Número da operação	Descrição da Operação
010	Tornear
020	Brochar
030	Fresar Dentes
040	Chanfrar Dentes
050	Acabar Dentes
060	Amassar Dentes
070	Fresar Rasgo de Chavetas
080	Lavar
090	Gravar
100	Tratar termicamente
110	Inspecionar Dureza
120	Retificar
130	Lavar
140	Inspecionar Totalmente
150	Passar óleo e armazenar

Tabela 3.3 - Sequência de Operações usada pelo Inferenciador de Cubos.

FAMILIA DE CAPAS	
Número da operação	Descrição da Operação
010	Tornear
020	Brochar Dentes
030	Chanfrar Dentes
040	Fresar
050	Lavar
060	Gravar
070	Tratar termicamente
080	Jatear
090	Retificar
100	Inspecionar Totalmente

Tabela 3.4 - Sequência de Operações usada pelo Inferenciador de Capas.

FAMILIA DE ENGRENAGENS	
Número da operação	Descrição da Operação
010	Tornear
020	Brochar
030	Fresar Dentes
040	Chanfrar Dentes
050	Fresar Rasgo de Chavetas
060	Furar Rasgo
070	Rebarbar
080	Gravar
090	Tratar Termicamente
100	Retificar
110	Lavar
120	Inspecionar
130	Testar Ruído
140	Passar óleo e armazenar

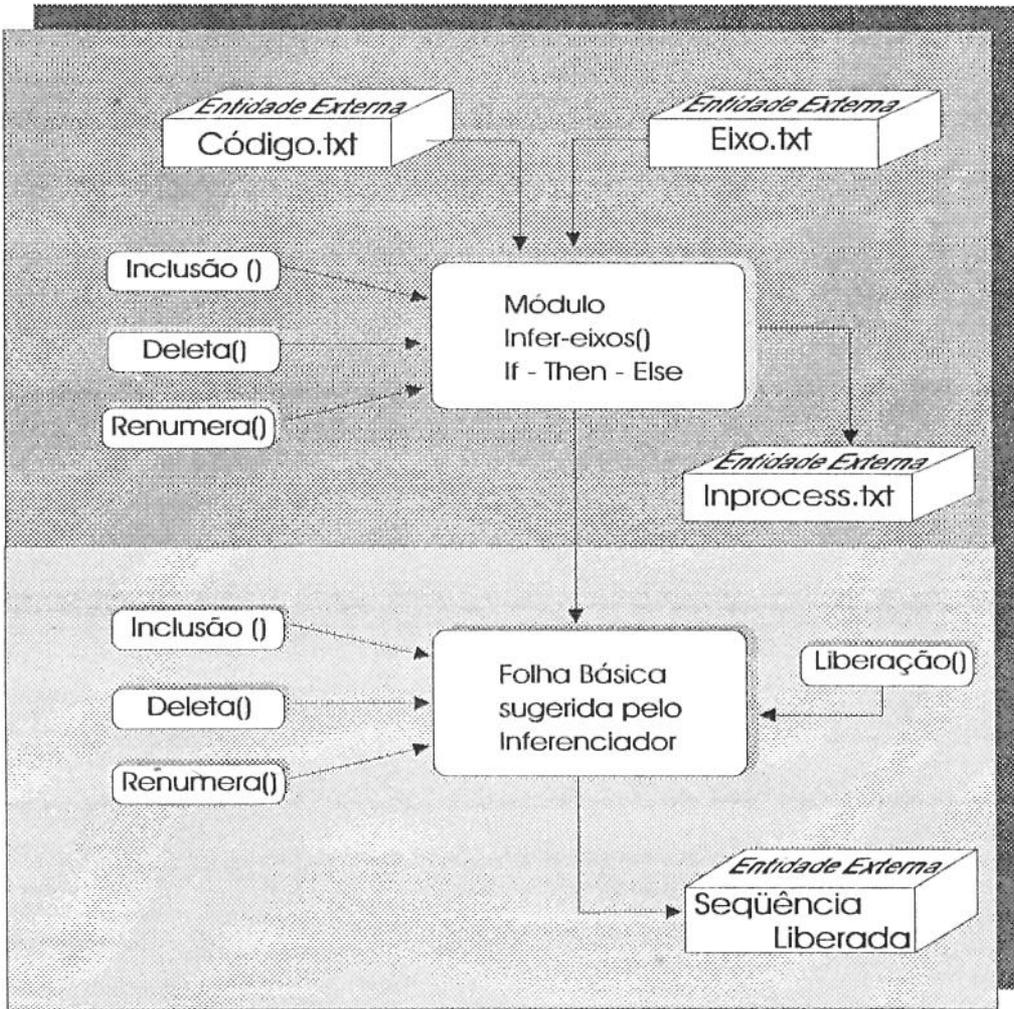
Tabela 3.4 - Sequência de Operações usada pelo Inferenciador de Engrenagens.

De posse destas macro-folhas foi projetado um banco de regras, denominado inferenciador, que será aqui demonstrado para a macro família eixos. Através da interação destas folhas com os dígitos do código, é tomada a decisão de se uma determinada operação irá ou não fazer parte da seqüência de operações básica sugerida para peça específica. Feita estas inferências, obtém-se uma seqüência de sugestão de operações para a confecção da peça. Esta é colocada à disposição do planejador, na tela de seqüência de operações, para que ele possa alterá-la, através das funções de edição disponíveis no objeto texto e das funções específicas do planejamento, inclusão, deleção, sub-operações e detalhamento das operações desejadas. Esta interface com o usuário foi programada utilizando-se do módulo de interface gráfica *Sunview* (SUNVIEW, 1990), explanada no item 4.2 do próximo capítulo.

Assim, a idéia básica é que, a cada nova peça que chegue ao módulo de planejamento, esta seja testada e se o componente necessitar de alguma nova operação que o inferenciador não possa satisfazer, este deve ser alterado através da inclusão da operação na macro-folha e da criação de uma regra de decisão para sua inclusão, ou

não, na folha de operações da peça. Deste modo, o módulo *dosoftware* deverá ter um tempo de laboratório dentro de uma indústria específica, com o apoio dos planejadores desta, para ser capaz de sugerir um planejamento aceitável e viável, em consistência e completeza, para o maior número de componentes o possível.

Na figura 3.5 temos um fluxograma do projeto do módulo de geração e liberação da "Seqüência de Operações". Este tem como variáveis de entrada externa o código e o arquivo da macro-família. Através das inferências, usando as funções de deleção, alteração e renumeração, o módulo "infer-eixos" sugere uma seqüência de operações; esta é arquivada em disco como *backup* de segurança com o nome de "*Inprocess.txt*". Neste momento do processo, o planejador pode alterar, com o auxílio da interface de gerenciamento de telas, a folha como desejado e após seu "ok" final, esta é liberada e arquivada com o nome desejado pelo planejador.



Legenda: Região Automatizada Região Interativa

Figura 3.5 - Visão Geral do Projeto do Módulo de Seqüência de Operações.

A figura 3.6 traz um trecho do algoritmo do inferenciador para eixos. O anexo A traz uma cópia do código utilizado para interface CAD do sistema, desenvolvido em módulo paralelo. Um exemplo de aplicação deste módulo será realizado no quarto capítulo.

```

void infer_eixos()
{
lercodigo("codigo.test"); (ler arquivo contendo dígitos do código)
if (codigo[0]==0)          (define que o elemento é um eixo)
    {
lerarqdisc("eixo.txt");    (ler arquivo master p/ eixos)
if (codigo[3]==0)
    deleta(30);           (deletar furação)
if (codigo[3]>=2)
    inclusao(31,"tornear_Furo_Interno","T1");
if (codigo[4]!=5 && codigo[4]!=6)
    {
deleta(50);  deleta(60);  deleta(80);  deleta(180);
    }
if (codigo[5]==0)
    deleta(130);
if (codigo[5]==3)
    inclusao(125,"Brochar_Rasgo_Interno","BI");
if (codigo[5]==2)
    {
if (codigo[13]>=1 && codigo[13]<=3)
    inclusao(35,"Brochar_interno","BI");
if (codigo[13]==0)
    {
inclusao (35,"Alargar_Furo","Al");
inclusao (36,"Retificar_Interno","RI");
    }
    }
if (codigo[7]==0)
    deleta(90);
switch (codigo[8])
    {
case 1 :    inclusao (185,"Recartilhar","T1");
            break;
case 2 :    inclusao (185,"Gravar","Prensa");
            break;
case 3 :    inclusao (185,"Recartilhar","T1");
            inclusao (186,"Gravar","Prensa");
            break;
    }
if (codigo[9]==0)
    deleta(70);
if (codigo[11]>=0 && codigo[11]<=3)
    if (codigo[2]==0)
        inclusao (35,"Cortar_Barra","T1");
    else
        inclusao (5,"Serrar","S1");
if (codigo[12]==0)
    {
deleta(100);deleta(110);deleta(120);deleta(140);
    }
if (codigo[13]>=2)
    deleta(40);
else

```

```

    incluir (125, "Retificar", "R1");
renumera();
escribirqdisc("inprocess.txt"); (grava arquivo em Backup)
}
)

```

Figura 3.6 - Trecho do Código Executável para o Inferenciador Eixos.

