

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE UM SISTEMA DE PLANEJAMENTO DE
PROCESSO AUXILIADO POR COMPUTADOR EM UM AMBIENTE DE USINAGEM

por

SÁVIO PACHECO MELO

Dissertação para obtenção do Título
de Mestre em Engenharia

Porto Alegre, Julho de 2003.

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE UM SISTEMA DE PLANEJAMENTO DE
PROCESSO AUXILIADO POR COMPUTADOR EM UM AMBIENTE DE USINAGEM

por

Sávio Pacheco Melo
Engenheiro Mecânico

Dissertação submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Mestre em Engenharia

Área de Concentração: Sistemas de Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Flávio José Lorini

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Gilberto Dias da Cunha - PPGEP-UFRGS

Prof. Dr. José Antônio E. Mazzaferro - PROMEC-UFRGS

Prof. Dr. Wilson João Batista - PROMEC-UFRGS

Jun Fonseca Dr.
Coordenador do PROMEC

Porto Alegre, 13 de Junho de 2003

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de uma forma ou de outra, ajudaram no desenvolvimento deste trabalho, seja através de participação intelectual, suporte financeiro à pesquisa ou apoio moral. Desse modo, agradeço:

Ao professor Flávio José Lorini, Dr. Eng., orientador deste trabalho.

Aos bolsistas do Laboratório de Usinagem.

Aos funcionários do PROMEC.

Aos professores participantes da banca.

A todos os amigos e colegas alunos do PROMEC.

A minha família, por me proporcionar à tranquilidade necessária para a elaboração deste trabalho.

A empresa MERKANTIL pelo auxílio à pesquisa realizada neste trabalho.

RESUMO

A competitividade cada vez mais acirrada e globalizada tem forçado as empresas a desenvolver produtos com maior qualidade em um menor tempo com custos cada vez mais baixos. Para isto, passaram a utilizar tecnologias de ponta na manufatura de seus produtos, que envolvem desde a concepção do produto até sua efetiva produção. Uma das etapas mais importantes na concepção de um produto manufaturado, a partir de um projeto, é o planejamento do processo produtivo. A essência dessa atividade é disponibilizar uma gama de informações bem detalhadas e organizadas para o chão de fábrica que pode incluir a seleção da máquina-ferramenta, determinação dos parâmetros de corte, geração do programa NC e as instruções de trabalho. Na maioria das empresas o planejamento do processo é feito por processistas experientes que utilizam técnicas manuais, onde despedem tempo considerável fazendo cálculos, recuperando informações, escrevendo, digitando e detalhando o plano, e nenhuma dessas tarefas agrega valor diretamente ao produto. Assim somente uma pequena parcela do tempo total é utilizado na concepção e análise do produto. A introdução dos computadores na confecção do plano de processo torna o planejamento mais eficiente podendo dispor de mais alternativas além daquelas exploradas manualmente, e ainda há vantagens adicionais, como a realização de várias comparações de planos semelhantes para selecionar o melhor para cada caso, reduzindo o tempo de planejamento, exigindo menor experiência técnica dos processistas, resultando em aumento da produtividade com planos otimizados. O sistema desenvolvido dentro da filosofia de planejamento de processo variante-iterativo, um método que se utiliza da tecnologia de grupo para formar famílias de peças, onde para cada família é desenvolvido um plano padrão, no qual torna-se a base de dados para novas peças, exigindo alterações apenas nos detalhes que não forem similares. Quando não existir um plano semelhante para nova peça este é gerado de forma interativa onde o processista tem o auxílio do computador na definição da folha de processo, ao contrário de um sistema generativo que utiliza uma programação mais complexa e cria automaticamente planos de processo distintos para a nova peça. Os planos de processo gerados contem os processos de usinagem, as máquinas para realizar os mesmos, ferramentas e porta-ferramentas, sistemas de fixação, os parâmetros de corte e o sequenciamento das operações. O sistema foi projetado em Visual Basic, uma linguagem que disponibiliza uma interface gráfica amigável com o usuário. O conjunto das informações estritamente necessárias para o desenvolvimento do programa é armazenado em um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional (ACCESS), sistema esse escolhido por ter a vantagem de permitir manipular mais de um aplicativo ao mesmo tempo, estabelecendo relações entre eles, buscando eliminar a duplicidade de informações, impondo integridade referencial, reduzindo o espaço de armazenamento e facilitando a atualização dos dados.

Palavras chaves: Planejamento de Processo, CAPP, Usinagem e Automação da Manufatura.

ABSTRACT

“DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A COMPUTER AIDED PROCESS PLANNING SYSTEM (CAPP) IN A MACHINE ENVIRONMENT”

The competitiveness imposed by the globalised world has forced the enterprises to develop products with a higher quality in a shorter time and with reduced costs. To reach this objective, companies had started to use high technologies in the manufacturing process, starting with the product conception to its effective production. The planning process is one of the most important steps in the conception of a manufacturing product from its project. The essence of this activity is to get available a well-detailed and organised range of information for the shop-floor that can include a selection of machine tool, the determination of cut parameters, the generation of a program NC and the work instructions. In the majority of companies the process planning is made for experienced process planners who use manual technics, spending considerable time making calculus, recovering information, writing and detailing the plan, and none of these tasks adds value directly to the final product. Nevertheless, only a little amount of the spent time is used in the conception and analysis of the product. The introduction of computers to make the process planning has brought great efficiency to it, offering more alternatives further those explored manually, adding others advantages as the realisation of several comparisons from similar plans to select the best one in each case, reducing the planning time and demanding less technical expertise from the process planners resulting in productivity increase through the optimised plans. The system developed under the philosophy variant process planning, one method that uses group technology (GT) to create parts families, permitting the development of an own plan standard for each family, results in a database for new parts demanding alterations only in the details that will not be similar. In the case when does not exist a similar plan for a new part it will be generated in an interactive way where the planner has a computer aid for the process plan definition, the opposite generative process planning that uses a more complex program that creates automatically a distinct process plan for the same new part. The ended process plan takes in account the machine processes, the machines to carry through the same ones - tools and toolholder, the fixing systems, the cut parameters and the operations sequence. The system was projected in Visual Basic, a language that provides a graphical interface friendly with the user. The set of information required for the program development is stored in a relationally database. This system was chosen because has the advantage to allow the manipulation of more than one application at the same time, establishing relations between them, searching to eliminate the information duplicity, imposing referential integrity, reducing storage space and facilitating the database update.

Keywords: Process Planning, CAPP, Machine and Manufacturing Automation

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. PLANEJAMENTO DE PROCESSO	3
2.1 CONCEITUAÇÃO.....	3
2.2 PRINCIPAIS ETAPAS DO PLANEJAMENTO DE PROCESSO.....	5
2.3 BENEFÍCIOS DIRETOS DO PLANEJAMENTO DE PROCESSO.....	22
3. AUTOMATIZAÇÃO DO PLANO DE PROCESSO.....	23
3.1 PLANEJAMENTO DE PROCESSO ASSISTIDO POR COMPUTADOR.....	23
3.2 FORMA VARIANTE.....	24
3.3 FORMA GENERATIVA INTERATIVA.....	31
3.4 FORMA GENERATIVA AUTOMÁTICA.....	32
3.5 FORMA HÍBRIDA.....	33
3.6 FERRAMENTAS UTILIZADAS EM SISTEMA CAPP.....	34
3.7 BENEFÍCIOS DOS SISTEMAS CAPP.....	36
3.8 ALGUNS SISTEMAS CAPP EXISTENTES.....	37
4. PROPOSTA DO TRABALHO.....	43
4.1 INTRODUÇÃO.....	43
4.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	43
4.3 MÉTODO DO SISTEMA.....	43
4.3.1 PARTE VARIANTE.....	44
4.3.1.1 SISTEMA DE CODIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO.....	44
4.3.1.2 SISTEMA DE RECUPERAÇÃO.....	58
4.3.2 PARTE GENERATIVA INTERATIVA.....	63
5. PLANO DE PROCESSO PARA UMA PEÇA EXEMPLO.....	68
6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FUTURAS.....	81
6.1 CONCLUSÃO.....	81
6.2 RECOMENDAÇÕES FUTURAS.....	82
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
ANEXOS.....	87

Lista de Símbolos

A	Área [mm ²]
a	Dimensão da peça [mm]
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a _e	Penetração de trabalho [mm]
a _f	Avanço por aresta de corte em milímetros [mm/aresta]
ANSI	American National Standards Institute
a _p	Largura ou profundidade de usinagem [mm]
APC	Aresta Postiça de Corte
b	Comprimento da Aresta de Corte [mm]
B	Dimensão da peça [mm]
BD	Banco de Dados
c	Dimensão da peça [mm]
C	Custo total [reais]
C _d	Taxa de hora de trabalho direto [R\$ por hora]
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAPP	Computer Aided Process Planning
CEP	Controle Estatístico do Processo
C _i	Custo de usinagem de uma unidade de volume por processo “i” [reais]
C' _L	Custo incremental para fazer uma fundição [reais]
C _m	Custo da matriz [reais]
CNC	Controle Numérico Computadorizado
C _s	Taxa de hora de setup da máquina [R\$ por hora]
C _t	Taxa de hora de trabalho indireto [R\$ por hora]
C ₁	Custo de preparação da área de trabalho do material [reais]
D	Diâmetro externo da fresa [mm]
d	Diâmetro da peça [mm]
f	Avanço de Corte [mm/volta]
f _z	Avanço por dente e por rotação [mm]
F _c	Força de Corte [N]
F _t	Força de Avanço [N]
GPF AI	Grupo de Projeto e Fabricação em Automação Industrial
GT	Tecnologia de Grupo

h	Espessura de corte [mm]
h_m	Espessura do Cavaco [mm]
HSM	<i>High Speed Machining</i>
IA	Inteligência Artificial
ISO	Organização Internacional de Padronização
ISO K	Sigla da Norma ISO para ferros fundidos, ligas de alumínio e fundidas
ISO M	Sigla da Norma ISO para Materiais resistentes ao calor e aços inoxidáveis
ISO P	Sigla da Norma ISO para aços
K	Constante da fórmula de Taylor
k_c	Custos proporcionais ao número de peças produzidas [reais]
$K_{c1.1}$	Pressão específica de corte para um cavaco com $b = 1$ e $h = 1$ (1mm^2) [N/mm^2]
K_{fe}	Custos devidos à ferramenta [reais]
K_r	Ângulo de Posição [$^\circ$]
K_r'	Ângulo final de Posição [$^\circ$]
K_s	Pressão específica de corte [N/mm^2]
K_{s1}	Constante de Kinzle
K_t	Custos proporcionais ao tempo de execução [reais]
K_v	Custos dependentes da v_c [reais]
KW	Potência em Kilo Watts
K_1	Constante
K_2	Constante
L	Comprimento da peça [mm]
l	Percurso de avanço [mm]
LW	Dimensão auxiliar [mm]
PF	Símbolo que representa uma família de peças chamada PF
PIB	Produto interno bruto [reais]
PP	Símbolo que representa uma família de peças chamada PP
-PF	Símbolo ISO P para acabamento
-PM	Símbolo ISO P para usinagem média
-PR	Símbolo ISO P para acabamento
m	Número de peças constantes do lote
mc	Constante de Kienzle para furação
M_t	Momento Torsor[N.m]
n	Rotação [rpm]

n_a	Número de vezes que é possível realizar a tarefa
$n_a + 1$	Número total de arestas de corte da ferramenta
N^*	Número limite do tamanho do lote
NBR	Norma Brasileira
NC	Comando Numérico
P_c	Potência de Corte [KW]
P_M	Potência do Motor [KW]
Q	Volume de material removido na unidade de tempo [cm^3/min]
q	Quantidade do lote
SCC	Sistema de Codificação e Classificação
T	Tempo Global [min]
T_d	Tempo direto de usinagem [min]
T_{dmax}	Tempo direto de usinagem máximo [min]
T_{dmix}	Tempo direto de usinagem mínimo [min]
T_p	Tempo indireto de trabalho [min]
$T_{p f}$	Um tempo fixo para assegurar o começo de um plano de processo inicial [min]
T_{pv}	O tempo para gerar planos de processo alternativos e avaliá-los para assegurar o início de um plano otimizado [min]
T_s	Tempo de setup [hora]
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNICAM	Universidade de Campinas
USP	Universidade de São Paulo
VB	Desgaste de Flanco [mm]
v_c	velocidade de corte [m/min]
V'_i	Volume a ser usinado por processo “i” da fundição [cm^3]
V_i	Volume a ser usinado por processo “i” de material [cm^3]
v_f	Velocidade de avanço [mm/min]
x	Constante da fórmula de Taylor
z	Número de dentes da fresa
Z	Quantidade de arestas de corte
γ_o	Ângulo de Saída [°]
λ_s	Ângulo de Inclinação [°]

σ_r	Tensão [N/mm ²]
η	Rendimento
β	Ângulo de Hélice [°]
χ_r	Ângulo de Posição da ferramenta medido no plano de referência [°]
φ_2	Ângulo entre o ponto de saída (ou entrada no fresamento concordante) do dente e a vertical [°]
φ_1	Ângulo entre o ponto de entrada (ou saída no fresamento concordante) do dente e a vertical [°]
φ_0	Ângulo de contato entre o dente e a peça [°]
$1 - z$	Constante de Kienzle

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Localização do planejamento do processo.....	3
Figura 2.2	Tempo para o desenvolvimento do processo convencional.....	5
Figura 2.3	Principais atividades da produção.....	6
Figura 2.4	Exemplo de forma do tipo mono.....	9
Figura 2.5	Exemplo de forma do tipo aberta.....	10
Figura 2.6	Exemplo de forma do tipo complexa.....	10
Figura 2.7	Limite do tamanho do lote.....	11
Figura 2.8	Tempo direto de usinagem em função do tempo de criação.....	13
Figura 2.9	Seleção da forma e ângulo de folga teórico.....	17
Figura 2.10	Exemplo de Carta de Tolerâncias.....	20
Figura 2.11	Exemplo de Plano de Processo.....	21
Figura 3.1	Sistema Variante de Planejamento de Processo.....	25
Figura 3.2	Exemplo de componentes que formam uma família de peças.....	26
Figura 3.3	Esquema de um layout de grupo.....	27
Figura 3.4	Matriz de incidência peça-máquina.....	28
Figura 3.5	Matriz peça-máquina com células destacadas.....	28
Figura 3.6	Estágio de Preparação do Plano.....	30
Figura 3.7	Estágio de recuperação do Plano de Processo.....	31
Figura 3.8	Sistema Generativo Iterativo.....	32
Figura 3.9	Sistema Híbrido.....	34
Figura 3.10	Configuração de uma árvore de decisão.....	35
Figura 3.11	Carga de atividades dos analistas de processos dos departamentos de produção da Weg – Motores antes do sistema CAPP.....	37
Figura 3.12	Carga de atividades dos analistas de procesos dos departamentos de produção da Weg – Motores depois do sistema CAPP.....	37
Figura 3.13	Esquema dos sistemas MIPLAN e MULTICAPP.....	38
Figura 3.14	Diagrama do sistema CAM – I CAPP.....	39
Figura 3.15	Caixa de diálogo do sistema CAMDRILL.....	41
Figura 3.16	Sistema PLANPRO.....	41
Figura 4.1	Primeiro campo do código e suas opções.....	46
Figura 4.2	Resposta do segundo campo em função do primeiro.....	47
Figura 4.3	Resposta do segundo campo em função do primeiro , sendo este 4.....	47
Figura 4.4	Resposta do segundo campo em função do primeiro campo, este igual a 5.....	48