A programação do módulo para engrenagens segue o mesmo princípio do infer-eixos, explanado anteriormente. Um trecho do algoritmo do código inferenciador para engrenagens pode ser visto na figura 3.7. Analogamente ao infer-eixos, o módulo chama a folha hipotética que contém todas as operações possíveis em uma engrenagem e testa a relevância ou não da operação para uma engrenagem específica, através dos dígitos do código, sendo que o projeto da estrutura deste módulo é o mesmo que para eixos, nas interfaces arquivos externos e *backups*.

```

void infer_engrenagens()
{
lercodigo("codigo.test"); (ler arquivo contendo dígitos do código)
if (codigo[0] = =1)          (define que o elemento é uma engrenagem)
    {
lerarqdisc("engrenagens.txt");          (ler arquivo master p/
engrenagens)

if ((codigo[11]>=0) &&(codigo[11]<=3))
    inclusao(5, "Serrar", "S1");
if (codigo[9]= = 0)
    deleta(50);
if (codigo[8]! = 2)
    inclusao(55, "Gravar", "Prensa 1");
if (codigo[12]= =0)
    {
deleta(90);
deleta(100);
deleta(110);
    }
if ((codigo[13]>=1 && codidgo[13]<=3))
    inclusao(65, "Brochar_Rasgo_Interno", "BI");
if (codigo[13]= =0){
    inclusao(65, "Alargar_Rasgo_Interno", "Al 1");
    inclusao(65, "Retificar_Rasgo_Interno", "RP 1");}
renumera();
escribirqdisc("inprocess.txt"); (grava arquivo em Backup)
}}

```

Figura 3.7 - Trecho do Código Executável para o Inferenciador Engrenagens.

Por serem peças fabricadas em menores variedades e sem grandes variações do ponto de vista de processos de fabricação, a folha sugerida para estes tipos de peça é a própria folha master armazenada no sistema. Na implantação em uma indústria, deverá ser analisada as variações de diversidade processual das peças para se implementar mudanças nos inferenciadores, se necessário.

3.6 - Comentários

Todas as funções necessárias, tanto para o inferenciador quanto para as alterações manuais, foram programadas como módulos independentes, atentando para coesão e acoplamento (PRESSMAN,1987). Deste modo, tentou-se minimizar ao máximo as variáveis globais, fazendo com que as funções tivessem objetivos bem definidos, dando como característica ao produto uma modularização funcional.

Coesão é a medida do grau de ligação interna de um módulo e acoplamento é a medida da interdependência relativa entre os módulos. Assim, um módulo é coeso, quando ele tem funções específicas e pouca interação com outros módulos, isto simplifica seu entendimento, sua alteração e manutenção, além de diminuir a propagação de erros. Logo, deve-se procurar um alto nível de coesão global dos módulos e não de um em específico.

Acoplamento depende da complexidade das interfaces entre os módulos, ou seja, a troca de dados entre eles, visto que as saídas de um são entradas para os próximos. No projeto, deve-se concentrar na tentativa de conseguir baixo acoplamento, através de conectividade simples entre módulos, que resultam no fácil entendimento e diminui a propagação de erros, pois com interfaces complexas, torna-se difícil definir onde está o erro.

A seqüência de operações sugerida é colocada à disposição na tela texto, ficando a cargo do planejador a revisão, alteração e liberação da seqüência. A partir daí, passa-se a fase de detalhamento, sendo o primeiro passo a confecção das sub-operações e seus detalhamentos, como será explorado no quarto capítulo. Ainda no próximo capítulo será discutido a implementação da interface gráfica (telas) e a conexão entre as funções programadas no corpo do sistema, visto que o sistema *Sunview* funciona com os objetos ligados a *procedures* que realizam ações quando selecionados.

4.1 - Introdução

Como visto, no capítulo anterior, o sistema de recuperação e geração da seqüência de operações para o roteiro de fabricação pode ser analisado e dividido em dois segmentos: o primeiro é responsável pelas ações de pesquisa e possível recuperação da folha de processo, da inferência da seqüência de operações sugeridas e, no futuro, do gerenciamento das funções de detalhamento. Esta parte do sistema é responsável por toda a área de automatização do planejamento de processo, processado em tempo real de execução na memória **RAM**, interagindo com arquivos externos, sem a interferência do usuário do sistema.

O segundo segmento é responsável pela interferência do planejador no plano, através de alterações, inclusões e liberação da seqüência de operações, da supervisão e possível correção nos detalhamentos. Para que isto seja viável, um sistema gerenciador de telas, tornando amigável a interação usuário \leftrightarrow sistema, deve ser aplicado.

O gerenciador de interface gráfica, o *Sunview*, é um sistema codificado em linguagem C, estando disponível em forma de biblioteca, no sistema **UNIX** da rede local da Faculdade de Engenharia Mecânica e na rede da UNICAMP. Desde modo, este tem como primeiro ponto a seu favor a fácil interação com os módulos específicos programados para o sistema **CAPP**, visto que estes também são codificados nesta linguagem.

Por se utilizar dos paradigmas de orientação à objeto, coloca-se como uma forma de programação facilmente alterável e, portanto, portátil, quando outro sistema de gerenciamento de interface gráfica for utilizado. Assim, se houver a necessidade de mudança do sistema de gerenciamento, por outro mais moderno e com maiores facilidades de

programação e uso, ou por um já implantado em uma empresa específica, haverá somente a necessidade de alteração dos objetos para a nova interface e não de se programar todo o sistema novamente, sendo que todos as funções e procedimentos poderão ser utilizados sem alteração alguma.

4.2 - O Gerenciador de Interface Gráfica *SUNVIEW*

Sunview é uma ferramenta de interface com o usuário para suportar aplicações gráficas interativas rodando na forma de janelas. Tal ferramenta consiste em duas grandes áreas de funcionalidade: blocos construídos de saída e um sistema de gerenciamento de entradas que reflete as ações do usuário e troca de informações entre as janelas.

Os blocos de saída são divididos em quatro tipos:

- Telas de desenho;
- Telas de texto;
- Painéis (que suportam os botões e elementos de interação propriamente ditos);
- Terminais emuladores, nos quais ocorre a passagem de comandos e a execução de programas.

Estes quatro tipos, denominados *subwindows*, são arranjados dentro dos *frames* que pertencem a uma classe hierárquica superior, destinada a suportar as *subwindows*. O sistema de gerenciamento de entradas denominado *Notifier* distribui as entradas para as janelas apropriadas e coordena as trocas de dados entre as janelas.

•Orientação a objetos

A linguagem orientada a objetos é um paradigma de programação, pensando em seus componentes como objetos relacionados hierarquicamente na forma de conjuntos, ou seja, elementos de posições mais elevadas na hierarquia, contendo as características de todos os objetos de posição hierárquica menor, além de outras características próprias. Outros objetos

podem compartilhar algumas características e terem outras próprias. A figura 4.1 representa a hierarquia orientada a objetos.

A transmissão hereditária (ACEVEDO & BATOCCHIO, 1993) descreve a capacidade de construir hierarquias de objetos, nos quais - tal como numa árvore genealógica - vários objetos podem originar-se de um mesmo antepassado comum. Por outro lado, os objetos podem ser ampliados para produzir objetos mais complexos, ou com capacidade que não provêm dos seus objetos originários.

Entretanto, a cada objeto lhe é atribuído um conjunto de operações (as suas capacidades), as quais processam os elementos do objeto ou o objeto na sua totalidade. Usualmente estas operações estão contidas numa seção privada e são acessadas mediante o envio de mensagens através de uma interface. Assim os detalhes de implantação de tais operações ficam numa "caixa preta" para os elementos externos ao objeto. Através de mensagens, pode-se especificar quais são as operações desejadas de um objeto. Assim, apenas o objeto que recebe a mensagem determina como a operação requerida será implementada. Este princípio é chamado de ocultamento ou encapsulamento.

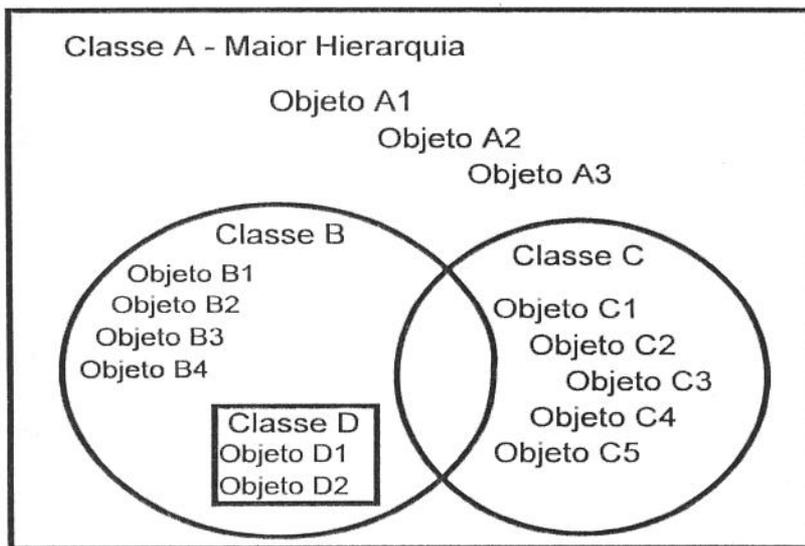


Figura 4.1 - Esquema Representativo da Hierarquia de Objetos

Como se vê no exemplo, um objeto da classe A contém todas as características das classes B e C, e por consequência, da classe D, além de suas próprias características. Um objeto da classe D não contém nenhuma característica que um objeto da classe B não contenha. Objetos das classes B e C compartilham algumas características e outras não, e assim por diante.