Figura 4.5	Resposta do segundo campo em função do primeiro campo, sendo este 4.....	48
Figura 4.6	Resposta do segundo campo em função do primeiro para opção 9.....	49
Figura 4.7	Resposta do terceiro campo em função do primeiro dígito, sendo este 3.....	49
Figura 4.8	Resposta do terceiro campo em função do primeiro dígito, sendo este 4.....	50
Figura 4.9	Resposta do terceiro campo em função do primeiro dígito, sendo este 6.....	50
Figura 4.10	Resposta do terceiro campo em função do primeiro dígito, sendo este 9.....	51
Figura 4.11	Resposta para o quarto campo em função do primeiro dígito, sendo este 4.....	52
Figura 4.12	Resposta para o quarto campo em função do primeiro dígito, sendo este 8.....	52
Figura 4.13	Tabela com as dimensões principais em “mm”.....	53
Figura 4.14	Módulo da razão entre as dimensões para uma peça rotacional sem desvio.....	53
Figura 4.15	Módulo da razão entre as dimensões para uma peça não rotac. $A/b < 4$	54
Figura 4.16	Módulo da dimensão auxiliar para peças rotacionais correspondente ao oitavo dígito do SCC.....	55
Figura 4.17	Módulo da dimensão auxiliar para peças não rotacionais correspondente ao oitavo dígito do SCC.....	55
Figura 4.18	Módulo das tolerâncias das medidas principais.....	56
Figura 4.19	Módulo das tolerâncias de forma.....	57
Figura 4.20	Módulo do Material da peça.....	57
Figura 4.21	Módulo das operações.....	58
Figura 4.22	Módulo Final.....	58
Figura 4.23	Desenho da Peça PF 16.....	59
Figura 4.24	Desenho da Peça PF 12.....	60
Figura 4.25	Desenho da Peça PP 12.....	60
Figura 4.26	Desenho da Peça PP 20.....	60
Figura 4.27	Formulário Inicial do programa.....	61
Figura 4.28	Formulário para informar o código da peça para busca de um plano padrão.....	61
Figura 4.29	Plano de Processo.....	62
Figura 4.30	Formulário que auxilia no cálculo do aumento da produtividade ou da vida da ferramenta.....	62
Figura 4.31	Formulário da edição da folha de processo com o usuário escolhendo o tipo de refrigeração.....	63
Figura 4.32	Formulário da edição da folha de processo com o usuário escolhendo o material da peça.....	64

Figura 4.33	Formulário onde o usuário escolhe o tipo de operação e as condições de usinagem.....	65
Figura 4.34	Formulário para escolha da pastilha para acabamento externo em boas condições.....	65
Figura 4.35	Formulário para escolha do porta-ferramenta.....	66
Figura 4.36	Formulário para informar o diâmetro e o comprimento de corte.....	66
Figura 4.37	Formulário para informar se haverá outra operação.....	67
Figura 4.38	Formulário para seleção de Operações.....	67
Figura 4.39	Plano de Processo exemplo.....	67
Figura 5.1	Desenho da peça exemplo.....	68
Figura 5.2	Formulário da forma externa para peça rotacional sem desvio.....	69
Figura 5.3	Módulo com opções da forma externa para peça rotacional sem desvio.....	69
Figura 5.4	Formulário da forma interna para peça rotacional sem desvio.....	70
Figura 5.5	Formulário da posição dos elementos de forma para peça rotacional sem desvio.....	70
Figura 5.6	Formulário da dimensão principal.....	71
Figura 5.7	Formulário da razão entre as dimensões principais para peça rotacional sem desvio.....	71
Figura 5.8	Formulário das dimensões auxiliares para peça rotacional sem desvio.....	72
Figura 5.9	Formulário da tolerância das medidas principais.....	72
Figura 5.10	Formulário da precisão da forma.....	73
Figura 5.11	Módulo para escolha do material da peça.....	73
Figura 5.12	Formulário de escolha das máquinas necessárias para fabricar a peça.....	74
Figura 5.13	Formulário com o código final da peça.....	74
Figura 5.14	Formulário de Edição do Plano de Processo para primeira operação.....	75
Figura 5.15	Features presentes no projeto da peça.....	75
Figura 5.16	Formulário de escolha das operações e do tipo de usinagem.....	76
Figura 5.17	Formulário de escolha da pastilha para primeira operação.....	77
Figura 5.18	Módulo de escolha do porta-ferramenta para primeira operação.....	77
Figura 5.19	Formulário para informar o diâmetro e comprimento da peça.....	77
Figura 5.20	Formulário para informar outra operação.....	78
Figura 5.21	Formulário para escolha de operação.....	78
Figura 5.22	Módulo de escolha da pastilha para segunda operação.....	78
Figura 5.23	Formulário de escolha do porta-ferramenta para segunda operação.....	79

Figura 5.24	Formulário para informar o diâmetro e comprimento da peça.....	79
Figura 5.25	Módulo da Folha de Processo para o projeto da peça exemplo.....	80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1	Esquema de uma tabela de decisão.....	36
Tabela 4.1	Significado dos dígitos do SCC – GPFAI.....	45
Tabela 5.1	Operações atribuídas a cada <i>feature</i> da peça.....	75
Tabela 5.2	Pastilha para torneamento externo e usinagem média de aços.....	76
Tabela 5.3	Porta-ferramenta de pastilhas para torneamento externo e usinagem de aços.....	76
Tabela 5.4	Pastilhas para torneamento externo e acabamento de aços.....	79
Tabela 5.5	Porta-ferramenta para pastilhas de torneamento externo de aços.....	79

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as empresas de manufatura têm enfrentado diversos desafios, sejam eles relacionados ao mercado cada vez mais competitivo, ou impostos pelo aumento do desenvolvimento tecnológico que torna o acesso à informação muito mais fácil e rápido. Com isso exige-se uma constante necessidade de mudança nos sistemas de produção objetivando o aumento da produtividade, a redução de custos, a minimização de estoques e, conseqüentemente, o aumento da competitividade. Para isto é de suma importância estruturar o processo produtivo de modo a aumentar a sua eficiência e flexibilidade.

Nos dias de hoje a competitividade está cada vez mais acirrada e com o aumento do número de fabricantes a concorrência se torna mais elevada, assim o mercado passa a ser ditado pelas exigências do consumidor. A situação criada pela redução do ciclo de vida comercial do produto faz com que seu tempo de lançamento no mercado seja um aspecto crítico. Com isso a indústria busca uma contínua otimização dos níveis de produção.

Uma maior integração entre as atividades envolvidas no ciclo produtivo é considerada como elemento fundamental para sobrevivência de uma indústria no mercado globalizado. O planejamento dos processos produtivos está entre as principais atividades relacionadas com o ciclo de vida de um produto, sendo que este faz a ligação entre o projeto e a produção do mesmo. Dentro deste contexto o desenvolvimento de tecnologias que auxiliem na otimização dos processos produtivos, trazendo como vantagens imediatas e expressivas a possibilidade de executar a produção em menos tempo e qualidade superior são de suma importância para a modernização da indústria.

Dentre essas tecnologias encontram-se os sistemas de planejamento de processo auxiliado por computador (CAPP) que têm recebido especial atenção devido aos benefícios que eles agregam ao planejamento de processo como: relativa diminuição dos tempos de produção, redução da mão-de-obra especializada, entre outros.

Com a evolução tecnológica dos produtos, aliada à inviabilidade de se manterem estoques, devido aos altos custos financeiros e aos riscos de obsolescência dos mesmos imposta pelo mercado globalizado, constata-se que as empresas de manufatura tendem sua produção para lotes cada vez menores. Segundo LORINI [1993] apud GROOVER [1987] e GREENWOOD [1988] nas indústrias do ramo metal-mecânico 75% das peças produzidas são em lotes de

tamanhos menores que 50 unidades e, em países industrializados, parcela relativa ao total de produtos manufaturados chega a representar até 30% do produto interno bruto (PIB). Do volume destas peças produzidas, em torno de 40% representa produção em lotes. Desta parcela, em torno de 75% são considerados como lotes pequenos ou médios, ou seja, de tamanho menor que 50 unidades.

Com base nessas informações torna-se importante buscar novas técnicas de gerenciamento, interligada a uma possível informatização das tarefas, para que o planejamento da produção conduza à manufatura de pequenos lotes, a otimização necessária para se manter no mercado com competitividade de custos e qualidade.

Este trabalho tem como principal objetivo apresentar uma metodologia de desenvolvimento e aplicação de um sistema de planejamento de processo assistido por computador para um ambiente de usinagem convencional. Na revisão bibliográfica, que constitui o capítulo dois, três e o anexo I, é feita uma apresentação dos conhecimentos teóricos necessários para realização do trabalho, tais como: as etapas do planejamento de processo, automatização do planejamento de processo e uma revisão dos processos de usinagem mais utilizados na indústria.

No capítulo quatro trata do sistema desenvolvido que se chama *SisPlan_I* e os programas utilizados para desenvolver o mesmo. Onde mostra as abordagens do sistema proposto, explicadas no capítulo três, e seus vários módulos de interação com o usuário.

O capítulo cinco apresenta a aplicação do sistema em uma peça exemplo gerando o plano de processo para a mesma, utilizando o aplicativo como mostrado no capítulo anterior.

O capítulo seis destaca as conclusões tiradas com a execução do trabalho e as sugestões que podem ser implementadas futuramente para melhorar o sistema e dar continuidade para o tema abordado neste trabalho.

No capítulo sete e oito encontram-se a Bibliografia, onde incluem todos os trabalhos consultados para a elaboração deste, e os Anexos respectivamente.

2. PLANEJAMENTO DE PROCESSO

2.1. CONCEITUAÇÃO

O principal objetivo do planejamento da produção é planejar e programar o processo de manufatura em todos os seus níveis, incluindo os materiais, os equipamentos e mão-de-obra. É através dele que uma organização garante que as suas decisões operacionais sobre *o que, quando, quanto, e como* produzir e comprar sejam adequadas às suas necessidades operacionais, que por sua vez são ditadas pelos seus objetivos estratégicos corporativos e pelo mercado. Resumidamente pode-se dizer que o planejamento da produção é o elo de ligação entre o projeto e a fabricação, gerando informações que podem ser aproveitadas por vários setores da empresa (Figura 2.1).



Figura 2.1 - Localização do planejamento do processo

Inserido neste contexto, um elemento fundamental para produção dentro de um ambiente de fábrica é o planejamento dos processos produtivos. O detalhamento do planejamento do processo origina um documento que é chamado plano de processo, este documento contém as informações necessárias para transformar o desenho da peça em um produto acabado. Considerando-se um enfoque no ramo metal-mecânico e principalmente na fabricação por processos de usinagem, o plano de processos, segundo SALOMONS [1993], deve conter as seguintes informações sobre a produção da peça:

- A interpretação do modelo da peça;
- A seleção das máquinas-ferramenta;
- Seleção dos métodos de usinagem;
- A seleção das ferramentas de corte;
- Cálculo dos trajetos da ferramenta;

- Cálculo das condições de corte;
- A geração dos programas de NC;
- Planejamento da capacidade produtiva;
- Setups das máquinas;
- Determinação das seqüências de usinagem;
- Projeto dos dispositivos de fixação.

Em função da diversidade e volume das informações envolvidas, cada empresa faz o plano de processo conforme suas necessidades e realidade do mercado no qual se encontra. Apesar desta diversidade pode-se identificar na maioria dos planos dois conjuntos de informações comuns:

- **Plano macro**: determina a seqüência de operações executadas em uma peça na sua fabricação, ou seja, especifica a rota na qual a peça passa para ser fabricada. O plano macro é a base para o planejamento e controle da produção. Nesta etapa se utiliza a carta analítica de processo para traçar o caminho que os componentes do produto irão passar, desde a entrada na empresa até sua eventual saída, depois de ser vendido. Todas as atividades de produção, independentemente de diferenças na forma, número ou combinação podem ser analisadas utilizando os seguintes símbolos de processo: processamento (O), inspeção (□), transporte (⇒), espera (D), estoque (▼).
- **Detalhamentos das operações**: que são as informações utilizadas pela área de manufatura para auxiliar na fabricação do produto (instruções e croquis para montagem de máquinas e do ferramental, lista de ferramentas, instruções de qualidade, folha de CEP, programas NC, cálculo de usinagem, seleção das superfícies de referência, etc.).

O planejamento de processo tradicional é baseado no conhecimento e experiência do processista que estuda as especificações do desenho e da produção da peça e a partir disso passa a seqüenciar as operações do plano macro. Definida a seqüência estas operações são especificadas, para um nível de detalhe que depende das características da empresa e sua linha de produtos. Um imenso trabalho preparatório tem que ser realizado antes que as decisões finais sobre uma planta de produção possam ser feitas.

Por isso, este modo de planejamento possui uma baixa produtividade, como mostrado na Figura 2.2, na qual 45% do tempo é despendido com a redação do plano. Junto a isto, o tempo utilizado em cálculos diversos e em recuperações de informações totalizam 40% , ou seja, 85% do tempo é empregado em funções que não agregam valor diretamente, e apenas 15% são utilizados em funções como concepção e análise (HALEVI e WEILL - 1995).

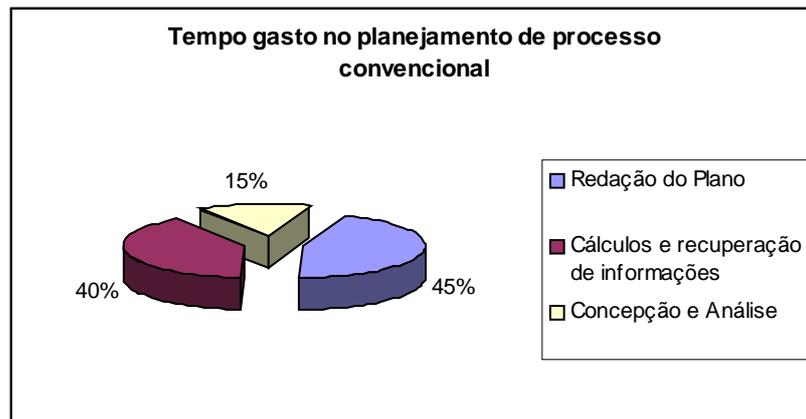


Figura 2.2 - Tempo para o desenvolvimento do processo convencional

Algumas das principais desvantagens do planejamento do processo convencional segundo HALEVI e WEILL [1995], são as seguintes:

- Lógica da produção é individual: está na memória do processista;
- Resultados freqüentemente insatisfatórios;
- Atrasos das informações de processo;
- Os tempos de ligação e pré-produção são prolongados.

2.2. PRINCIPAIS ETAPAS DO PLANEJAMENTO DE PROCESSO

A. INTEPRETAÇÃO GEOMÉTRICA DO DESENHO

Quando um desenho técnico é transferido para o departamento de planejamento de processo, este tem que ser tratado como um documento, e ser honrado em todos os detalhes. Este desenho, preparado pelo departamento de projeto, expressa determinadas características definidas em relação à funcionalidade da peça no produto como um todo. A peça é definida de tal maneira que, quando todo o mecanismo é montado, ela venha a cumprir suas funções técnicas. Suas dimensões e tolerâncias serão calculadas de modo que essas possam ser montadas em subgrupos de peças com uma completa intercambialidade. Da mesma forma que o projetista

também deve levar em consideração a exequibilidade da produção da peça, ou seja, ele deve tentar projetá-la pensando em como ela vai ser manufaturada, incorporando maneiras e meios de inspecionar a peça acabada de uma forma econômica e que garanta a qualidade requerida.

Obviamente, respeitar todas essas condições, algumas das quais podem ser contraditórias, é uma tarefa difícil para o projetista industrial, mas a implantação da engenharia simultânea ajuda a resolver este problema, promovendo uma completa sinergia entre o projeto do produto e o planejamento da produção, com isso vários setores simultaneamente resolvem problemas com pontos de vistas diferentes (Figura 2.3).

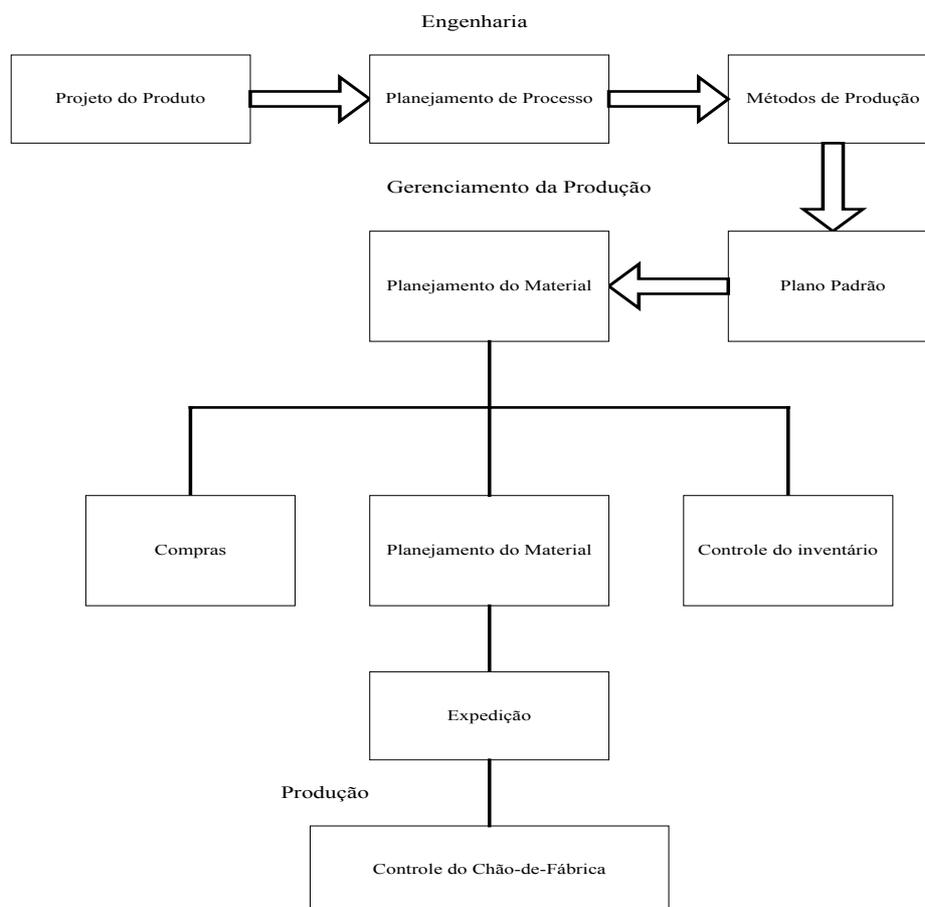


Figura 2.3 - Principais atividades da produção

Estas necessidades são traduzidas em uma linguagem técnica identificada pelo departamento de produção e descrita no desenho da peça.

Uma análise detalhada e uma completa compreensão deste desenho não são somente duas condições absolutas para produzir o produto de modo correto, mas são também as melhores maneiras de encontrar um plano de processo adequado para produzi-la e inspecioná-la, de uma maneira econômica. Além disso, o processista deverá estar atento as várias informações

geométricas contidas na peça, como dimensões e tolerâncias, essas informações são de suma importância e de acordo com CHANG e WYSK [1985], as seguintes regras básicas devem ser observadas no dimensionamento do desenho:

- Mostrar dimensões suficientes contanto que as medidas e formas possam ser determinadas sem cálculos ou adivinhações. Normas básicas de cotação de um desenho técnico.
- Declarar cada dimensão claramente, de forma que elas possam ser interpretadas em apenas uma direção.
- Mostrar as dimensões entre pontos, linhas, ou superfícies nas quais tem uma necessidade e relação específica uma com a outra ou na qual controle a posição de outros componentes ou acoplamentos.
- Fazer o dimensionamento de forma que não proporcione o acúmulo de tolerâncias que possam permitir várias interpretações e causar acoplamentos insatisfatórios entre peças podendo ocasionar a falha em uso.
- Mostrar cada dimensão apenas uma vez.
- Quando possível, dimensionar cada característica na vista onde ela aparece em perfil, e quando ela aparece na forma mais legível.
- Sempre que possível, especificar dimensões, que permitam usar material, peças, ferramentas e medidores disponíveis. Assim será freqüentemente possível economizar quando as especificações do desenho forem definidas: usando materiais do estoque, peças geralmente reconhecidas nos padrões comerciais, tamanhos que possam ser produzidos com ferramentas padrões e inspecionados com medidores também padrões e tolerâncias de aceitação nas normas publicadas.

B. SELEÇÃO DOS PROCESSOS PRIMÁRIOS

Quanto aos tipos de processos, deve levar-se em conta o estado do material. Assim, para os materiais no estado **sólido**, tem-se os seguintes tipos de processos:

- Processos com Conservação de Massa: Consistem nos processos de conformação através da deformação plástica do componente. Nestes processos a massa do produto final é igual (ou quase igual) a massa do material original.
- Processos com Redução de Massa: Consiste no processo onde é efetuada a remoção de material de um sólido original para se obter a peça final. Geralmente são processos de remoção mecânicos, porém, existem também processos térmicos e químicos.
- Processos de Junção: São processos em que o componente final é obtido através da junção de sub-componentes. A soldagem entra nesta categoria de processo.

Para materiais no estado granular e líquido, os processos são do tipo com Conservação de Massa. Para o material **granular** o processo é conhecido como **Metalurgia do Pó**. Já para o material no estado **líquido**, o processo é denominado **Fundição**.

Os tipos de processos citados acima são voltados, principalmente, para materiais metálicos. Com o surgimento dos materiais poliméricos na indústria, onde se destacam os plásticos, novos processos foram criados, sendo que a grande parte destes processos apresentam semelhanças aos processos voltados aos metais.

Aproximadamente 80% dos processos efetuados nas indústrias são processos de redução de massa de materiais sólidos, ou seja, processos de usinagem (HALEVI e WEILL - 1995). Além disso, esses processos têm uma grande flexibilidade, permitindo ao usuário conseguir uma larga escala de aplicações, com um número muito grande de soluções possíveis.

A escolha dos processos preliminares deveria ser a primeira decisão a ser tomada, levando sempre em consideração aspectos econômicos. A diferença no tempo direto de fabricação pode ser bastante significativa, e por isso a escolha inadequada de um processo primário pode causar grandes prejuízos para o processo como um todo.

Os seguintes fatores de projeto têm influência na escolha de um processo: quantidade, complexidade da peça, natureza do material da peça, tamanho da peça, espessura, precisão dimensional, custo do material bruto, possibilidade de defeitos, preço da sucata e processos subseqüentes. A quantidade requerida será um fator determinante na seleção do processo. Como regra geral, o processo de produção pode ser ordenado conforme as seguintes considerações econômicas (HALEVI e WEILL -1995):

- Altas quantidades (2000 ou mais):
 - Processos de forjamento, conformação;
 - Processos de fundição e moldagem;
 - Processos de soldagem;
 - Processos de Usinagem;
 - Processos de junção por parafusos;
 - Processos de adição progressiva de material não são apropriados (o custo é inviável para altas quantidades).

- Baixas quantidades (abaixo de 50):
 - Processos de Usinagem;
 - Processos de soldagem;
 - Processos de forjamento, conformação;
 - Processos de junção por parafusos;
 - Processos de adição progressiva de material;
 - Processos como fundição e moldagem não são apropriados (muitas vezes o custo de uma matriz ou de um molde é muito alto, dependendo da complexidade da peça, onde o custo do molde ou da matriz por peça torna-se inviável).

Quantidades médias devem ser analisadas separadamente caso a caso. De qualquer forma, a fim de conservar o tempo de criação e de cálculo, regras adicionais podem ser acrescentadas relacionando a quantidade com a complexidade da peça.

Para uma peça simples, o limite inferior deve ser aumentado para 150 unidades e o limite superior reduzido para 1000. Já para peças complexas o limite superior deve ser reduzido para 1500 peças. Levando em consideração a complexidade das peças segundo HALEVI e WEILL [1995], podemos dividi-las em 4 categorias de formas:

- **Mono:** Esta forma consiste em uma seção transversal constante da peça através do eixo principal, sem nenhuma característica nas laterais (Figura 2.4).
- **Aberta:** Esta forma consiste de peças que podem ser divididas no máximo em 2 peças separadas por um plano de tal maneira que nenhuma seção transversal do plano divisor acima ou abaixo será maior que o plano divisor em qualquer direção. Muitos estágios são permitidos, mas seus picos devem estar em uma ordem decrescente. Nenhuma característica na lateral da peça é permitida (Figura 2.5).
- **Complexa:** Esta forma consiste em abrir a peça, mas permitindo características nas laterais (Figura 2.6).
- **Muito complexa:** Esta forma consiste de peças com muitas formas e com espaços vazios escondidos.



Figura 2.4 - Exemplo de forma do tipo mono

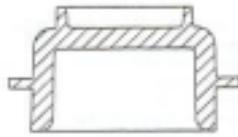


Figura 2.5 - Exemplo de forma do tipo aberta



Figura 2.6 - Exemplo de forma do tipo complexa

C. PLANEJAMENTO DO MATERIAL

É a fase da escolha apropriada do material para sucessivas operações de usinagem. Com exceção de necessidades tecnológicas (como por exemplo, propriedades dos materiais), outros fatores envolvidos no planejamento do material englobam:

- Forma e tamanho dos componentes;
- Quantidade (volume da produção);
- Conveniências de usinagem;
- Custos e disponibilidades.

A forma e tamanho do componente são fatores dominantes no custo final do produto. Da mesma maneira que aspectos econômicos e obstáculos físicos também devem ser levados em consideração. Por exemplo, se for escolhido uma barra com diâmetro muito maior que o necessário para produzir a peça haverá maior perda de material e o tempo de processo será excessivamente longo e custoso.

A quantidade também tem uma importante função nesta fase, pois para algumas peças a usinagem pode ser feita diretamente de um bloco de metal, ou primeiramente fundida e então usinada para obter a forma final requerida. A escolha entre um material padrão e um fundido segundo CHANG e WYSK [1985], pode ser feita através da seguinte equação:

$$N * C_1 + N * \sum C_i V_i = C_m + N * \sum C_i' V_i' + N * C_1' \quad (2.1)$$

onde:

C_1 = custo de preparação da área de trabalho do material

C_i = custo de usinagem de uma unidade de volume por processo “i”

V_i = volume a ser usinado por processo “i” de material

C_m = custo da matriz

N^* = número limite do tamanho do lote

C'_i = custo incremental para fazer uma fundição

V'_i = volume a ser usinado por processo “i” da fundição

Sendo que N^* é o número limite do tamanho do lote, quando o tamanho do lote é maior que N^* é desejável fundir ao invés de usar. Se o tamanho do lote for menor que N^* , é mais econômico fabricar a peça com um material que venha diretamente do estoque por algum processo de usinagem. Quando o tamanho do lote for igual a N^* , ambos os processos são indiferentes.

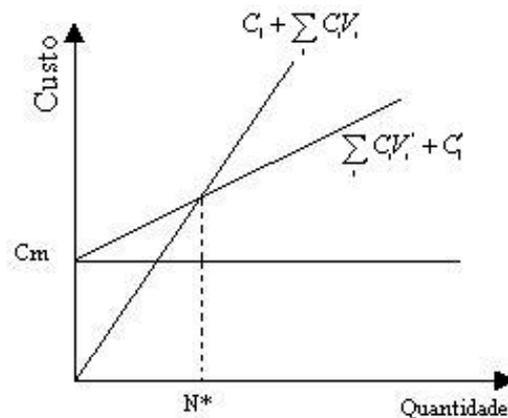


Figura 2.7 - Relação do tamanho do lote (Fundido x Usinado)

Conforme HALEVI e WEILL [1995], é importante enfatizar que o planejamento de processo é solicitado para qualquer planta de produção, sem levar em consideração o tamanho da planta, a complexidade da peça e o tamanho do lote. Frequentemente escuta-se que o planejamento de processo não é adaptável para pequenos lotes, e isso é errado. O problema com pequenos lotes não são a produção ou o planejamento, e sim dificuldades econômicas. A dificuldade é encontrar um compromisso razoável entre o tempo de preparação e o tempo de produção. O custo de produção da peça pode ser estimado da seguinte forma:

$$C = Q \times C_d \times T_d + C_i \times T_p + C_s \times T_s \quad (2.2)$$

onde: C = custo total

Q = quantidade do lote

C_d = custo de hora de trabalho direto (R\$ por hora)

T_d = tempo direto de usinagem

C_i = custo de hora de trabalho indireto (R\$ por hora)

T_p = tempo indireto de trabalho

C_s = custo de hora de setup da máquina (R\$ por hora)

T_s = tempo de setup (hora)

Sendo que o T_p pode ser dividido em outros dois:

T_{pf} – um tempo fixo para assegurar o começo de um plano de processo inicial

T_{pv} – o tempo para gerar planos de processo alternativos e avaliá-los para assegurar o início de um plano otimizado

T_{pv} é uma variável definida como “tempo de criação”; é mais longo quanto melhor for o plano de processo gerado, da mesma maneira que o custo aumentará. O valor desta variável indica a diferença entre manipular economicamente um lote pequeno ao invés de um grande lote. Uma avaliação de T_{pv} pode ser feita da seguinte forma: se for assumido que T_d depende do tempo de criação (T_{pv}) como mostra a Figura 2.8, ele pode ser expresso pela equação abaixo:

$$T_d = K_1 + \frac{K_2}{T_p} = K_1 + \frac{K_2}{T_{pf} + T_p} \quad (2.3)$$

Onde K_1 e K_2 são constantes que podem ser obtidas no processo relacionadas ao tempo máximo e mínimo direto de usinagem.

Substituindo T_d de (1.3) em (1.2) temos:

$$C = Q \times C_d \times \left\{ T_{d \min} + \frac{(T_{d \max} - T_{d \min}) \times T_{pf}}{T_p} \right\} + C_t \times T_p + C_s \times T_s \quad (2.4)$$

Diferenciando (1.2) em relação à T_p e igualando a zero, resultará no custo total mínimo da manufatura de uma peça com a quantidade de produtos como um parâmetro e o tempo de criação como uma variável.

$$\frac{dC}{dT_p} = -Q \times C_d \times \left\{ \frac{(T_{d \max} - T_{d \min}) \times T_{pf}}{T_p^2} \right\} + C_t \quad (2.5)$$

Por conseguinte:

$$T_p^2 = Q \frac{C_d}{C_t} T_{pf} (T_{d \max} - T_{d \min}) \quad (2.6)$$

Os valores de C_d , C_t , $T_{d \min}$, T_{pf} e $T_{d \max}$ são conhecidos e especificados para muitas plantas. Eles dependem do conhecimento do processista.