•Telas *Sunview*

Sunview é um sistema orientado a objetos, podendo-se pensar em seus objetos como sendo blocos visuais, usados para montar a interface específica de sua aplicação. Tecnicamente, um objeto é uma entidade do *Sunview* que apresenta uma interface funcional. A hierarquia dos objetos *Sunview* pode ser vista na figura 4.2 .

A mais importante classe de objetos são as *windows*. Contudo, nem todos os objetos são desta classe. Existem os *cursors*, os *icons*, os *scrowbars*, sendo que estes diferem por serem mais específicos que os *windows*.

Pode-se manipular um objeto pela passagem de parâmetros, ou manuseando suas funções associadas, atribuindo a um objeto um nome, dimensões, localização no conjunto, a sua paternidade (ou seja, a que *frame* pertence), a existência ou não *procedure* associado a sua seleção, e assim por diante. A idéia básica é ter-se um pequeno número de funções com uma grande lista de atributos, onde para definição de cada objeto são usados somente alguns dos atributos desta lista.

A classe *windows* inclui *frames* e *subwindows*. *Frames* não são usados sozinhos, pois seu propósito é conduzir *subwindows* de diferentes tipos em um quadro comum, de tal forma que possam operar como uma entidade única. Assim, *frames* são estruturas que não possuem representação gráfica, ou seja, não aparecem na tela por si só, e sim, suportam os *subwindows*, não sobrepostos em seus limites. Um *frame* pode ser base para outros *frames*, sendo esta uma técnica usada para sobreposição de *subwindows*, já que estas não podem se sobrepor sozinhas. Assim, quando da necessidade deste efeito, é criado um *subframe*, nos limites do *frame* principal, sobrepondo total ou parcialmente os *subwindows* que este contém, e sobre este segundo *frame* se alocam outros *subwindows* desejados. Isto é próprio para escolha de elementos de funções auxiliares, para mostrar texto de ajuda, mensagens, alertas... que aparecem sobre a tela principal de trabalho.

•As telas de Interface do Sistema CAPP

O módulo de interface do planejamento de processo é formado por dois painéis básicos, um de descrição e outro de funções, além de uma tela de edição de texto. O painel de identificação do planejamento de processo da peça requisitada é o primeiro passo para se disparar o início do planejamento. Neste painel, o usuário informa sua identificação, senha de acesso ao processo e a data da execução do plano. Ainda neste painel, há campos reservados para o número e nome da peça a ser planejada e o código da família a que esta peça pertence,

sendo estes campos preenchidos, automaticamente, com dados provenientes do módulo de classificação e codificação, que é quem dispara o processo de planejamento. No painel de funções, encontram-se os botões que disparam as *procedures*, as quais manipulam a seqüência de operações básicas, sugerida pelo inferenciador.

Com o código da família, variável do painel de identificação, o sistema pesquisa a existência da família a que esta peça pertence, no diretório de famílias. Caso a resposta seja afirmativa, a seqüência de operações *master* desta família, que está armazenada na forma de um arquivo texto, é recuperada e colocada na tela texto, para a avaliação do planejador.

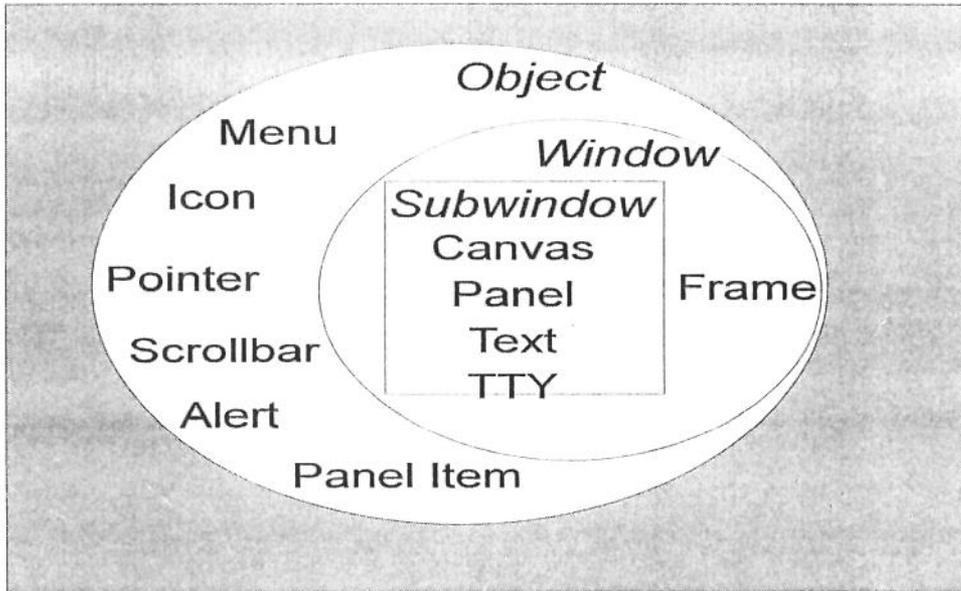


Figura 4.2 - Hierarquia dos Objetos da Biblioteca *Sunview* (SUNVIEW,1990).

No caso de uma resposta negativa, com a variável número da peça também do painel de descrição, o sistema gerenciador de dados pesquisa se a peça já foi planejada no passado. Em caso afirmativo, a seqüência de operação é colocada na tela texto e uma mensagem é dada ao planejador, indicando que este plano está liberado, sendo disponível para consulta, ou liberação para produção no chão de fábrica. A alteração deste plano só é autorizada pelo administrador do sistema. Deste modo, o planejador comum é obrigado a sair do módulo.

Caso a resposta da pesquisa para peça seja negativa, o módulo de inferência é acionado para gerar a seqüência de operações básicas sugerida para a peça. Esta seqüência é mandada para tela texto e colocada à disposição do planejador para as alterações necessárias. Assim, por qualquer um dos dois caminhos, folha *master* ou seqüência inferenciada, ter-se-á

na tela texto uma seqüência de operações editada na forma de um número identificador da operação e a descrição da mesma. Deste modo, com a solicitação do planejamento para determinada peça, o usuário se deparará com um texto na tela principal do sistema, mostrado na figura 4.3, que poderá ser, dependendo das respostas das pesquisas anteriores, uma seqüência sugerida, para posterior detalhamento, o plano *master* da família para alterações ou o plano pronto da peça em questão para a liberação.

Planejamento de Processo Assistido por Computador DEF - FEM - UNICAMP

USER-ID: Marcelo Gomes PASSWORD: *****
 Número da Peça: 02f6657
 Nome da Peça: Eixo ré, empresa Tal.Ltda
 Código da Família: 251032 Data: 01/06/94

SUB OPERAÇÕES CARREGAR
 DELETAR SALVAR
 INSERIR TELATY Encerrar

Seqüência Básica de Operações

Nº da Operação	Descrição da Operação
10	Serrar
20	Tornear Externo
30	Virar a Peça
40	Tornear Externo
50	Fresar rasgo de Chaveta
60	Retificar
70	Inspecionar

Figura 4.3 - Estado Inicial do Planejamento

Neste momento, o usuário usa os botões disponíveis no painel de funções, que são ligados a procedimentos de manipulação da lista ligada, para alterar a lista de operações. O usuário pode incluir ou deletar operações, alterá-las e duplicá-las, sendo que a lista ligada é automaticamente rearranjada para acomodar as alterações. Assim, para incluir uma nova operação, digita-se o número e a descrição desta operação e aciona-se o botão "INCLUIR"; é aberto um nó na lista, na posição desejada e esta é incluída. Para a deleção de determinada operação, marca-se com o cursor qual a deleção desejada e aciona-se o botão "DELETAR"; o

nó correspondente a esta operação é excluído da lista. Após cada alteração a lista é renumerada para se manter numa seqüência múltipla de dez.

Acionando o botão "SUB_OPERAÇÃO" o *frame* de sub-operações, contendo o painel de comando e a tela texto de sub-operações, é ativado; a *procedure* testa se existe uma seleção, a qual diz ao sistema que operação está sendo detalhada. Com a seleção, a função localiza o nó da estrutura que está sendo trabalhado, separa as variáveis de número e descrição das sub-operações em questão, os diâmetros, comprimentos e ângulos quando procedentes e a serem usinados, alocando-os na forma de uma lista na tela de sub-operações. Se as sub-operações ainda não foram inseridas, o sistema dará uma mensagem da não existência do detalhamento para a operação e pede ao usuário que complete os campos desejados.