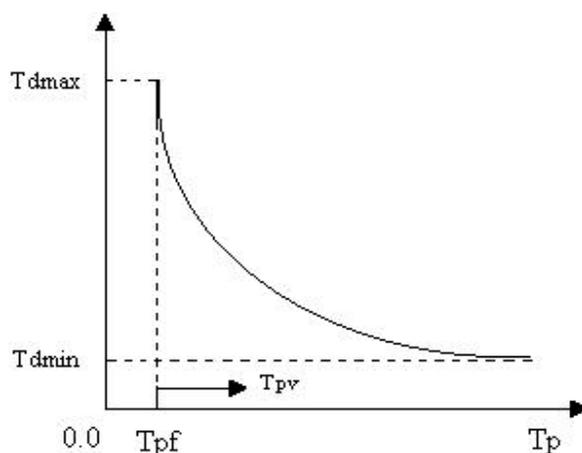


Figura 2.8 - Tempo direto de usinagem em função do tempo de criação

D. DESENHO DA PEÇA BRUTA

A natureza do material dá uma indicação do tipo de processo de usinagem que pode ser usado, segundo HALEVI e WEILL [1995], se a forma geral da peça mostra uma boa rigidez, então, por consequência tem uma boa estabilidade e assim é mais fácil de realizar a operação não precisando nenhum tipo de fixação em especial. É necessário saber a forma inicial da peça em bruto e a precisão de suas dimensões (pois ela pode ser fundida, forjada, ou ter sofrido qualquer outro tipo de processo existente) para que se tenha uma idéia inicial da quantidade de cavaco que será removido. Se o nível de precisão requerida não for alto a peça poderá ser obtida por

processos convencionais de usinagem, sem precisar de processos especiais, como retificação ou algum outro similar na operação final de acabamento. Se a peça sofreu algum processo como fundição ou forjamento é importante ter em mãos os desenhos dos moldes ou das matrizes, respectivamente, para que se leve em consideração, no projeto da peça, os arranjos de canais de vazamento (fundidas) e a zona de formação de rebarbas (forjadas).

E. AGRUPAMENTO DOS PROCESSOS EM TRABALHOS

É importante agrupar as operações na mesma estação de trabalho, onde a máquina-ferramenta pode ser usada com melhor aproveitamento possível e com isso minimizam-se custos e erros de precisão das operações. Um importante passo é decidir em quantas etapas será dividido o processo, e que isso seja feito levando em conta fatores técnicos e econômicos. Assim, a usinagem deve ser concentrada no menor número de operações e num segundo momento a mesma tem que ser subdividida, aumentando o número de etapas.

O primeiro passo, chamado de concentração, tende a reduzir o número de ajustes na peça e o número de dispositivos de fixação, com isso diminui o acúmulo de tolerâncias que é indesejável e prejudicial à produção da peça, entretanto utiliza equipamentos mais sofisticados exigindo operadores bem mais qualificados. O segundo passo, chamado de diferenciação ou separação, simplifica a operação de ajuste do equipamento possibilitando que os operadores menos experientes possam executar o trabalho, mas torna a programação da produção bem mais complexa. Um dos principais fatores a considerar na decisão do grau de diferenciação ou de concentração é o tamanho do lote e o volume de produção.

F. PARÂMETROS DE CORTE

A escolha dos parâmetros de corte (velocidade, avanço e profundidade de corte) tem influência direta no acabamento superficial, na potência da máquina, no tempo de corte, na vida da ferramenta, entre outros. Esses parâmetros são importantes para otimização dos processos de usinagem, seja para máxima produção ou para mínimo custo.

Segundo DINIZ [2000], em operações de desbaste, onde o objetivo é retirar material da peça sem muita preocupação com o acabamento superficial, o avanço (limitado pela resistência da ferramenta e pela força de corte que pode causar vibração) e a profundidade de usinagem (limitada pela força de corte e pelo sobre-material da peça) devem ser os maiores possíveis e a velocidade de corte baixa. Assim, grande quantidade de cavaco é retirada na unidade de tempo e

se otimiza a vida da ferramenta. O quão pequena deve ser a velocidade de corte, depois de escolhido o avanço e a profundidade de usinagem, depende de considerações econômicas.

Em operações de acabamento, onde o objetivo é conseguir qualidade superficial, dimensional e geométrica da peça, o avanço e a profundidade de usinagem devem ser pequenos e a velocidade de corte deve ser a mais alta, para que seja removida uma quantidade de cavaco razoável na unidade de tempo. O quão mais alto deve ser a velocidade de corte, depois de escolhido o avanço e a profundidade de usinagem, depende, novamente de considerações econômicas. Entretanto com o advento de novas tecnologias foram lançadas no mercado as máquinas de altas velocidades (*High Speed Machining – HSM*) que conseguem alcançar até 60000 rpm e com isso chegar a velocidades de corte muito maiores que as máquinas-ferramentas convencionais. Com isso pode-se alcançar novas estratégias de usinagem conseguindo um melhor acabamento superficial, mas altas velocidades não são sempre sinônimas de melhores acabamentos por que se as estratégias geradas em um CAM forem errôneas, ou seja, não conseguirem alcançar o desempenho desejado as máquinas HSM apenas irão reproduzir na peça o que foi projetado no software CAM.

Uma ampla discussão sobre este assunto pode ser encontrada nas referências (DINIZ), (FERRARESI) e (STEMMER) e no Anexo I.

G. SELEÇÃO DAS MÁQUINAS-FERRAMENTAS

Os principais critérios para selecionar as máquinas-ferramenta são:

- Tipo e o número de ferramentas necessárias para realizar as diferentes operações;
- Tamanho do lote, que deve ser considerado em relação ao tempo de setup da máquina;
- A precisão das operações selecionadas, que dependem da precisão requerida na peça;
- Recursos e capacidades da máquina (tamanho, potência, etc.).

O primeiro estágio para selecionar uma máquina é baseado no tipo de processo necessário para produzir a peça e suas dimensões físicas. Para peças cilíndricas, por exemplo, em princípio um torno é considerado. Assim, somente aquelas máquinas que absolutamente não podem executar alguma das operações são excluídas.

O segundo estágio consiste em escolher uma máquina cuja potência do motor seja maior que a mínima requerida para executar a seqüência de operações. Se a potência for menor que a

mínima exigida, a escolha da mesma será excluída. Uma máquina de maior potência só será considerada se a mesma tiver um custo hora-máquina menor que o custo das outras ou se ela tiver uma velocidade do eixo maior que a rotação daquela de menor potência, e esta rotação for requerida pela operação em questão.

Já o terceiro estágio é empregado somente se o número de opções restantes for muito alto. A estimativa do tempo de usinagem ou custo de hora-máquina destas máquinas é importante para este passo. As três medidas que podem ser tomadas são:

- Selecionar as três máquinas que resultem em um menor tempo de usinagem;
- Selecionar a máquina que tem um custo mínimo em qualquer operação simples;
- Se ainda existirem muitas máquinas, selecionar aquela na qual o custo é mínimo no maior número de operações.

A escolha de uma máquina em detrimento de outra sempre dependerá de considerações econômicas. O processista tem que estar atento com o tempo ocioso da máquina-ferramenta (troca de fixação, mudança de operações), por isso é desejável que a máquina possa executar o maior número possível de operações com suas respectivas ferramentas, evitando ao máximo, trocas de fixações desnecessárias e algum outro tipo de contratempo.

Na prática a escolha da máquina-ferramenta pode ser dependente também das disponibilidades do chão-de-fábrica conforme a programação da produção (PCP).

H. SELEÇÃO DAS FERRAMENTAS

Ao selecionar a ferramenta para executar um certo trabalho, o processista tem que estar atento a diversos parâmetros, entre eles, a forma do inserto, tipo de inserto, suporte da ferramenta, método de fixação do inserto no porta-ferramenta, entre outros. Além disso, existem muitos tipos de ferramentas disponíveis no mercado, por isso, a fim de diminuir o número de escolhas possíveis deve-se adotar alguns critérios, como o de considerar somente as ferramentas que forem padronizadas segundo as normas ISO e ANSI.

A principal função da ferramenta é remover o material da peça originando as formas na superfície com qualidade exigida no projeto. As ferramentas serão escolhidas após terem sido selecionadas as máquinas e suas respectivas operações de usinagem. O primeiro passo para selecionar uma ferramenta consiste em tomar a decisão sobre quais operações usarão as mesmas

ferramentas. Para chegar a esta decisão, as operações são separadas em internas, externas e em segmentos de peças que precisem de operações especiais, como rosqueamento, entalhes, etc.

Conforme HALEVI e WEILL [1995], na segunda etapa, escolhe-se o mínimo ângulo de direção do gume (ângulo de posição, K_r) e o menor ângulo de direção do gume secundário (ângulo de posição secundário K_r') para cada segmento que a ferramenta cortará, como mostra o exemplo para as condições (Figura 2.9):

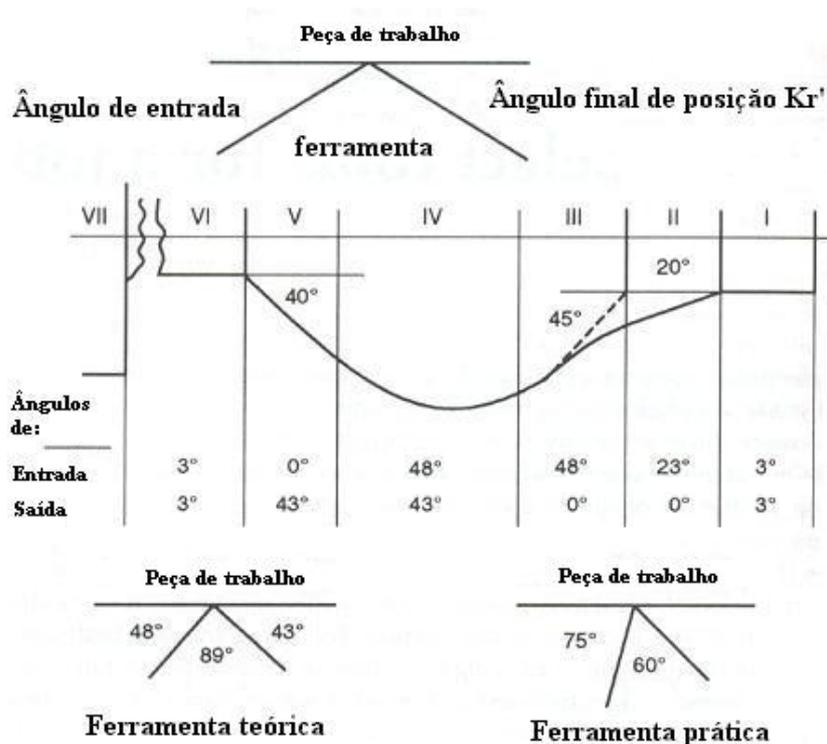


Figura 2.9 - Seleção da forma e ângulo de folga teórico

1. Primeiro segmento é um cilindro, então $K_r = K_r' = 3^\circ$;
2. Segundo segmento é um cone de 20° , então $K_r = 20 + 3 = 23^\circ$ e $K_r' = 0^\circ$;
3. Terceiro segmento é uma curva, onde a maior tangente é de 45° , então $K_r = 45 + 3 = 48^\circ$ e $K_r' = 0^\circ$ como antes;
4. quarto segmento é uma curva ao redor do centro do segmento $K_r = 48^\circ$ como o anterior. Esta curva é tangente a um cone de 40° , na qual é a máxima tangente do ângulo, então $K_r' = 40 + 3 = 43^\circ$;
5. penúltimo segmento é um cone com uma inclinação mínima de 40° , então $K_r = 0^\circ$ e $K_r' = 43^\circ$, o mesmo de antes;
6. último segmento é um cilindro, então $K_r = K_r' = 3^\circ$. O valor máximo de K_r , ao longo do trajeto é de 48° e 43° para K_r' .

Entretanto, na prática o ângulo de posição é determinado pela disponibilidade deste ângulo nos porta-ferramentas comerciais. Com isso, o processista tem de adequar a escolha às disponibilidades de catálogo.

O fabricante de ferramentas SANDVIK [2001], sugere para escolha da ferramenta para uso geral uma opção inicial conforme o tipo de material, observando se a operação é externa ou interna. Se a mesma não ocasionar resultados satisfatórios, são apresentadas ferramentas específicas para cada tipo de corte (rosqueamento, perfilamento, etc.).

I. SELEÇÃO DA SUPERFÍCIE DE REFERÊNCIA

Para que se possa elaborar um seqüenciamento de trabalho otimizado, garantindo a precisão especificada no projeto, é importante selecionar as superfícies que servirão de referências dimensionais para produzir as formas da peça. De acordo com HALEVI e WEILL [1995] os critérios mais usados para a escolha destas superfícies são:

- A primeira superfície de referência, também chamada de **superfície de abertura** tira proveito da superfície existente no “espaço cru”. Ela deveria ser do tamanho suficiente para assegurar a estabilidade e livre de furos e fendas.
- As outras superfícies definidas pela precisão dimensional deveriam ser determinadas de preferência para evitar a propagação de tolerâncias nas fases seguintes. A precedência das superfícies tem que ser ordenada de acordo com as prioridades definidas na análise do desenho.
- A escolha dos pontos de contato é uma consequência da precisão requerida entre a superfície e a peça, e segue o princípio da isostática, ou seja, é aplicado o uso dos seis pontos de fixação que impedem o movimento dos seis graus de liberdade possíveis, sem, contudo, deformá-la.
- A escolha de um furo como referência é menos preciso que a escolha de um plano.
- A fixação tem que prevenir a instabilidade que as forças de corte ou quaisquer outros distúrbios podem causar. Fixações em superfícies com defeitos ou em junções soldadas devem ser evitadas.
- É necessária boa acessibilidade para a ferramenta, de modo que a peça possa ser posicionada em seu dispositivo corretamente.
- Finalmente, a escolha do dispositivo deve ser feita levando em consideração aspectos econômicos. Quando possíveis elementos modulares devem ser usados, podendo ser combinados com dispositivos de fixação especiais.

J. SEQUÊNCIA DE USINAGEM

As operações selecionadas devem ser colocadas em uma certa ordem, de acordo com relacionamentos precedentes ou das prioridades relevantes. As diferentes categorias de prioridade podem ser classificadas da seguinte maneira (HALEVI e WEILL - 1995):

- Dimensões com uma referência como prioridade;
- Tolerâncias geométricas com uma referência de dados como prioridade;
- Obstáculos tecnológicos em ordem para executar as seqüências de operações corretamente;
- Obstáculos econômicos nos quais reduzem os custos da produção e desgaste ou ruptura de ferramentas caras, entre outros.

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

K. POSICIONAMENTO E FIXAÇÃO DA PEÇA

Uma etapa importante no processo de usinagem é o correto posicionamento e fixação da peça, sem que a mesma sofra algum tipo de deformação garantindo as exigências especificadas no projeto. Normalmente, a escolha do posicionamento e fixação de uma peça é uma tarefa difícil e complexa que demanda tempo de pesquisa e projeto do dispositivo. Segundo HALEVI e WEILL [1995], um dispositivo de fixação adequado tem que ter rigidez e dureza suficiente para que a peça não rompa com uma carga menor que a de projeto, não sofra flexões além daquela permissível, não mude de posição (escorregue) abaixo da carga de projeto e não se torne perigoso a ponto de quebrar devido às forças de fixação (estas forças têm que terem valores limites). Alguns desses problemas podem ser ocasionados pelas forças ativas na peça, quando o corte está sendo efetuado, por isso o processista tem sempre que trabalhar com valores limites.

A qualidade de fixação do dispositivo, do ponto de vista do posicionamento, tem um impacto direto no “jogo” de dimensões observadas na produção. Por isso a seleção destes dispositivos tem uma grande influência na obtenção das precisões requeridas no projeto de uma peça mecânica, tanto para aspectos econômicos quanto no aspecto de segurança do operador. Na

os cortes que a peça vai sofrer for associado a suas respectivas operações dividi-se a carta através de uma linha horizontal, abaixo desta linha são escritas as dimensões da peça representada por linhas com círculos de ambas extremidades, e na direita desta parte encontra-se o valor das dimensões com sua respectiva tolerância. Assim admitindo valores limites de tolerância para cada operação, pode-se usar as técnicas das cartas de tolerância para avaliar a praticabilidade do plano de processo para executar a peça conforme as tolerâncias desejadas. Somente dimensões laterais são consideradas nesse procedimento.

M. PREPARAÇÃO FINAL DO PLANO DE PROCESSO

Depois de definidos todos os itens discutidos, é possível criar um plano de processo, ou seja, um documento que contenha todas as informações que sejam pertinentes para produção da peça. Este documento também conhecido como folha de processo ou plano de processo vai conter todas as seqüências de operações definidas anteriormente. Indicará quais máquinas e ferramentas serão usadas, qual dispositivo de fixação e posicionamento será o mais adequado e quais parâmetros de corte serão utilizados para otimizar o processo. Um exemplo simplificado de folha de processo está mostrado na Figura 2.11.

EXEMPLO DE PLANO DE PROCESSO									
GPAI/UFRGS			CÓDIGO DA PEÇA: 1234567890				QUANTIDADE: 50		
			N° DO PRODUTO: GP-1020						
			DESCRIÇÃO: EIXO_10						
MATERIAL: ABNT 1045									
N° Oper.	Operação	Tipo da Oper.	Máquina	Pastilha	Ferramenta	Fixação	V _c	a _f	a _p
10	Serrar	-	Serra A.	-	-	-	-	-	-
20	Chanfrar	-	CNC_1	TNMG220408PF	PTTNL2525M22	P = pelo furo	332	0.2	0.5
30	Facear	Desbaste	CNC_1	CNMG120412QM	PCLNL2525M12	P = pelo furo	246	0.6	4
40	Cilindrar	Acabamento	CNC_1	CNMG120408PF	PCLNL2525M12	P = pelo furo	423	0.2	0.5
50	Cortar	-	CNC_1	N123G203000001CF	RF123G101616B	P = pelo furo	120	8	18

Figura 2.11 - Exemplo de Plano de Processo

1.3. BENEFÍCIOS DIRETOS DO PLANEJAMENTO DE PROCESSO

A aplicação bem sucedida de um sistema de **PLANEJAMENTO DE PROCESSO** pode trazer resultados significativos, como retorno de investimentos em **curto prazo** (menor que com sistema CAD/CAM), pela racionalização no uso dos recursos já existentes na empresa. Alguns benefícios facilmente identificados podem ser enumerados como:

- Aumento da Produtividade – planejamento sistemático;
- Melhor aproveitamento da capacidade de trabalho para os equipamentos existentes;
- Redução dos refugos e retrabalhos – consequência das condições de trabalho bem definidas;
- Redução do volume geral de trabalho na fábrica, pois melhora a organização e definição de tarefas levando a diminuição dos tempos mortos.

Outros benefícios que também agregam valor ao planejamento da produção só que de forma indireta são:

- Otimização, sistematização do fluxo de trabalho;
- Detalhamento e registro favorecem a rastreabilidade e controle de processos;
- Questionamento e imposição das adequadas especificações de engenharia – revisão de desenhos;
- Documentação automática da tecnologia de fabricação.

3. AUTOMATIZAÇÃO DO PLANO DE PROCESSO

3.1. PLANEJAMENTO DE PROCESSO ASSISTIDO POR COMPUTADOR (CAPP)

O desenvolvimento do **plano de processo** é muito dependente da experiência e capacidade de julgamento dos processistas. Eles são os técnicos industriais responsáveis para determinar uma rota otimizada, para cada projeto de uma nova peça. Entretanto, cada engenheiro tem sua própria forma de pensar e definir o melhor caminho para se chegar a este plano. Assim, normalmente existem diferenças entre as seqüências de operações desenvolvidas pelos vários processistas. Os problemas envolvidos nos processos convencionais podem ser solucionados com o advento do computador, pois ele pode padronizar os processos eliminando a inconsistência de planos obtidos por processistas diferentes, e pode proporcionar a divisão do trabalho de redação e preparação do plano entre o processista e o próprio computador. Sistemas computadorizados que permitem a geração automatizada dos planos de processos são identificados como sistemas CAPP (*Computer Aided Process Planning*) e permitem trabalhar com uma base de conhecimento e gerar planos de um modo padronizado. Assim, além de diminuir o tempo de execução do plano ele também melhora a qualidade da documentação enviada ao chão-de-fábrica.

Segundo ROZENFELD [1992], para a automação do planejamento de processo é necessário captar uma série de regras e técnicas que relacionem determinadas especificações de fabricação compondo as seqüências de operações, levando em consideração os seguintes procedimentos:

- **Preparação do Planejamento:** quais são os dados necessários na folha de processo, prazos de elaboração, pessoas envolvidas, etc;
- **Especificação dos Dados Organizacionais:** como e onde vão ficar os dados da empresa, nome, número, código, revisão e status do plano, etc;
- **Determinação da Peça em Bruto:** interpretação do desenho e visualização da passagem da matéria-prima para a peça em bruto;
- **Determinação dos Processos de Fabricação:** identificar que operações e processos de fabricação a manufatura da fábrica é competente para realizar ou planejar;
- **Determinação das Operações e suas Seqüências:** destacar as operações que a peça em bruto vai sofrer para se transformar na peça acabada e ordená-las de modo a atender às especificações exigidas;

- **Seleção do Maquinário:** com as operações e a especificação, selecionar as máquinas e, ao mesmo tempo, não subutilizar ou não sobrecarregar as mesmas. Às vezes pode-se fazer várias simulações para se chegar a um quadro ideal;
- **Seleção de Ferramentas:** com o conhecimento da máquina e das especificações das operações, determinar uma ferramenta que esteja disponível e cujo custo seja o mais baixo possível;
- **Determinação das Condições de Trabalho:** escolher o nível do operador adequado para realizar a operação, indicar o modo de preparação da máquina e da ferramenta (setup) e determinar o modo com que a operação deve ser realizada (indicando, por exemplo, velocidade de rotação, avanço, etc.);
- **Cálculo dos Tempos de Fabricação:** com o uso dos parâmetros de fabricação (diâmetro, comprimento, material e outros) especificar as fórmulas e/ou tabelas utilizadas para cálculo dos tempos de fabricação;
- **Especificação dos Tempos de Fabricação:** previsão dos tempos de fabricação por experiência anterior ou por medições dos tempos de peças similares;
- **Cálculo do Sobremetal:** indicação de sobra de material para que a operação possa ser realizada nas especificações (por exemplo, o sobremetal deixado para o acabamento após uma passada de desbaste);
- **Elaboração de Croquis:** ilustrar como é feita a operação para o estágio de fabricação da peça, ou para a preparação da máquina, ou ainda detalhar uma operação de forma a facilitar a interpretação para o operador;
- **Programação NC:** elaborar um programa de comando numérico que transforme a matéria-prima em produto acabado.

Conceitual e filosoficamente o planejamento de processos assistido por computador pode ser concebido e implementado em quatro formas diversas: variante, generativo interativo, generativo automático e híbrido, conforme abordado em diversos trabalhos de pesquisa e desenvolvimento.

3.2. FORMA VARIANTE

Este sistema é derivado do tradicional planejamento de processo, tendo como fundamentação a **Tecnologia de Grupo (GT)**, a **codificação** e **classificação** de peças. Nesta forma, os itens produzidos em uma planta são agrupados dentro de família de peças, distinguidas de acordo com suas características de produção, forma geométrica ou operações de usinagem. Para cada família de peças um plano padrão é construído, proporcionando uma sistematização de curto período e baixo investimento. Quando uma nova peça for introduzida, o plano padrão para aquela família particular é recuperado e alterado, acomodando quaisquer variações requeridas na

fabricação da nova peça (Figura 3.1). O plano de processo resultante se torna, dessa forma, uma variação do plano padrão, donde vem o nome variante. Mas como esta forma recupera um plano feito anteriormente, ele também é chamado de sistema de recuperação.

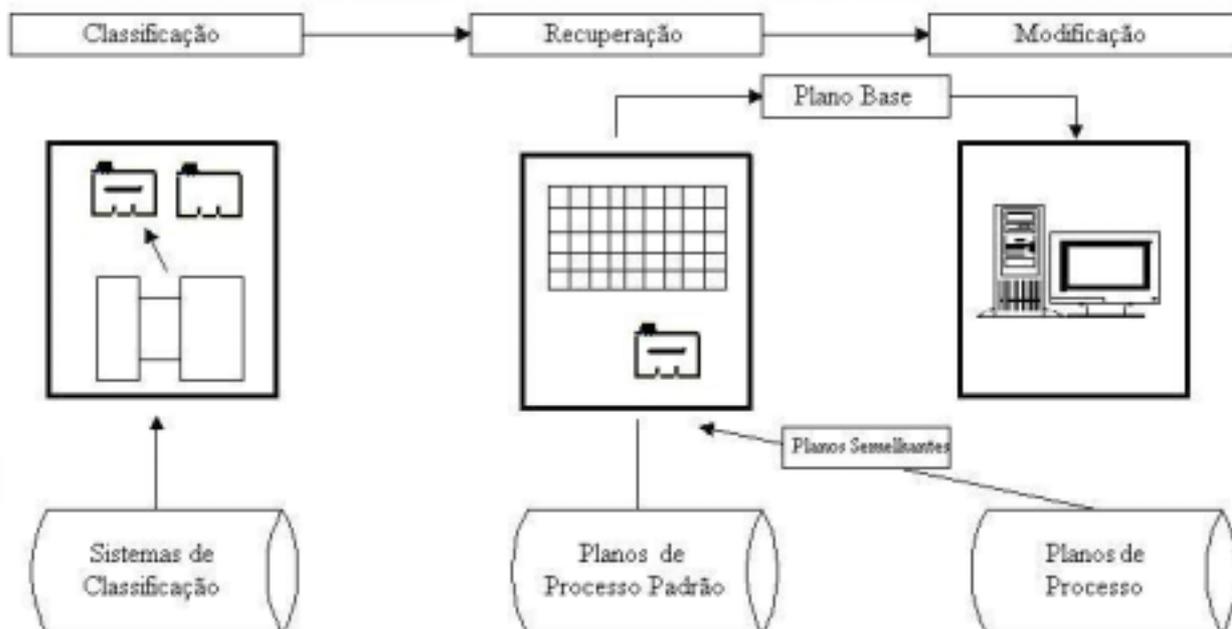


Figura 3.1 - Sistema Variante de Planejamento de Processo

O plano padrão é armazenado permanentemente em um **banco de dados (BD)** com o número da família como sua senha chave. Não existem limitações para os detalhes que o plano pode possuir, de qualquer forma, ele deve conter, ao menos, uma seqüência de estágios de fabricação ou operações. A restauração do método e a lógica de um sistema variante são a base do grupo de peças dentro de uma família. Métodos comuns de fabricação podem, então, ser identificados para cada família.

Nesse contexto é que entra a tecnologia de grupo (GT) que considera que muitos problemas (peças) são similares e se forem agrupados por similaridades (famílias), e uma única solução poderá resolver tais problemas, economizando tempo e esforço. Conforme NORMAN [1989] a aplicação da GT se dá tanto na área de fabricação como em projetos. Na fabricação pode-se constatar que existem peças de formas e funções diferentes, mas que requerem processos de fabricação semelhantes como mandrilamento, faceamento e furação. Portanto existe uma similaridade entre as peças, e seu agrupamento formará uma família de produção (Figura 3.2). No projeto de peças, agrupam-se aquelas que possuem formas semelhantes. Assim, um novo projeto pode ser feito apenas modificando-se algumas características de um componente já existente. Desta maneira, as peças com projeto semelhante formarão famílias de projeto.

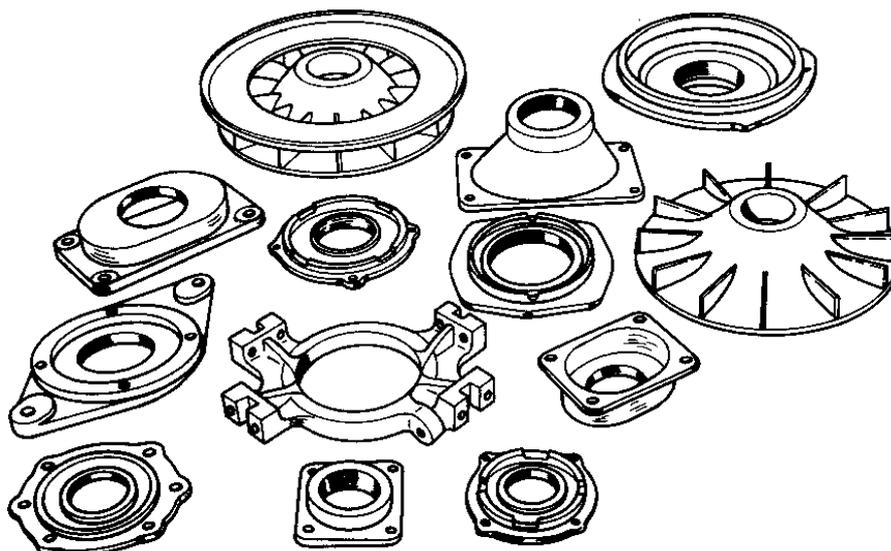


Figura 3.2 - Exemplo de componentes que formam uma família de peças

Toda fundamentação para a metodologia variante está inserida nos conceitos da filosofia da Tecnologia de Grupo. Segundo LORINI [1993], para implementação dos princípios de GT, toda uma reorganização do ambiente de manufatura faz-se necessária. As principais etapas que devem ser consideradas neste processo podem ser citadas como:

- Adequação do layout físico;
- Implantação de um sistema de codificação e classificação;
- Racionalização de projetos e processos de fabricação;
- Formação de famílias de peças e células de máquinas.

Dentre estas etapas, um dos principais aspectos é a organização das famílias e células, resolvendo-se um dos maiores entraves à eficiência na produção de peças usinadas, que são os tempos não produtivos, notadamente os de preparação de máquina, ao mesmo tempo em que viabiliza a elaboração de planos de processo para estas famílias. Outro aspecto que simultaneamente pode ser acompanhado é a adequação do layout físico, na determinação das máquinas que são necessárias ao processamento de cada família de peças.

A. LAYOUT FÍSICO

Constata-se, em sistemas tradicionais de manufatura com layout funcional, que do tempo total despendido para a fabricação, apenas 5% corresponde efetivamente ao tempo de peça nas máquinas (GROOVER-1987). O tempo restante, não produtivo, deve-se a operações essencialmente de movimentação, ajustes, ou a períodos de espera.