Nos botões disponíveis no painel, "DELETAR" e "INSERIR" as *procedures*, de mesma função da estrutura de operações, funcionam de maneira semelhante, com a diferença de que aqui é a estrutura com os dados de detalhamento e seus componentes que são incluídas e deletadas, sendo processada a renumeração das sub-operações, após a alteração e a ligação de campos para as informações de detalhamento correspondentes à inclusão, ou também, liberando estas informações na deleção. A inclusão é lida através do texto em *high light*, assim como a deleção.

O botão "DETALHAMENTO" ativa o painel de detalhamento que contém o botão "DONE" de saída e campos para as variáveis, condição de usinagem, ferramenta, máquina e tempo. As *strings* destes campos são variáveis que podem ser lidas e modificadas através de "macros" específicas do *Sunview*. A função selecionará no nó que está sendo trabalhado, a sub-operação detalhada, através do número da sub-operação em *high light* e alocará a variável da lista correspondente a cada campo do painel de detalhamento, definindo como "não disponível" os campos vazios. O usuário pode alterar os campos preenchidos ou preencher os campos vazios pois, no acionamento do botão "done" desta tela, as variáveis são registradas e passadas à estrutura da lista que está sendo trabalhada, atualizando as informações que foram alteradas, desativando-se, assim, a tela de detalhamento. Para o detalhamento de uma nova sub-operação, esta deve ser marcada e o botão "DETALHAMENTO" novamente acionado.

O botão "DONE" do painel de sub-operações limpa a tela texto sub-operações e desativa seu *frame* sub-operações. Para o detalhamento de uma nova operação deve-se marcar a operação a ser detalhada e acionar o botão "SUB OPERAÇÕES".

No painel principal, o botão TTY/Tela aciona uma tela de execuções, sendo útil para a interface com o sistema UNIX ou a passagem de parâmetros como a criação de um novo sub-

diretório, um pedido de listagem dos arquivos de um sub-diretório, etc. Esta tela contém um painel com um botão "DONE" que desativa a tela.

O botão "SALVAR" aciona uma *procedure* que percorre todos os nós da estrutura, armazenando o plano na forma do arquivo padrão, conveniente para sua posterior leitura, se necessário, utilizando os conceitos de atributos explicados acima. Esta função grava o plano no sub-diretório "código da família" com o nome "número da peça.txt". Caso este arquivo já exista, isto é, se a peça já foi planejada e seu plano foi alterado, o sistema testa se o usuário tem autoridade para isso através de seu "USER-ID" e pergunta se há autorização para sobreposição do plano.

O botão "ENCERRAR" salva o plano em um arquivo temporário como *backup* de segurança, testa se todas as informações foram atualizadas na estrutura e chama as rotinas de saída responsáveis pelo questionamento da real decisão de sair do modelo. Se a resposta for afirmativa, desativa o sistema liberando a UNIX para outras funções.

A função mensagem programada é a geração de uma tela centralizada no sistema, que passa sempre um alerta ou uma sugestão para o usuário, pedindo a sua conivência com o que está ou irá acontecer, através de um botão "continue" que desativa a mensagem e libera o usuário para que tome as providências cabíveis. A figura 4.4 representa a interface do módulo CAPP com as sub-operações e o detalhamento ativados.

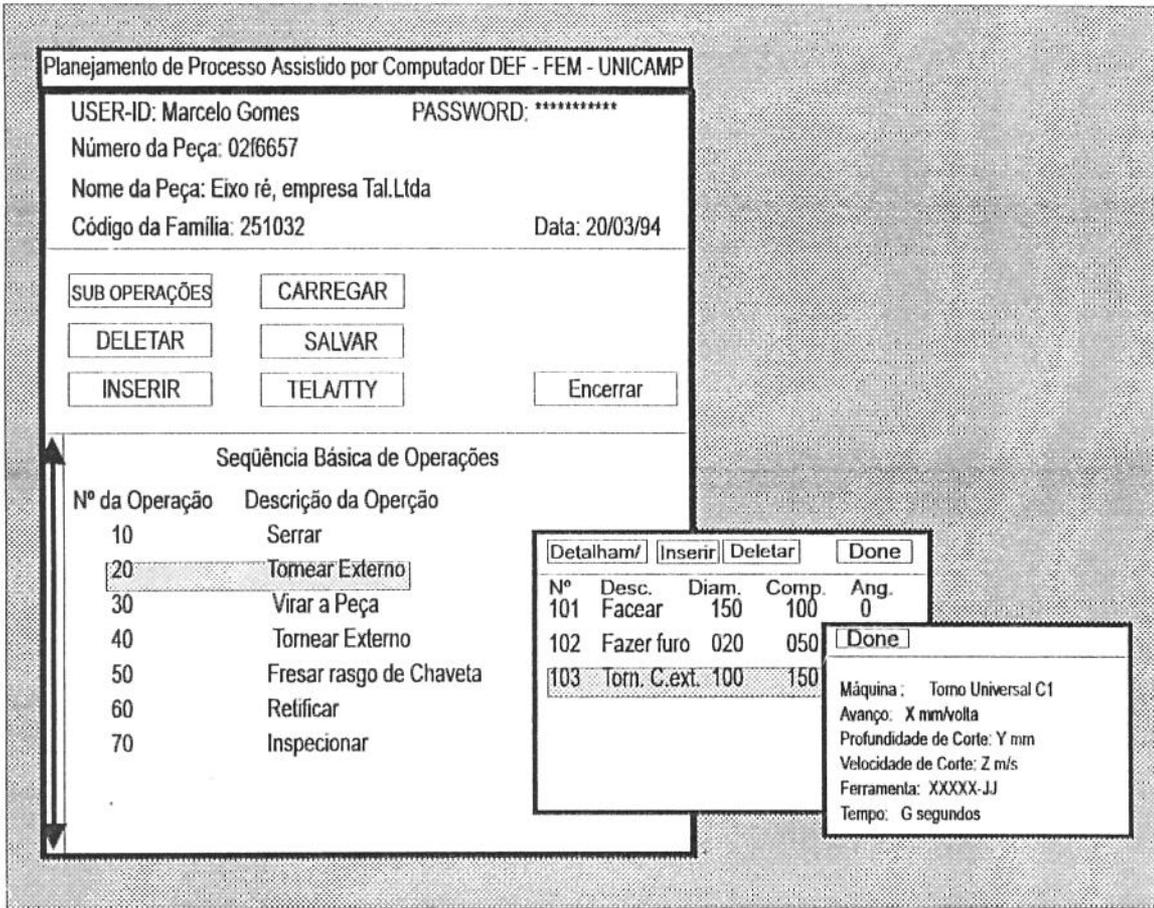


Figura 4.4 - Interface Gráfica do Módulo CAPP, com as Janelas de Detalhamento Ativadas.

•Ligação das funções à interface

A codificação de uma interface *Sunview* é realizada através da definição de um *frame* raiz (*frame-base*), que suportará todos os elementos da interface (painéis, telas e *frames* secundários). *Frames* secundários podem suportar outros painéis e telas. Painéis, por sua vez, suportam seus elementos de interface (botões, menus, labels...) e estes botões devem ser ligados às *procedures* (através de `PANEL_NOTIFY_PROC`), que serão executadas com o seu acionamento. O fragmento de código da figura 4.5 mostra claramente esta relação de definição e ligação de *procedures*.

```

main(argc,argv)
    int argc;
    char **argv;
{
    ...
frame_base = window_create (NULL,FRAME,
    FRAME_ARGS,      argc,argv,
    FRAME_LABEL,    Planejamento de Processo Assistido por Computador -
DEF - FEM - UNICAMP",
    FRAME_NO_CONFIRM,    TRUE,
    0);
frame_sub_operacoes = window_create(frame_base,FRAME,
    WIN_X,          320,
    WIN_Y,          350,
    0);
panel_sub_operacoes = window_create(frame_sub_operacoes,PANEL,
    WIN_COLUMNS,    57,
    0);
(void) panel_create_item(panel_sub_operacoes,PANEL_BUTTON,
    PANEL_LABEL_IMAGE,
    panel_button_image(panel_sub_operacoes,"INSERIR",0,0),
    PANEL_NOTIFY_PROC,    inser_sub_proc,
    0);
    ...
}

void inser_sub_proc()
{
    ...
if (!strlen(insercaosub=get_selection()))
    {
        msg("Selecione qual sub operacao sera inserida.",0);
        return;
    }
else
    {
        chdir((char *) "tmp");
        ...
    }
chdir((char *) "..");
}

```

Fig.4.5 - Fragmento de Codificação, Definição de Interface Gráfica.

Com o paradigma de orientação a objeto, as *procedures* se tornam intimamente ligadas a um objeto (botão ↔ procedure). Deste modo, a modularidade se torna mais definida e funcional, dando maior coesão e menor acoplamento ao sistema, facilitando os testes, visto que as *procedures* são independentes e com funções bem definidas.