Já na concepção de layout de grupo (celular), as máquinas dispostas de modo adequado e próximas uma das outras (Figura 3.3), para atender os processos de uma família de peças, minimizam drasticamente esses tempos utilizando um espaço físico menor relacionado com o layout em linha. Por outro lado, deve-se considerar também que do tempo total em que a peça permanece na máquina, apenas em torno de 30% representa efetivamente tempo de corte. O restante corresponde a ajustes de máquina e ferramentas, e quando estes são realizados não para cada peça, mas sim para a família considerada, são significativos os ganhos de produtividade no setup, ao mesmo tempo em que se tem uma grande flexibilidade de execução das famílias de peças.

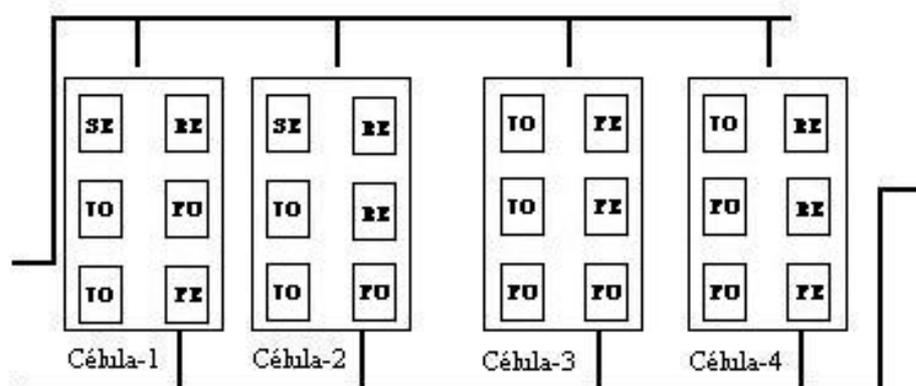


Figura 3.3 - Esquema de um layout de grupo

Para um arranjo de máquinas na forma de uma linha de produção, com uma seqüência adequada a determinado tipo de produto, caracteriza-se uma concepção adequada para processos industriais relativamente simples, como linhas de montagem ou produção em massa e para grandes quantidades (LORINI-1993).

B. DEFINIÇÃO E FORMAÇÃO DE FAMÍLIA DE PEÇAS

A formação das famílias de peças são baseadas nas semelhanças entre as peças produzidas ou, mais especificamente, nas características de produção. Uma família é definida com uma margem de folga, não existindo regras rígidas que podem ser aplicadas para formar famílias de peças, cada usuário (processista) pode definir suas próprias regras. Mas uma regra geral que sempre deve ser observada é que para formação de famílias de peças todas devem ser relacionadas entre si para facilitar a formação de um plano de processo padrão.

Uma das maiores dificuldades para passar de um método tradicional de manufatura para uma filosofia de tecnologia de grupo, com uma produção em células é justamente o agrupamento

em famílias, para se alocar adequadamente as máquinas necessárias. Uma das ferramentas utilizadas para este objetivo é a análise do fluxo de produção. Nessa metodologia, o plano de processo é organizado dentro de uma matriz que relaciona as máquinas e as peças, também é chamada de incidência peça-máquina. Em um ponto de junção, indicando que uma peça é produzida em determinada máquina, é feita uma marca (pode ser um caractere, como também o respectivo tempo de processamento). Quando o fato não ocorre, pode-se colocar o número 0, ou até mesmo deixar em branco, como indicado na figura.

-	Peça_1	Peça_2	Peça_3	Peça_4
Serra	1			1
Torno	1			1
Fresa		1	1	
Furadeira	1		1	
Inspeção	1	1	1	1

Figura 3.4 - Matriz de incidência peça-máquina

A etapa mais difícil e mais importante do método consiste de uma análise, onde rearranja-se a matriz, através de uma técnica especial (pode ser via software, algoritmos). As peças reunidas devem necessitar dos mesmos processos e ter o mesmo fluxo na fabricação, de acordo com os parâmetros de similaridade (Figura 3.5). Uma análise subsequente, mais detalhada é necessária para a formação das famílias de peças. Em alguns casos peças não serão absorvidas em famílias, ficando isoladas. Estes casos deverão ser avaliados em separado, sendo buscadas rotas alternativas ou mantendo a produção por processos convencionais, ou mesmo terceirizando a produção.

-	Peça_1	Peça_4	<u>Peça_2</u>	<u>Peça_3</u>
Serra	1	1		
Torno	1	1		
Fresa			<u>1</u>	<u>1</u>
Furadeira	1			<u>1</u>
Inspeção	1	1	<u>1</u>	<u>1</u>

Figura 3.5 - Matriz peça-máquina com células destacadas

Uma outra técnica para formação de famílias de peças no ambiente de manufatura é a aplicação de um sistema de classificação e codificação.

C. CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO DE PEÇAS

Um sistema de codificação e classificação implica na definição de uma metodologia para formação de um código numérico ou alfanumérico com a finalidade de representar características de um objeto (peça) ou processo.

Construir um sistema de classificação e codificação é uma tarefa difícil e deve ser feita por um especialista, pois o sistema pode influenciar em vários setores da empresa, como suprimentos, produção, etc. Embora tenham sido desenvolvidos vários sistemas de classificação e codificação, não existe nenhum sistema universal, pois cada método tem sua própria lógica, que é dependente das necessidades de cada produto ou tipo de indústria.

Segundo CHANG e WYSK [1985], os fatores que devem ser considerados para construção de um código de tecnologia de grupo são:

- Identificação da população dos componentes (rotacionais, prismáticos, material);
- Os detalhes que o código deve representar;
- A estrutura do código: cadeia, hierárquico, ou híbrido;
- A representação digital (binário, decimal, alfanumérico, etc.).

O código não pode ser ambíguo, ou seja, ele não pode ter dupla interpretação e deve ser conciso e completo. Deve representar o maior número de características possíveis, pertinentes ao processo, mas não deve ser tão longo para minimizar os erros quando da manipulação do código e a classificação. Algumas características que o código pode representar relativas à manufatura podem ser citadas, como: maior processo, menor operação, acabamento superficial, relação comprimento/diâmetro, seqüência de operações, ferramentas de corte, dispositivo de fixação, inserto, tamanho do lote, entre outros.

Conforme HALEVI e WEILL [1995], a tarefa de classificação torna-se a parte mais importante para a implementação do sistema variante e segundo HAM apud LORINI [1993], os principais benefícios de um código de produto são:

- Formação de famílias de peças e grupo de máquinas;
- Recuperação de desenhos e processos;
- Racionalização e redução nos custos de projetos;
- Padronização de projetos e produtos;

- Estabelecimento de estatísticas sobre peças;
- Estimativa de ferramentas e cargas de máquinas;
- Racionalização de ferramental e redução de tempos de preparação de máquinas;
- Padronização de ferramental e processos;
- Racionalização da programação e planejamento da produção;
- Estimativas e contabilidade de custos mais apurados;
- Estabelecimento de uma base de dados de manufatura.

Existem vários sistemas codificação e classificação desenvolvidos por empresas ou grupos de pesquisa (Miclass, Opitz, KK-3, Code, SCC/GRUCON, etc.), porém é recomendado que cada planta de produção tenha seu próprio sistema de classificação para satisfazer suas próprias necessidades.

O sistema de codificação e classificação torna-se a base do método variante, pois seu código proporciona a classificação e a formação das famílias de peças e é a chave para a recuperação dos planos de processo. Segundo CHANG e WYSK [1985], de um modo geral, a forma variante de planejamento de processos apresenta dois estágios: um estágio preparatório (Figura 3.6) e outro de produção (Figura 3.7). No primeiro estágio as peças existentes são classificadas, codificadas e finalmente agrupadas em família de peças. Uma vez montada a família, o passo seguinte é desenvolver a folha de processo padrão para os formadores da mesma família, após isso os planos são armazenados em um banco de dados e indexado com o código da matriz família.

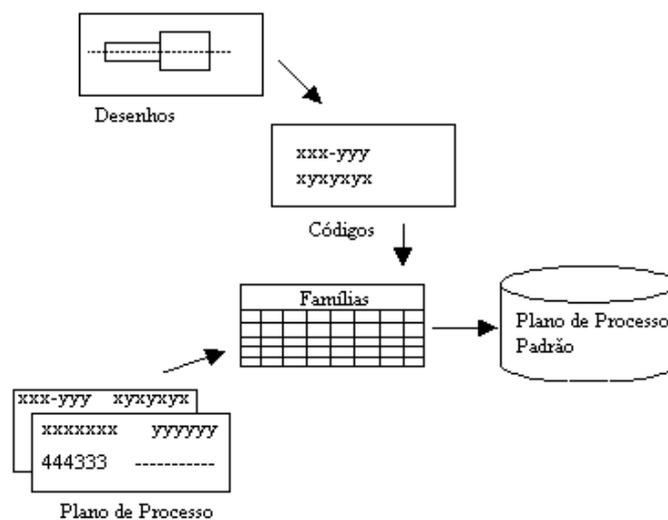


Figura 3.6 - Estágio de Preparação do Plano

No estágio da produção o sistema já está operando e quando uma nova peça for recebida do departamento de projeto uma nova folha de processo pode ser desenvolvida com base no plano padrão recuperado. Nele o processista fará às novas adaptações para o plano, satisfazendo as necessidades do projeto do novo componente. Algumas outras funções, assim como, as seleções de parâmetros de corte e cálculo de tempos padrões, podem ser adicionadas para fazer o sistema mais completo e detalhado.

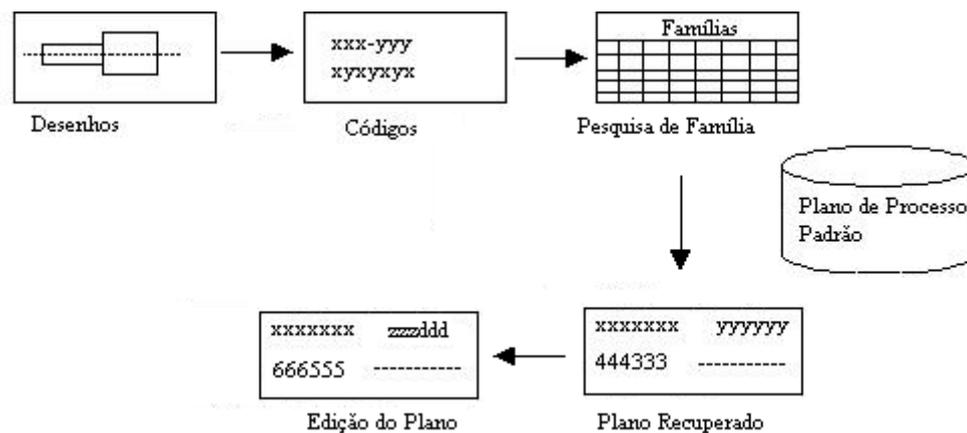


Figura 3.7 - Estágio de recuperação do Plano de Processo

O método variante é muito utilizado nas empresas que utilizam sistemas CAPP, apesar dele não gerar o plano de processo automaticamente e ainda depender do conhecimento do processista. As principais razões segundo GAWLIK, para que ele ainda seja muito popular são:

- O investimento em hardware e software é menor em relação a outros métodos;
- O tempo de desenvolvimento e da força de trabalho é menor em relação à forma generativa e a instalação também é mais fácil;
- Na situação atual, o sistema variante é um pouco mais adequado para uso em ambiente real da produção, assim ele é razoável para ambientes atuais da produção, especialmente para companhias pequenas e de tamanho médio.

3.3. FORMA GENERATIVA INTERATIVA

Método que busca a geração da folha de processo através da tecnologia de algoritmos, decisões lógicas e fórmulas, baseando-se na geometria da peça a ser produzida. As informações do planejamento são geradas pelo processista e enviadas a um computador, como o processista experiente normalmente não apresentava habilidade no computador, os algoritmos utilizados proporcionam um guia na escolha de padrões pré-cadastrados, através de uma interface amigável (ver Figura 3.8). A busca deste padrão é ainda facilitada por uma classificação, que facilita a sua

busca. Desta maneira, o usuário interage diretamente com o computador com um mínimo de digitação e dificuldade. Quando existir uma relação entre os padrões (por exemplo, a ferramenta "X" só pode ser utilizada na máquina "Y"), o usuário não precisa navegar por muitas opções para escolher um padrão (no exemplo, a ferramenta). O sistema verifica o que já foi determinado e só apresenta para seleção aqueles padrões que se relacionam com os já escolhidos (por exemplo, uma lista das ferramentas que podem ser utilizadas na máquina "Y") (ROZENFELD).



Figura 3.8 - Sistema Generativo Interativo

3.4. FORMA GENERATIVA AUTOMÁTICA

Em um sistema deste tipo armazena-se o conhecimento da produção e características de projeto em um Banco de Dados e, utilizando-se de regras obtidas da experiência dos processistas, gera-se um plano de processo específico para cada nova peça sem a assistência humana, pois os mecanismos de inferência, decisões, lógicas e algoritmos, interpretariam os dados de projeto e tomariam as decisões sobre o "como fazer". As representações das peças devem estar armazenadas no computador de uma forma interpretável pelo sistema CAPP, para que este realize inferências automáticas nas tomadas de decisão. A melhor forma de representação para a inferência automática são as *features* (características). As *features*, de maneira simplificada, podem ser consideradas como a descrição técnica e geométrica de regiões de um produto, normalmente provinda de um sistema CAD. Além da plataforma CAD, existem várias maneiras de dar entrada de dados nos sistemas generativos. Entre elas estão os códigos e a linguagem descritiva (NORMAN – 1989).

- **Códigos:** A codificação é mais comumente usada na forma variante (GT). Mesmo assim, algumas plataformas generativas, como APPAS e GENPLAN (CHANG e WYSK – 1985), também usam a codificação como entrada de dados. Os códigos no sistema generativo são mais detalhados e algumas vezes aglutinam valores de parâmetros.

- **Linguagem descritiva:** As linguagens especialmente concebidas para descrever peças podem fornecer informações bastante detalhadas para o sistema de planejamento de processo. Embora as linguagens descritivas forneçam os elementos completos para a geração de um plano de trabalho. O problema principal é a dificuldade de assimilar o desenho original automaticamente.
- **Modelamento via CAD:** Um projeto de uma peça em uma plataforma CAD gera um modelo que pode ser usado como entrada de dados para o sistema generativo automático. Esta forma elimina a intervenção humana para traduzir um desenho em código de linguagem. Um desenho modelado em um sistema CAD pode conter todos os dados necessários para uma completa análise de planejamento. Entretanto, ainda existe uma barreira que deve ser transposta – um algoritmo que identifique as superfícies que serão trabalhadas, na base de dados CAD.

Este método é complexo e difícil de ser implementado por que os processistas que detêm o conhecimento da produção e da engenharia mecânica geralmente não possuem o conhecimento prévio para produzir os algoritmos, e os que possuem este conhecimento não são bons o suficiente na área de engenharia. No sistema generativo ideal, muitos projetos de peças deveriam ser apresentados para que se obtenha um plano otimizado. Na prática, as formas atuais deste tipo estão longe deste universo, em sua aplicabilidade. Segundo GROOVER [1984], eles tendem a cair brevemente de uma potencialidade verdadeiramente generativa, e eles são desenvolvidos para uma escala um tanto limitada de processos de manufatura.

3.5. FORMA HÍBRIDA

Como cada método apresenta vantagens e desvantagens, a melhor solução a ser tomada é que a combinação destes métodos em uma solução mista pode alcançar o melhor de cada um dos métodos. A solução híbrida, também chamada de semi-generativa (ver Figura 3.9), permite a utilização das vantagens de cada método em partes distintas das funções de planejamento de processo. Para uma peça nova, que não possua plano de processo semelhante, inicia-se o planejamento através do generativo interativo, e em determinados pontos pode-se requisitar que o sistema faça uma inferência automática (cálculo de tempos, cálculo de condições de usinagem, geração de NC para uma característica conhecida). Com isso pode-se aproveitar as principais vantagens dos sistemas generativos que segundo CHANG [1985] são:

- Ele pode gerar planos de processos rapidamente;
- Facilidade de interação entre os sistemas Generativo Interativo e Automático;
- Novos componentes podem ser facilmente planejados desde que suas *features* se encontrem no banco de dados.

Outras peças, de formato mais bem comportado que apresentem uma certa repetibilidade, podem ser mais bem planejadas através do método variante.

Pode-se realizar também a geração de planos de processo de maneira totalmente automática, como no caso de peças que podem ser parametrizadas, por exemplo, uma engrenagem, que pode ser descrita pelo seu passo de base, diâmetro primitivo, módulo, etc. Neste caso o computador interpreta os parâmetros, realiza inferências automáticas e geram o plano de processo respeitando as respectivas regras de seqüenciamento definidas no sistema.

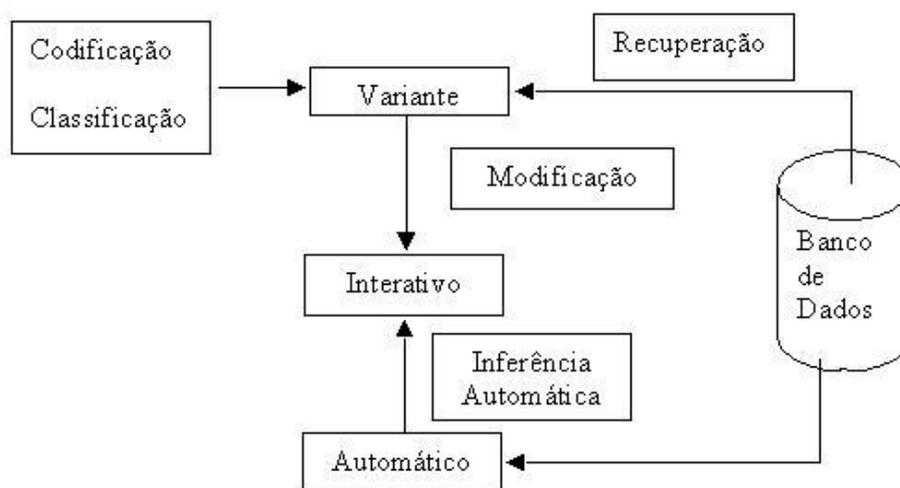


Figura 3.9 - Sistema Híbrido

3.6. FERRAMENTAS UTILIZADAS EM SISTEMAS CAPP

Os sistemas CAPP utilizam-se de ferramentas de análise para estruturar as decisões lógicas que devem ser tomadas para formação de um plano de processo otimizado. As estruturas de decisões podem ser construídas com operadores lógicos de programação (*IF* (se), *AND* (e) e *THEN* (então)) e estas podem ser facilmente transcritas em sentenças lógicas para um programa de computador. A seguir são apresentadas algumas ferramentas de decisão lógica utilizadas no desenvolvimento de sistemas de planejamento.

- **Árvore de decisões:** Este tipo de estrutura consiste em um gráfico com uma raiz da qual partem várias ramificações (ver Figura 3.10). Ela é o caminho natural para representar as informações de processo. Condições (SE) são agrupadas nos ramos da árvore e ações pré-determinadas podem ser encontradas nas junções de cada ramo (nós). Quando um ramo é verdadeiro pode-se viajar por ele até o nó seguinte onde outra operação é atribuída ou executada. As ramificações em série representam uma lógica *and* (e) e quando um ramo verdadeiro admite outro ramo verdadeiro, estaremos diante de uma condição de alternativa *or* (ou). É fácil construir uma árvore e ela permite compreender, visualizar e eliminar facilmente os erros, entretanto a expansão ou manutenção do programa é bastante complexa.
- **Tabela de decisões:** Uma tabela de decisão é composta de condições, dados e ações (ver Tabela 3.1), o princípio de todos os programas de computador. Ela deve ser montada no formato de tabela, onde: deve ser completa para não haver dúvidas, e ser precisa na apresentação das regras sem ser redundante e de forma alguma pode conter *loops*.
- **Sistemas Especialistas:** São programas de computadores, também chamados de **inteligência artificial (IA)**, com regras que contém a mesma habilidade de resolver problemas que um perito (processista) tem para um domínio estreito do problema. Um exemplo de estrutura de regra é apresentado a seguir:

Regra número: 33

Aplicação: fazer furo

se diâmetro mínimo ≥ 2
 e diâmetro mínimo < 3
 e rugosidade superficial ≤ 3
 e não tem ângulo de chanfro
 então operação prevista = furação
 CHAME A BROCA

Fim

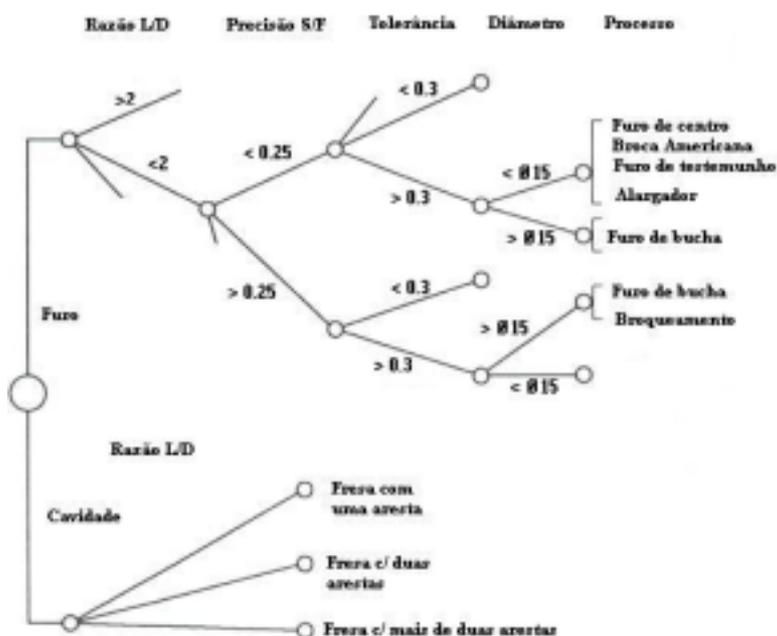


Figura 3.10 - Configuração de uma árvore de decisão

Tabela 3.1 - Esquema de uma tabela de decisão

L/D razão <2	V	V	V	F	F
<2	F	F	F	V	V
Precisão S/F < 0.25	V	V	F	F	F
>0.25	F	F	V	V	V
Centro do Furo	1	-	-	2	-
Entre Furos	2	1	-	-	2

3.7. BENEFÍCIOS DOS SISTEMAS CAPP

Segundo GROOVER [1984], tanto um sistema variante, ou, um sistema generativo oferecem um número de vantagens potenciais sobre a forma de planejamento de processo tradicional (manual) e essas vantagens são:

- 1. Racionalização do Processo:** A preparação automatizada das distribuições das operações provavelmente será mais consistente, lógica e otimizada que sua contraparte manual. O plano de processo será consistente por que o mesmo programa está sendo usado para confecção de todos os planos. Evita-se drasticamente a tendência de diferentes folhas de processo de diferentes processistas. O plano tende ser mais lógico e otimizado por que a empresa tem supostamente incorporado a experiência e julgamento de seus melhores homens da produção dentro da plataforma CAPP.
- 2. Aumento na produtividade dos planejadores da produção:** Com o sistema de planejamento de processo assistido por computador, existe uma forte redução da burocracia, onde poucos erros são cometidos, e os processistas têm um imediato acesso ao banco de dados do processo. Estes benefícios se traduzem em uma alta produtividade dos planejadores, deixando-os com mais tempo para questões (análise e concepção) que agregam valor à empresa.
- 3. Redução do tempo de retorno:** Trabalhando com estes sistemas, o processista é capaz de preparar a folha de processo para uma nova peça em menos tempo comparado com a preparação manual.
- 4. Melhoramento da legibilidade:** O documento preparado no computador é mais organizado e sua leitura e compreensão são facilitadas em relação aos escritos manualmente. Estes métodos empregam textos padrões, facilitando a interpretação do plano de processo no chão de fábrica.
- 5. Incorporação de outros aplicativos:** Juntamente com o sistema de planejamento de processo pode-se operar outros pacotes de programas que auxiliem na automatização de outras funções de apoio à produção que também consomem tempo da manufatura, como exemplo pode ser citado um sistema de dados de usinabilidade, de cálculo de tempos de usinagem.

Em artigo recente a Weg [GOMES-2002], empresa de motores, solucionou vários problemas de usinagem de eixos utilizando um sistema CAPP de forma híbrida. Este método trouxe uma redução de 46% no tempo de implantação do processo, conforme mostram os gráficos.

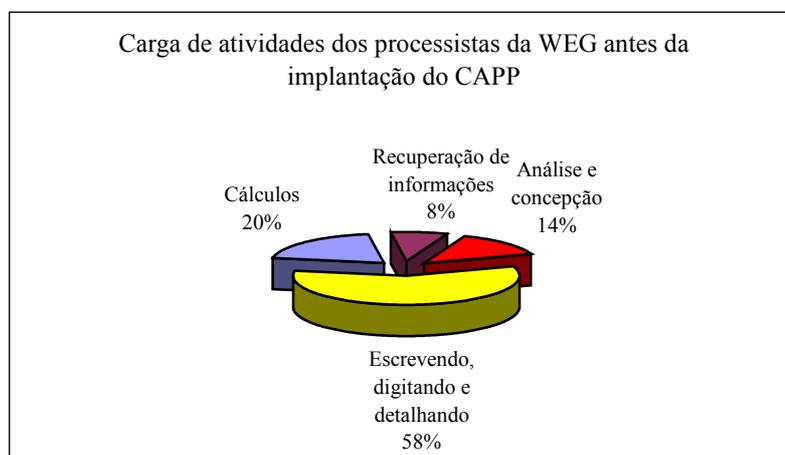


Figura 3.11 - Carga de atividades dos analistas de processos dos departamentos de produção da Weg – Motores antes do sistema CAPP

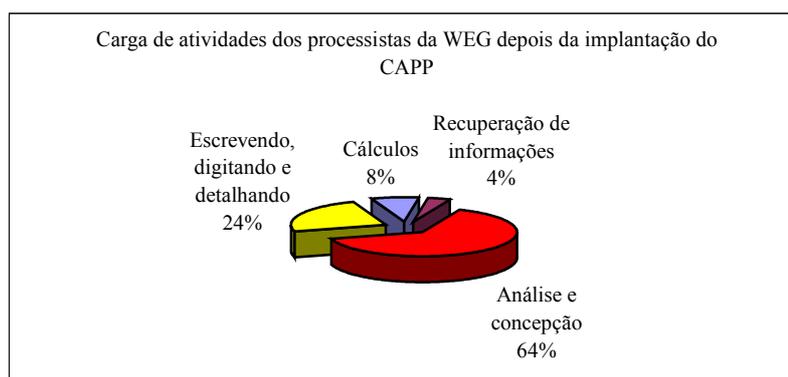


Figura 3.12 - Carga de atividades dos analistas de procesos dos departamentos de produção da Weg – Motores depois do sistema CAPP

3.8. ALGUNS SISTEMAS CAPP EXISTENTES

Nos primeiros trabalhos de pesquisas sobre o assunto a maioria dos sistemas CAPP eram do tipo variante, no decorrer dos anos com o desenvolvimento tecnológico tanto na área de processo como na informática os sistemas do tipo generativo e do tipo híbrido, ganharam maior destaque, porém limitando-se especificamente a geração de planos de processo.

Atualmente uma nova tendência é incorporar os sistemas tanto de auxílio da produção quanto do projeto no gerenciamento de todo o ciclo de vida dos produtos (PLM – *Product Lifecycle Management*) para permitir o compartilhamento de informações entre os aplicativos que auxiliam essas funções.

A. MIPLAN e MULTICAPP

Dois sistemas do tipo variante que foram desenvolvidos em conjunto entre a TNO (organização de pesquisa científica da Holanda) e a OIR (organização de pesquisas industriais) no início dos anos 80. Eles usam o sistema de codificação MICLASS (desenvolvido pela TNO) para descrição das peças. Conforme CHANG e WYSK [1985], são sistemas de recuperação de dados (Figura 3.13), que recuperam o plano de processo baseado no código da peça, número da peça, matriz da família e grupo de códigos. Com a entrada do código da peça, aquelas com códigos similares (similaridade definida pelo usuário) são encontradas, e o plano de processo é recuperado e editado pelo usuário.

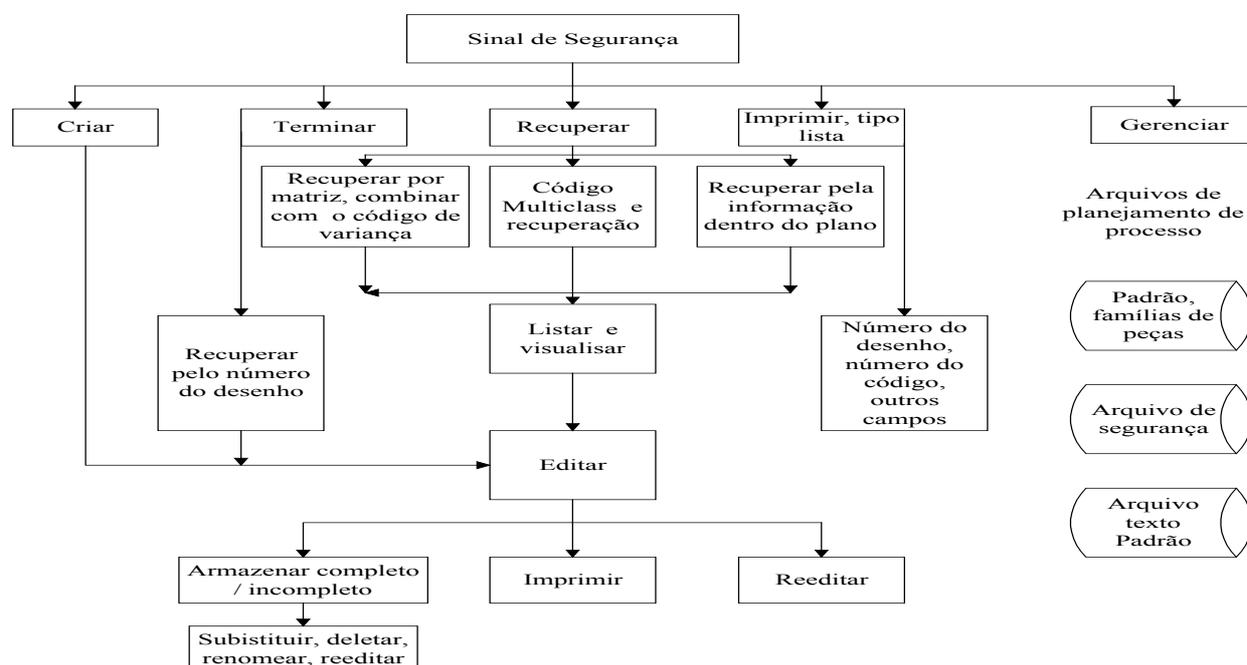


Figura 3.13 - Esquema dos sistemas MIPLAN e MULTICAPP

B. AUTOPLAN e RPO

Sistemas variantes desenvolvidos pela associação de pesquisa METCUT em meados da década de 80. RPO é uma variação do AUTOPLAN feito para GE grupo de motores “AIRCRAFT” para operações de peças rotacionais. AUTOPLAN é generativo somente no detalhamento da peça. O estágio de seleção do processo e seqüenciamento das operações não difere significativamente do CAPP ou MIPLAN. Tem quatro módulos principais são (CHANG e WYSK – 1985):

1. Módulo de recuperação do plano padrão através da entrada do código baseado na GT;
2. Módulo de auxílio gráfico para *layout* da ferramenta, verificação e preparação de instruções de trabalho;

3. Módulo da parte Generativa: recomendação de ferramentas, parâmetros de corte e ajuste da máquina-ferramenta;
4. Módulo de otimização: valores de mínimo custo e máxima produção.