4.3 - Um Exemplo de Aplicação

Quando uma requisição de planejamento chega ao módulo, vindo do sistema de codificação e classificação, traz as informações do solicitante, o número da peça e o código da família a que a peça pertence. Tendo a solicitação de planejamento para um eixo que será usinado a partir de um forjado, necessitará de tratamento térmico, que não possua nenhuma gravação e tenha as características geométricas mostradas na figura 4.6; o código desta peça será (conforme SCC do apêndice A) a seguinte seqüência numérica:

[0 5 4 1 4 1 0 1 0 2 1 5 3 1 5 6 4 4 1 0 1 0 1 1 0]

Se este eixo pertencer a uma das famílias de peças do diretório Famílias, o plano da peça ou o plano *master* para sua família será recuperado. Supondo que este não pertence as bases de dados o inferenciador é ativado. Através do primeiro dígito, o módulo reconhece este desenho como um eixo e recupera o arquivo da macro-família "eixo.txt" (macro folha para a macro família eixos); de posse da seqüência contida neste arquivo, são realizadas as inferências programadas no trecho do código executável responsável pelo inferenciador para eixos, mostrado anteriormente. Assim é realizada a decisão, usando as funções de deleção, inclusão e renumeração, da relevância ou não da permanência das operações na seqüência. Ao término da execução, obtém-se a seqüência básica sugerida para este eixo, que é gravado no arquivo *inprocess.txt*, mostrado na tabela 4.1.

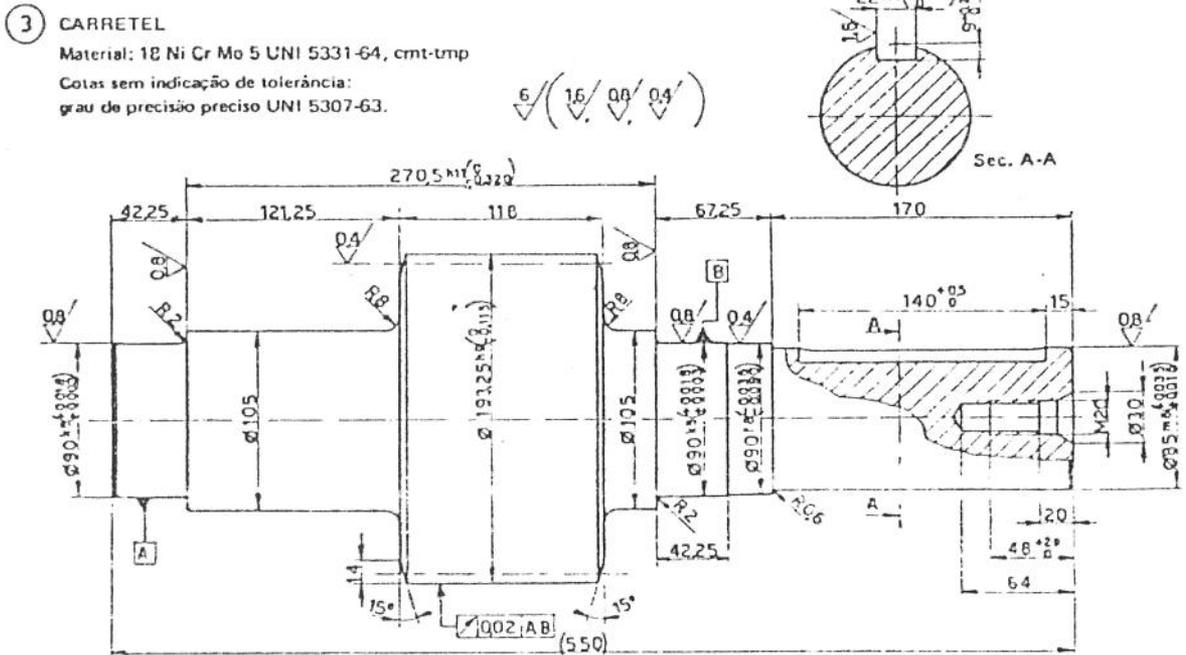


Figura 4.6 - Eixo Exemplo (MANFÉ & SCARATO).

010	Facear_e_Centrar	FIM
020	Tornear	FIM
030	Furar	FIM
040	Retif_Cilind_Ext	FIM
050	Fresar_Dentes	FIM
060	Chanfrar_Dentes	FIM
070	Fresar_Rasgo_Chav	FIM
080	Acabar_Dentes	FIM
090	Fazer_Rosca	FIM
100	Tratar_Termic	FIM
110	Inspecionar_Dureza	FIM
120	Jatear	FIM
130	Retificar	FIM
140	Lapidar_Centros	FIM
150	Desempenar	FIM
160	Rebarbar	FIM
170	Insp_Totalmente	FIM
180	Lavar	FIM
190	Testar_Ruido/Contato	FIM
200	Passar_Oleo/Armaz	FIM

Tabela 4.1 - Arquivo *inprocess.txt*; Seqüência de Operações Sugerida pelo Inferenciador para o Eixo.

Obs. A palavra chave FIM no final de cada operação indica que o detalhamento da operação acabou, devendo-se migrar para um novo nó da lista ligada.

Com o auxílio das *procedures*, ativadas pelos botões contidos no painel de funções, o planejador altera a seqüência que está à disposição na tela texto, revisando, alterando e liberando a seqüência para o detalhamento, através da confecção das sub-operações. O arquivo mostrado na Tabela 4.2, é um exemplo de uma seqüência revisada para o eixo em questão.

Neste momento do planejamento, o planejador passa para o detalhamento de cada operação começando pelas suas sub-operações e a posterior definição dos dispositivos e condições de usinagem, que nesta fase do projeto fica a cargo do próprio planejador. A definição automática destes dados é planejada para a integração com o módulo de detalhamento, com o uso do banco de dados INGREGS, que será explanado no próximo ítem.

010	Facear_e_Centrar	FIM
020	Tornear	FIM
030	Furar	FIM
040	Rosquear M20	FIM
050	Retif_Cilind_Ext	FIM
060	Fresar_Dentes	FIM
070	Chanfrar_Dentes	FIM
080	Fresar_Rasgo_Chav	FIM
090	Acabar_Dentes	FIM
100	Tratar_Termic	FIM
110	Inspecionar_Dureza	FIM
120	Jatear	FIM
130	Retificar	FIM
140	Lapidar_Centros	FIM
150	Desempenar	FIM
160	Rebarbar	FIM
170	Insp_Totalmente	FIM
180	Lavar	FIM
190	Testar_Ruido/Contato	FIM
200	Passar_Oleo/Armaz	FIM

Tabela 4.2 - Seqüência de Operações Revisada pelo Planejador

Após o detalhamento estar completo, o planejador salva o plano na base de dados de família como o plano master desta nova família e o plano da peça em questão, gerando um arquivo texto, que é exemplificado na figura 4.7. Este arquivo fica disponível na base de dados para pesquisas futuras, eliminando a necessidade de um novo planejamento completo para peças que pertençam a esta família. Neste arquivo tem-se exemplo de um plano de processo que foi parcialmente detalhado, sendo que a operação 10 Facear e Centrar está completamente detalhado, a operação 20 Tornear está parcialmente detalhada e o restante das operações não estão detalhadas, mostrando a versatilidade do sistema no que se refere a interrupções desejadas no planejamento.

10 Facear_e_Centrar MAQUINA Faceadora Churchili SUB_OPERACAO 101 facear
FERRAMENTA CNMG120404/PCLNR2525M12 DIAMETRO 194.00 COMPRIMENTO 552.00
PROFUNDIDADE 2.00 AVANCO 0.30 VELOCIDADE 240.00 TEMPO 0.20 ROTACAO 1200 0
SUB_OPERACAO 102 centrar FERRAMENTA Broca0005x.018 DIAMETRO 10.00
COMPRIMENTO 20.00 AVANCO 0.30 VELOCIDADE 200.00 ROTACAO 1500 0 SUB_OPERACAO
103 virar-peca FERRAMENTA manual 0 SUB_OPERACAO 104 facear FERRAMENTA
CNMG120404/PCLNR2525M12 DIAMETRO 194.00 COMPRIMENTO 550.00 PROFUNDIDADE
2.00 AVANCO 0.30 VELOCIDADE 240.00 TEMPO 0.20 ROTACAO 1200 0 SUB_OPERACAO
105 centrar FERRAMENTA Broca005x0.18 DIAMETRO 10.00 COMPRIMENTO 10.00
AVANCO 0.30 VELOCIDADE 200.00 TEMPO 0.05 ROTACAO 1500 0 FIM
20 Torneiar MAQUINA Torno-Churchili SUB_OPERACAO 201 Desbastar_ext
FERRAMENTA TNMG220412/LTMR2525-12 DIAMETRO 281.50 COMPRIMENTO 194.00
PROFUNDIDADE 0.40 AVANCO 3.0 VELOCIDADE 195.00 TEMPO 0.50 ROTACAO 1800 0
SUB_OPERACAO- 202 Desbastar_ext DIAMETRO 163.50 COMPRIMENTO 106.00 0
SUB_OPERACAO 203 Desbastar_ext 0 FIM
30 Furar MAQUINA FIM
40 Fazer_Rosca FIM
50 Retif_Cilind_Ext MAQUINA FIM
60 Fresar_Dentes FIM
70 Chanfrar_Dentes FIM
80 Fresar_Rasgo_Chav FIM
90 Acabar_Dentes FIM
100 Tratar_Termic FIM
110 Inspeccionar Dureza FIM
120 Jatear FIM
130 Retificar FIM
140 Lapidar_Centros FIM
150 Desempenar FIM
160 Rebarbar FIM
170 Insp_Totalmente FIM
180 Lavar FIM
190 Testar_Ruido/Contato FIM
200 Passar_Oleo/Armaz FIM

Figura 4.7 - Arquivo de Plano de Processo na Base de Dados de Famílias

A seguir o plano pode ser liberado para o chão de fábrica na forma de folhas de processo, um esboço desta folha para um trecho da operação 10 pode ser visto na figura 4.8.

```
10 Facear_e_Centrar      MAQUINA Faceadora Churchili
    101 facear    Pastilha CNMG120404
                        Porta Ferramenta PCLNR25252M12
                        Diâmetro 194.00mm
                        Comprimento 552.00mm
                        Profundidade de Corte 2.00mm
                        Avanço de Corte 0.30 mm/volta
                        Rotação de Trabalho 1200 Rpm
                        Velocidade de Corte 240.00 m/min
                        Tempo de Máquina 0.20 min
    102 centrar   Broca0005x.018
                        Diâmetro 10.00mm
                        Comprimento 20.00mm
                        Avanço de Corte 0.30 mm/volta
                        Rotação de Trabalho 1500 Rpm
                        Velocidade de Corte 200.00 m/min
                        Tempo de Máquina 0.05 min
                        .
                        .
                        .
```

Figura 4.8 - Esboço de um Trecho da Folha de Processo.

4.4 - Interface com as bases de dados de detalhamento

O próximo passo para a conclusão do projeto é a automatização das pesquisas de detalhamento de operações. Para definição das informações do detalhamento, o módulo "base de dados", desenvolvido paralelamente, irá buscar informações no módulo de geração da folha de processo, de modo a obter subsídios para a pesquisa necessária. Como exemplo, para a pesquisa da máquina que executará determinada operação, o módulo necessitará do nome da operação, diâmetro e comprimento da peça a ser usinada e dará como resposta uma lista de

máquinas capazes de realizarem a operação, interativamente ou através de um banco de regras (escolher sempre a máquina de menores dimensões, por exemplo). Assim, a máquina é determinada.

Como estes dados estão disponíveis na estrutura na forma de variáveis, a interface está preparada e o algoritmo para pesquisa é mostrado na figura 4.9.

```
aux = primeiro;
Enquanto aux for diferente de NULL
{
    leia nome operação;
    leia diâmetro;
    leia comprimento;
    pergunta a B.D. quais máquinas atendem (operação,
diâmetro, comprimento)
    decida qual máquina usar;
    nó para próximo nó;
}
```

Figura 4.9 - Algoritmo para Interface com Base de Dados de Máquina.

Revendo a estrutura da lista ligada, **primeiro** marca o primeiro nó da lista e *aux* é definido como um ponteiro que passeia pela lista passando de nó em nó, até chegar ao final da lista marcado por NULL.

Da mesma maneira foi preparada a interface para as outras pesquisas (ferramentas, condições de usinagem e sobremetal). As informações resultando do sobremetal serão embutidas no diâmetro e comprimento a serem usinados, sendo que o número de passes é calculado pela diferença de dimensões e a profundidade de corte. Isto é desenvolvido em paralelo no módulo "sobremetal".

A base de dados de detalhamento foi definida através da prototipação de uma empresa fictícia, capaz de realizar as operações de torneamento, fresamento, furação, mandrilamento e retífica. Para cada tipo de máquina ferramenta foram estabelecidas faixas de aplicação, definidas como fator de formação de família. No caso da fresa, retífica e mandriladora, este fator foi o curso longitudinal da mesa; para as furadeiras, a capacidade de furação e para o torno, o diâmetro sobre o barramento. As máquinas escolhidas e suas características foram retiradas do manual de máquinas ferramentas (MÁQUINAS, 1989; MÁQUINAS, s.d.). A tabela de escolha de máquina para tornos é mostrado na tabela 4.3.

Desta forma de posse dos dígitos, faixa de comprimento e faixa de diâmetro a ser usinado, dados vindo do S.C.C., escolhe-se as máquinas capazes de cumprir a operação. Desta lista de máquina, testa-se a faixa de velocidades e de potência, dados contidos no detalhamento, quando duas máquinas são apresentadas ao usuário que escolhe a mais conveniente.

Fator para formação de família: diâmetro sobre o barramento [mm].						
TORNOS UNIVERSAIS						
Faixa [mm]	Fabricante	Modelo	Diâmetro Barram/o [mm]	Distância de Pontas [mm]	Velocidade da árvore [rpm]	Potência [kw]
até 300	Nardini	TT-125 S/E	255	500	50 - 2000	1,2
	Nardini	TT-150 AS/AE	300	750	100 - 2500	1,9
de 301 até 500	Romi	ID-20	325	500	50 - 2500	3,7
	Nardini	ND-250 BS/BE	500	1000	25 - 2000	5,5
de 501 até 700	Romi	S-30A	515	1000	22,4 - 1800	5,9
	Romi	S-30B	660	1500	16 - 1250	5,9
de 701 até 900	Nardini	NE-400B	800	1500	18 - 1500	7,4
	Romi	E-55AII	850	2000	5 - 1060	22
mais de - 900	Nardini	AM-500B	1000	4000	8,5 - 750	22
	Romi	E-65B	1700	5000	8 - 600	36,8

Tabela 4.3 - Levantamento do Banco de Dados de Máquinas Ferramentas.

No próximo capítulo serão apresentadas as conclusões e a sugestão para trabalhos futuros.

5.1 - Conclusões

O desenvolvimento do sistema e os testes realizados, nos passos de *engenharia de software*, permite concluir, que:

Tem-se, pela aplicação deste método de planejamento de processo, a maior rapidez e consistência da função e o aumento da padronização dos planos de processo de uma indústria. Estas vantagens são atingidas primeiro, pela agilidade proporcionada pelo uso de tecnologia de grupo nas funções de pesquisa e recuperação de planos já existentes e, em segundo, pelo uso de inferências para a determinação das macros funções do planejamento.

Sendo a experiência do planejador armazenada na forma de base de dados, empresas podem perpetuar os conhecimentos de bons planejadores, de modo a tentarem minimizar o impacto sofrido com a perda destes profissionais. Além disto, este é um bom método para o aprendizado dos requisitos necessários para o desenvolvimento de sistema generativos de geração de planos de fabricação.

Com o desenvolvimento progressivo dos módulos de detalhamento é possível para a empresa absorver e acreditar nas vantagens oferecidas por um sistema que tem como base a aplicação de tecnologia de grupo. Desta forma, o sistema pode ganhar portabilidade, visto que a automação gradativa das funções permite a inclusão de cálculos e características específicas da organização de diferentes empresas em seu planejamento de processo.

A codificação de um projeto de planejamento proporciona, antes de tudo, um caminho de conhecimento da estrutura organizacional da empresa, visto que necessita de um levantamento detalhado do inventário desta para a montagem das bases de dados.

De acordo com a classificação (ROZENFELD, 1989) do nível de automação de CAPP, apresentado na tabela 2.3, o projeto se enquadra entre o nível 3 e 4 de automação, sendo a determinação de processos e operações automático, a seqüência, maquinário, sub-operações, ferramental e condições de usinagem dos processos determinados, interativamente, dependendo intensamente do planejador de processo.

Visto que a qualidade dos novos planos dependem, essencialmente, dos planos guardados na base de dados, a fase que exige maior esforço no projeto de um sistema variante para planejamento de processo é a confecção dos planos padrões e a definição das famílias, devido a vasta gama de conhecimentos necessários para esta tarefa.

Com a ampliação das interfaces com os módulos de detalhamento, o sistema de geração e detalhamento da seqüência de fabricação, pode ser completo para absorver as características (ângulos, dispositivos, lubrificantes, ...) da programação de novas operações, sendo o esforço para isto relativamente pequeno.

A interface gráfica, sendo programada através do metodologia de programação orientada a objeto, proporciona uma maneira de aumentar o encapsulamento das funções, através da ligação independente destas com os botões, diminuindo, assim, o esforço e tempo para a manutenção do sistema. Além disto a portabilidade é consideravelmente ampliada, visto que para a mudança das bases de *software*, é necessária somente redefinição dos objetos, sendo que as funções podem ser usadas sem nenhuma alteração.

5.2 - Sugestões para Novos Trabalhos

Como trabalhos futuros são propostos:

- Um sistema de decisão para a escolha de máquinas ferramentas que leve em conta o parque instalado e a disponibilidade dos equipamentos, integrando, assim, o sistema com um módulo de planejamento de produção.
- Implementação do módulo de tempos de máquinas, já projetado neste sistema, visando a integração deste com módulos de custos e planejamento de produção.
- Integração com um módulo de geração de programa de comando numérico, de modo a ampliar o horizonte de aplicação do sistema.
- Montagem e adaptação do sistema a base de dados de detalhamento de uma empresa real, visando a se fazer um levantamento das vantagens reais em qualidade, custo e tempo da aplicação de tecnologia de grupo ao planejamento de processo.
- Uma simulação de variações nas formações de famílias para se avaliar o impacto que esta mudança causaria nas pesquisas, estabelecendo a otimização na formação de famílias.

• **Referências Bibliográficas**

- ACEVEDO, O.M.D & BATOCCHIO, A. "O Paradigma de Objeto e o seu uso como Ferramenta de Especificação de Sistemas de Manufatura", Seminário Apresentado no Departamento de Engenharia de Fabricação, Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp, dezembro 1993.
- AGOSTINHO, O.L. "Manufatura Integrada por Computador". *IPESI - Metal-Mecânica*, nov./dez. 1991.
- ALTING, L. & ZHANG, H. "Computer Aided Process Planning: The State of the Art Survey". *International Journal of Production Research*, vol.27, n.4, p.553-585, 1989.
- ARAKAKI, R. et al. *Fundamentos de Programação C*. Livros Técnicos e Científicos Editora, 1989.
- BATOCCHIO, A., "Um Sistema de Racionalização e Recuperação de Desenhos, através de Computador e Tecnologia de Grupo", IVº Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Centro de Tecnologia, Unimep, p. 01-21, 1985.
- BURBIDGE, J.L. "The Introduction of Group Technology", Editora Heinemann, London, 1975.
- CHANG, T.C. - *An Introduction to Automated Process Planning Systems*. Prentice-Hall International Inc., London, 1985.

- CHANG, T.C. & WYSK, A.R. "Integrating CAD and CAM through Automated Process Planning". *International Journal of Production Research*, vol.22, n.5, p.877-894, 1984.
- CHO, K.K. et al. "Development of Integrated Process Planning and Monitoring System for Turning Operation". *Annals of the CIRP*, vol.40/1, p.423-427, 1991.
- DANTAS, V. "A hora e a vez da Engenharia Simultânea" in *Automação e Indústria*. Ano 6, nº 53, p. 8-13, 1994.
- DOCUMENTO EMMI, Documento de Implantação da Empresa Modelo de Manufatura Integrada, Departamento de Engenharia de Fabricação, Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp, 1993.
- EMERSON, C. & HAM, I. "An Automated Coding and Process Planning System Using a DEC PDP-10". *Computer & Industrial Engineering*, vol.6, n.2, p.159-168, 1982.
- EVERHEIM, W. & NERTZEL, R. "Present Restrictions in Industrial Application of AI - Techniques". *Annals of the CIRP*, vol.35, p.441-442, fev./1986.
- EXAME INFORMÁTICA. "Workstations para o dia-a-dia". *Revista Exame Informática*, Editora Abril, p.64-68, 1993.
- FREITAS, P.H.F. & BATOCCHIO, A. - "Um Sistema de Codificação e Classificação Aplicado ao Planejamento de Processo". Seminário Apresentado no DEF/FEM/UNICAMP, Setembro, 1993.
- GIUSTI, F.; SANTOCHI, M. & DINI, G. "COATS: an Expert Module for Optimal Tool Selection", *Annals of the CIRP*, vol.35, p.337-354, jan./1986.
- GOMES, M.L. & BATOCCHIO, A. "Generation and Recovery of Process Sheets in a Variant Planning Approach". Preprinter of IFIP - WG5.7 Working Conference on Evaluation of Production Management Methods, Gramado, RS, mar./1994.
- GONÇALVES FILHO, E.V. & CHRISTIANO, A.C. "Implantando Células de Manufatura em uma Empresa com Fabricação sob Encomenda" in: *Gestão e Produção*, UFSC, p.49-58, vol.1, n.1, abr./1994.
- GROOVER, M.P. *CAD/CAM: Computer Aided Design and Manufacturing*. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, p.298-321, 1984.
- GROOVER, M.P. *Automation Production Systems and Computer Integrated Manufacturing*. New Jersey, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1987.
- GUIA Brasileiro de Automação Industrial 1992. SOBRACON, Sociedade Brasileira de Comando Numérico, Automação Industrial e Computação Gráfica, p.01-19, 1992.

- HOUTZEEL, A. "Computer Assisted Process Planning - A First Step Towards Integration", Proc.AUTOFACT WEST, Society of Manufacturing Engineers, Anaheim, Calif., nov./1980, p.801-808.
- HOUTZEEL, A. *A Management Overview of Group Technology. Group Technology at Work*. SME, Michigan, p.3-30, 1984.
- HYER, L.N. & WEMMERLOU, U. "Assessing the Ments of Group Technology". *Manufacturing Engineering*, p.107-109, august/1988.
- HYER, L.N. "Management's Guide Group Technology". *Group Technology at work*, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Michigan, 1984.
- LI, R.K. & BEDWORTH, D.D. "A Framework for the Integration of Computer Aided Design and Computer Aided Process Planning". *Computers in Industry*, vol.14, n.4, p.395-413, 1988.
- LI, J., HAN, C. & HAM, I. "CORE-CAPP: A Company-Oriented Semi-Generative Computer Automated Process Planning System". 19th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Penn. State, USA, 1-2 jun./1987, p.219-225.
- LORINI, F.J. *Tecnologia de Grupo e Organização da Manufatura*. Editora da UFSC, 1993.
- MANFÉ, G.; POZZA, R. & SCARATO, G. *Manual de Desenho Técnico - Curso Completo*. Vol. 3, p. 163, Renovada Livros Culturais LTDA, 1982.
- MÁQUINAS Ferramentas Brasileiras. 3º ed., ABIMAQ/SINDIMAQ, p.272, s.d.
- MÁQUINAS Ferramentas Brasileiras. 5º ed., ABIMAQ/SINDIMAQ, p.240, 1989.
- OLIVEIRA, H.C. *Apostila de Turbo C*. Usp, São Carlos, p.136, 1991.
- OSTRENGA, M. et al. *Guia da Ernst & Young - Gestão Total dos Custos*. Editora Record, Rio de Janeiro, 1993.
- PANDE, S.S. & PRABHU, B.S. "An Expert System for Automatic Extraction of Machining Features and Tooling Selection for Automats". *Computer Aided Engineering Journal*, p.99-103, august/1990.
- PORTO, A.J.V. "Desenvolvimento de um Método de Integração do Planejamento de Processo de Fabricação e do Planejamento e Controle de Produção, Baseado na Flexibilidade do Processo de Fabricação", Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1990.
- PRESSMAN, R.S. *Software Enginnering, a Practitioner's Approach*. McGraw-Hill International Editions, 1987.

- ROZENFELD, H. "Desenvolvimento de um Sistema Integrado de CAPP para Realidade Nacional". X COBEM, Rio de Janeiro, ABCM, p.511-514, 1989.
- ROZENFELD, H. & MÓDOLO, D.L. "Sistema Modular de Planejamento de Processo (CAPP) visando Padronização e Maior Velocidade ao Planejamento de Processo". XI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, São Paulo, p.591-593, dez./1991.
- ROZENFELD, H. "Sistema CAPP: seus Conceitos, Casos Práticos e Desenvolvimento". *Máquinas e Metais*, p.124-142, mar./1994.
- SAKURAI, M. "The Influence of Factory Automation on Management Accounting Practices: a Study of Japanese Companies" in: KAPLAN, R. *Measures for Manufacturing Excellence*, Harvard Business School, p.39-62, 1990.
- SUNVIEW *System Programmer's Guide, Pixrect Reference*. Sun Microsystems, Inc., Revision A of 27 march, 1990.
- VAN ' T ERVE, A.H. & KALS, H.J.J. "XPLANE, a Generative Computer Aided Process Planning System for Part Manufacturing". *Annals of the CIRP*, vol.35, p.325-329, jan./1986.
- WANG, H.P. & WYSK, A.R. "Intelligent Reasoning for Process Planning". *Computers in Industry*, n.8, p.293-309, 1987.
- WOLFE, P.M. "Computer Aided Process Planning is Link between CAD and CAM, CIMS Series, Part 20, Computer-Integrated Manufacturing Systems, *Industrial Engineering*, ago./1985.
- WRIGHT, A.J. et al. "EXCAP and ICAPP: Integrated Knowledge Based Systems for Process Planning Components". 19th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Penn. State, USA, 1-2 jun./1987, p.309-313.

- **Material Consultado**

- AGOSTINHO, O.L. - "Estudo da Flexibilidade dos Meios Produtivos". Tese de doutorado, EESC/USP, 1985.
- AGOSTINHO, O.L. *Princípios de Engenharia de Fabricação Mecânica - Tolerâncias, Ajustes, Desvios e Análise de Dimensões*. Editora Edgard Blücher Ltda., 1977.

- DESKSET Environment Reference Guide. Sun Microsystems, Inc., Revision A of 11 June, 1990.
- FRENCH, T.E. & CHARLES, J.V. *Desenho Técnico e Tecnologia Gráfica*. Editora Globo, 1985.
- KELLY-BOOTLE, S. *Dominando o Turbo C*. Editora Ciência Moderna Ltda, 1989.
- LEONARD, R. & KOENIGSBERGER, F. "Conditions for the Introduction of Group Technology". Proceedings of the XIII International Machine Tools Design and Research Conference, p.135-144, 1975.
- MIZRAHI, V. V. *Treinamento em Linguagem C*. McGraw-Hill, Módulo 1, 1990.
- MÓDULO CONSULTORIA E INFORMÁTICA *Linguagem C: Programação e Aplicação*. 3ª edição, Rio de Janeiro, LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 1989.
- MOOR, D. "Methods for Advanced Group Technology in Integrated with CAD/CAM". Project Nr.2623, Espirit ' 91 Conference Proceedings, p.661-672, 1991.
- NYE, A. *Xlib Programming Manual for Version 11. The Definitive Guides to the Xwindow System*. vol.01, O' Reilly & Associates, Inc., 1990.
- O MANUAL do Engenheiro. Editora Hemus, vol.03, 1982.
- OSF/MOTIF Programmer's Guide. Open Software Foundation. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1991.
- PAPPAS, C.H. & MURRAY W.H. *Turbo C++: Completo e Total*. Osborne/McGraw-Hill, 1991.
- PROGRAMMER'S Language Guides. Sun Microsystems, Inc., Revision A of 27 march, 1990.
- ROSSI, M. *Maquinas Ferramentas Modernas (Tempos de Usinagem)*. Cap XXXVII, pp. 967-1022, sd.
- SUNVIEW Programmer's Guide. Sun Microsystems, Inc., Revision A of 27 march, 1990.

APÊNDICE A : Sistema de Codificação e Classificação

DÍGITO 1

- 0 - Eixos
- 1 - Engrenagens
- 2 - Cubos
- 3 - Capas
- 4 - Fusos
- 5 - Polias
- 6 - Bucha
- .
- .
- .

DÍGITO 2

- 0 - Comprimento Total $L < 50$ mm
- 1 - Comprimento Total $50 \leq L < 100$ mm
- 2 - Comprimento Total $100 \leq L < 150$ mm
- 3 - Comprimento Total $150 \leq L < 250$ mm
- 4 - Comprimento Total $250 \leq L < 450$ mm
- 5 - Comprimento Total $450 \leq L < 650$ mm
- 6 - Comprimento Total $650 \leq L < 850$ mm
- 7 - Comprimento Total $850 \leq L < 1050$ mm
- 8 - Comprimento Total $1050 \leq L < 1500$ mm
- 9 - Comprimento Total $L \geq 1500$ mm

DÍGITO 3

- 0 - Maior Diâmetro $D < 50$ mm
- 1 - Maior Diâmetro $50 \leq D < 75$ mm
- 2 - Maior Diâmetro $75 \leq D < 100$ mm
- 3 - Maior Diâmetro $100 \leq D < 150$ mm
- 4 - Maior Diâmetro $150 \leq D < 250$ mm
- 5 - Maior Diâmetro $250 \leq D < 350$ mm
- 6 - Maior Diâmetro $350 \leq D < 500$ mm
- 7 - Maior Diâmetro $500 \leq D < 650$ mm
- 8 - Maior Diâmetro $650 \leq D < 850$ mm
- 9 - Maior Diâmetro $D \geq 850$ mm

DÍGITO 4

- 0 - Sem Furo Interno
- 1 - Maior Diâmetro $D < 50$ mm
- 2 - Maior Diâmetro $50 \leq D < 75$ mm
- 3 - Maior Diâmetro $75 \leq D < 100$ mm
- 4 - Maior Diâmetro $100 \leq D < 150$ mm
- 5 - Maior Diâmetro $150 \leq D < 250$ mm
- 6 - Maior Diâmetro $250 \leq D < 350$ mm
- 7 - Maior Diâmetro $350 \leq D < 500$ mm
- 8 - Maior Diâmetro $500 \leq D < 700$ mm
- 9 - Maior Diâmetro $D \geq 700$ mm

DÍGITO 5

- 0 - Sup. Ext. Sem Variação no Diam.
- 1 - Sup. Ext. Escalonada Com Diam. Iguais
- 2 - Sup. Ext. Escalonada Com Diam. Diferentes
- 3 - Sup. Ext. Escalonada Com Diam. Iguais com Engrenagem Acoplada
- 4 - Sup. Ext. Escalonada Com Diam. Diferentes com Engrenagem Acoplada
- 5 - Sup. Ext. Curvas Com Diam. Iguais
- 6 - Sup. Ext. Curvas Com Diam. Diferentes
- 7 - Outros

DÍGITO 6

- 0 - Sup. Int. Inicial Sem Furo de Centro
- 1 - Sup. Int. Inicial Com Furo de Centro e Sem Variar Diam.
- 2 - Sup. Int. Com Furo de Centro Passante Sem Rasgo
- 3 - Sup. Int. Com Furo de Centro Passante Com Rasgo
- 4 - Sup. Int. Com Furo de Centro - Um Lado Cego e Não Varia Diam.
- 5 - Sup. Int. Com Furo de Centro - Um Lado Cego - Varia Diam. Sem Rasgo
- 6 - Sup. Int. Com Furo de Centro - Um Lado Cego - Varia Diam. Com Rasgo
- 7 - Sup. Int. Com Furo de Centro - Dois Lados Cegos e Não Varia Diam.
- 8 - Sup. Int. Com Furo de Centro - Dois Lados Cegos - Varia Diam. Sem Rasgo
- 9 - Sup. Int. Com Furo de Centro - Dois Lados Cegos - Varia Diam. Com Rasgo

DÍGITO 7

- 0 - Furos Adicionais - Sem Furos
- 1 - Furos Adicionais - Locados Regul. - Dir. Axial
- 2 - Furos Adicionais - Locados Regul. - Dir. Radial
- 3 - Furos Adicionais - Locados Regul. - Inclinado
- 4 - Furos Adicionais - Locados Regul. - 1+2
- 5 - Furos Adicionais - Locados Regul. - 1+3
- 6 - Furos Adicionais - Locados Regul. - 2+3
- 7 - Furos Adicionais - Locados Regul. - 1+2+3
- 8 - Furos Adicionais - Locados Regul. - Outros
- 9 - Furos Adicionais - Locados Regul. - (1-7) + 8

DÍGITO 8

- 0 - Sem Rosca
- 1 - Com Uma Rosca
- 2 - Com Roscas Interna e Externa
- 3 - Com Roscas Externa
- 4 - Com Ambas

DÍGITO 9

- 0 - Sem Ranhuras, Recartilha e Gravações
- 1 - Com Recartilha
- 2 - Com Gravação
- 3 - Com Gravação e Recartilha

DÍGITO 10

- 0 - Sem Rasgo de Chaveta e Estrias
- 1 - Com Rasgo de Chaveta - Ponta de Eixo
- 2 - Com Rasgo de Chaveta - Corpo de Eixo

DÍGITO 11

- 0 - Ferros Fundidos
- 1 - Aços Comuns - Tensão de Ruptura ≤ 42 KG/mm²
- 2 - Aços Comuns - Tensão de Ruptura > 42 KG/mm²
- 3 - Aços Estruturais
- 4 - Outros Aços
- 5 - Cobre e suas Ligas
- 6 - Alumínio e suas Ligas
- 7 - Metais Leves
- 8 - Plásticos
- 9 - Outros

DÍGITO 12

- 0 - Barras Redondas
- 1 - Barras Quadradas
- 2 - Barras de Outras Secções
- 3 - Tubos
- 4 - Forjado a Frio
- 5 - Forjado a Quente
- 6 - Soldados
- 7 - Placas Finas
- 8 - Placas Grossas
- 9 - Outros

DÍGITO 13

- 0 - Sem Tratamento Térmico
- 1 - Reozimento
- 2 - Normalização
- 3 - Tempera/Revenido
- 4 - Tempera Superficial
- 5 - Coalescimento
- 6 - Cementação
- 7 - Nitretação
- 8 - Cianetação
- 9 - Carbo-Nitretação

DÍGITO 14

- 0 - Acuracidade - Sem Rugosidade - $AC \leq IT6$
- 1 - Acuracidade - Sem Rugosidade - $AC = IT7$
- 2 - Acuracidade - Sem Rugosidade - $AC = IT8$
- 3 - Acuracidade - Sem Rugosidade - $AC = IT9$
- 4 - Acuracidade - Sem Rugosidade - $AC < IT9$
- 5 - Acuracidade - Com Rugosidade - $AC \leq IT6$
- 6 - Acuracidade - Com Rugosidade - $AC = IT7$
- 7 - Acuracidade - Com Rugosidade - $AC = IT8$
- 8 - Acuracidade - Com Rugosidade - $AC = IT9$
- 9 - Acuracidade - Com Rugosidade - $AC > IT9$

DÍGITO 15

- 0 - Rugosidade - $RT < 0.1 \mu m$
- 1 - Rugosidade $0.1 \leq RT < 0.25$
- 2 - Rugosidade $0.25 \leq RT < 0.40$
- 3 - Rugosidade $0.40 \leq RT < 0.60$
- 4 - Rugosidade $0.60 \leq RT < 1.0$
- 5 - Rugosidade $1.0 \leq RT < 1.60$
- 6 - Rugosidade $1.60 \leq RT < 6.00$
- 7 - Rugosidade $6.00 \leq RT < 10.00$
- 8 - Rugosidade $10.00 \leq RT < 100$
- 9 - Rugosidade - $RT \geq 100$

Os códigos de 16 a 25 serão implementados, no futuro, para definição das sub-operações.