C. CAM – I CAPP

Segundo CHANG e WYSK [1985], dentre os sistemas de recuperação, é um dos mais utilizados. Desenvolvido por McDonnell Douglas companhia de automação (McAuto). O programa é escrito em FORTRAN que com uma lógica de programação recupera a informação que o usuário busca em um banco de dados com uma capacidade de interagir com o mesmo, possibilitando modificar esta informação. Esta capacidade de interação com o usuário permite que ele mesmo codifique e classifique as peças utilizando o sistema de Tecnologia de Grupo (GT) existente no programa. O principal menu do sistema CAPP contém onze entradas e um cabeçalho que presente em todos novos planos criados garante uma uniformidade a esses planos.

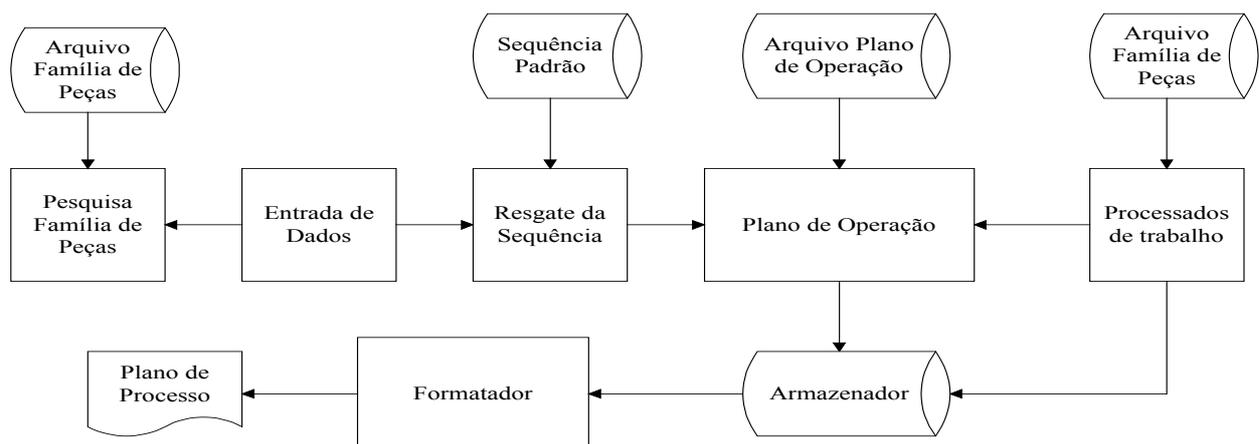


Figura 3.14 - Diagrama do sistema CAM – I CAPP

D. TIPPS

TIPPS (sistema de planejamento de processo totalmente integrado) é um sistema generativo que derivado de outros dois sistemas também generativos o APPAS (WYSK - 1979) e o CAD/CAM (CHANG e WYSK – 1981). Segundo CHANG e WYSK [1985], ele é um dos poucos (talvez o único), que até então, preocupou-se em integrar o CAD com o seu sistema, usando-o para fornecer os dados geométricos e tecnológicos que existem em seu banco de dados. A lógica do planejamento de processo é dividida em vários módulos funcionais. A estrutura de dados é o elemento mais importante do sistema TIPPS, pois é onde está armazenada a informação pertinente ao programa, que interage com os módulos possibilitando a edição do plano de processo. Os arquivos desta estrutura são:

1. Base de dados do CAD;
2. Arquivo de superfícies;
3. Dados dos processos de fabricação;
4. Arquivo dos parâmetros de processo;
5. Arquivo com o conhecimento do processo.

Segundo NORMANN [1989], algumas das principais características deste sistema são: estrutura modular, interface para qualquer sistema CAD, identificação interativa de superfícies que serão trabalhadas e uma linguagem de descrição usada para definir as potencialidades do processo.

E. CAPPE

Este sistema foi desenvolvido pela empresa T-SYSTEMS DO BRASIL. Trata-se de um sistema do tipo híbrido, permitindo que conforme a necessidade da empresa seja utilizado como variante ou generativo. Quando se tem necessidade de disponibilizar informações gráficas o CAPPE é integrado a um sistema CAD, além disso, ele também é integrado ao PAINTBRUSH quando se necessita visualizar fotografias e com POWERPOINT para visualizar ilustrações. A base de dados pode ser cadastrada diretamente no sistema, ou importadas de outro sistema existente.

F. CAPP - CAMDRILL

Sistema desenvolvido pelo grupo de automação e controle (GRACO) da universidade de Brasília. É um sistema generativo orientado apenas a processos de furação que se utiliza a interface gráfica do programa AutoCad e de sua linguagem de programação Autolisp, sendo que o banco de dados foi baseado em arquivo de texto ASCII e contém a classificação da ferramenta, seu diâmetro nominal e a tolerância que ela pode atingir.

Integrado como novo item no menu do software AutoCad, menu esse identificado como CAMDRILL, onde se encontra as funções que o sistema proporciona ao usuário. Cada função deste menu abre uma caixa de diálogo típica do Windows (Figura 3.15) proporcionando uma interface amigável tornando-se fácil o entendimento do sistema. Após a manipulação do programa ele gera um plano de processo com o código G necessário para produzir a peça em uma máquina CNC.



Figura 3.15 - Caixa de diálogo do sistema CAMDRILL

G. PLANPRO

Sistema desenvolvido por NORMANN em 1989 na universidade federal de Santa Catarina (UFSC). Consiste de um método generativo para operações de furação para furos não escalonados. O aplicativo é composto por uma seqüência de rotinas que determinam o plano de processo, levando em consideração as características de acabamento dos furos da peça, restrições da máquina-ferramenta (potência, dimensões) e características da ferramenta (vida, critério de desgaste). O banco de dados com as informações pertinentes ao sistema se encontra no próprio programa. A folha de tarefa originada na saída do sistema contem a seqüência de usinagem dos furos com as ferramentas selecionadas e suas respectivas condições de corte.

O modelo lógico computacional do sistema PLANPRO é apresentado a seguir:

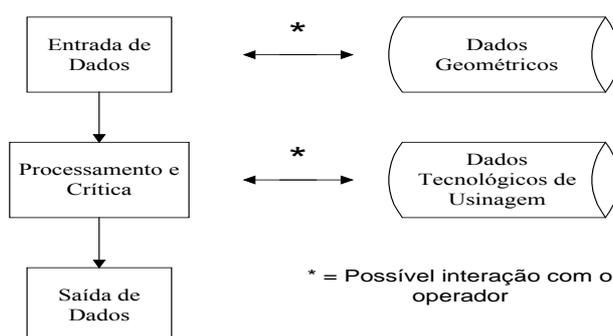


Figura 3.16 - Sistema PLANPRO

H. SISTEMA CAPP – UFSC

Desenvolvido pelo departamento de fabricação da UFSC dentro do programa de pós-graduação em engenharia. Este modelo utiliza a abordagem generativa, *off-line* e por peça para peças rotacionais que sejam fabricadas em células de manufatura com estratégia de usinagem

bem definida, ou seja, ferramentas padronizadas para cada tipo de operação. O modelo prevê a realização da análise da peça, a seleção de superfícies de referência, a seleção de métodos de usinagem, a seleção de máquinas, ferramentas de corte e dispositivos de fixação e o seqüenciamento das operações. O sistema baseia-se nas características geométricas da peça (*features* de projeto) que através de um sistema especialista as transforma em *features* de fabricação. O desenvolvimento da folha de processo é realizado por um sistema especialista, que utiliza uma base de conhecimento fundamentada na estratégia de usinagem utilizada nas peças da célula. A adaptação do sistema a outras células de produção se dá através da construção de outra base de conhecimento, que espelhe a nova estratégia de usinagem da mesma.

I. OUTROS CAPPs EXISTENTES

No quadro seguinte estão indicados outros sistemas conhecidos:

Referência usada: CHANG e WYSK [1985], SALOMONS (artigo *online*), *Jornal Internacional de Produção Tecnológica Avançada* (artigo *online*)

Nome do Sistema	DCLASS	PI-CAPP	XPS-1	CADCAM	COMCAPP V	PART	PART - S	PSG-CAPP
Forma da Peça								
Rotacional	#	#	#		#			
Prismática	#	#	#	Furação	#	#		#
Placa de Metal	#	#					#	
Método								
Variante		#	#		#			
Generativo	#		#	#		#	#	#
CAD				#		#	#	#
Código	DCLASS	#	P/variante		#			VB6
Lógica Usada	Árvore de decisão		Tabela de decisão			Sist. Esp.	Sist. Especialista	Sist. Especialista
Projetista	Allen/U. Utah	Super CAPP	CAM-I	Chang/ Va Tech	MDSI			Sadaiah Yadav Mohanram Radhakrishnan
Comentários	Comercial, edição manual.	Comercial, Gráfico, 1980.	Comercial, Híbrido.	Acadêmico, 1980/81.	Comercial, sistema de recuperação	Com. Catia	Comercial, Pro-Engineer	Acadêmico SolidWorks (98)
Referência	Allen e Smith 1980	Inst. De Planejam.	CAM-I 1980	Chang e Wysk		Houten 1991	Vin (94) Vries (95)	Dep. de Eng. Mec. da PSG- Univ. Tecnologia Índia

4. PROPOSTA DO TRABALHO

4.1. INTRODUÇÃO

A tarefa de planejar o processo de fabricação é normalmente complexa e repetitiva. Existem várias formas de se executar o projeto de um produto e a escolha otimizada dos processos de manufatura influencia diretamente no seu custo final (NORMAN – 1989). Nesse contexto, a definição de planos de processo pela criação de um sistema CAPP tem grandes vantagens relacionados aos sistemas tradicionais e se somando a isso for implementado uma filosofia de GT capturando as vantagens que vários pequenos lotes podem formar família de peças, aproveitando suas similaridades. Tratando essas famílias como um conjunto, como se fosse uma produção em massa, pode-se concluir que as indústrias com suporte computacional integrado ao planejamento do processo terão grandes vantagens em relação àquelas que continuem operando de forma tradicional e com isso se inserirão mais facilmente aos avanços tecnológicos.

4.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem como objetivo geral propor um modelo de sistema de planejamento de processo auxiliado por computador (*SisPlan_I*) destinado a ambientes que trabalhem com processos de usinagem convencional. Como objetivos específicos espera-se viabilizar uma metodologia de trabalho para:

- Disponibilizar uma ferramenta que proporcione os benefícios que os sistemas CAPP trazem para empresas que implantarem esta metodologia;
- Contribuir com a automatização do planejamento de processo para modernização da produção de empresas que devem competir no mercado globalizado.

4.3. MÉTODO DO SISTEMA

Como explicado no capítulo dois, um sistema CAPP pode ter várias abordagens. O *SisPlan_I* propõe uma abordagem híbrida, mas sem a possibilidade de gerar o plano de processo automaticamente, ou seja, o método consiste de duas partes distintas: uma que recupera um plano de processo existente (sistema variante) e outra que auxilia interativamente o processista a criar um plano para uma nova peça que não se encaixe em uma família de peças (abordagem

generativa interativa). O sistema variante se aplica a todos os tipos de peças que sejam feitas por processo de usinagem convencional, pois ele é apenas dependente do sistema de codificação e classificação que abrange todos esses tipos de peças. Na parte generativa a população de peças se restringe a peças rotacionais que sejam executadas em células de manufatura com tornos e/ou furadeiras que possam utilizar ferramentas e porta-ferramentas padronizados, pois o banco de dados do sistema foi elaborado em cima destes dados. O modelo do sistema proposto prevê a execução das seguintes tarefas:

- Seleção das ferramentas;
- Seleção do porta-ferramentas;
- Seleção dos dispositivos de fixação;
- Seleção dos parâmetros de corte;
- Cálculo da potência e rotação da máquina;
- Documentação da folha de processo.

O sistema *SisPlan_I* compreende, além do módulo gerador do plano de processo, outro dedicado à codificação de componentes. No desenvolvimento do aplicativo foram utilizados os recursos de programação em Visual Basic, banco de dados Access e software de Cad AutoCAD 2000.

4.3.1 PARTE VARIANTE

A abordagem variante é o tipo de metodologia mais apropriada de ser usada em empresas de pequeno e médio porte, pois os custos de investimento e implementação são menores. Nesta parte do trabalho, foi utilizado um sistema de codificação e classificação (SCC) utilizando-se da filosofia de GT baseado no sistema MICLASS desenvolvido pela TNO, uma instituição de pesquisa científica aplicada holandesa e adaptado para este trabalho. Ele foi escolhido por ter um código claro de fácil entendimento que abrange um universo muito grande de geometrias (peças), ter uma boa flexibilidade para o caso de futuras expansões, possibilitar fácil automatização da metodologia de codificação.

4.3.1.1 SISTEMA DE CODIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

O sistema de codificação aplicado é estruturado em forma de cadeia, ou seja, cada símbolo é independente dos anteriores, isto é, cada campo identifica isoladamente um parâmetro, por isso ele é fácil de ser entendido. Possui um tamanho básico de 14 dígitos, com informações

tanto referentes a características de projeto quanto de processo, podendo ter alguns dígitos adicionais conforme o número de operações que a identificam características de processo.

As informações dos dígitos (campos) são apresentadas na tabela 4.1:

Tabela 4.1 - Significado dos dígitos do SCC – GPFAI

DÍGITOS	SIGNIFICADO
1°	Forma principal
2° e 3°	Elementos de forma
4°	Posição dos elementos de forma
5° e 6°	Dimensões principais
7°	Razão entre as dimensões principais
8°	Dimensões auxiliares
9° e 10°	Códigos de tolerância
11° e 12°	Códigos de materiais
13°	Número de operações
14°, 15°, 16°...	Tipos de operações

O SCC foi desenvolvido utilizando-se da linguagem de programação do Visual Basic 6 e usando banco de dados Access 2000. A seguir são descritos os 11 módulos do sistema; apresentando em cada interface as opções que podem ser selecionadas pelo usuário na atribuição do código a determinada peça.

Módulo da forma principal

Este módulo é responsável pela definição da forma básica da peça. Depois de escolhido esse dígito inicial, o mesmo dará informações para os campos dois, três e quatro do código. Temos na Figura 4.1 as nove opções para a escolha do primeiro dígito do código.

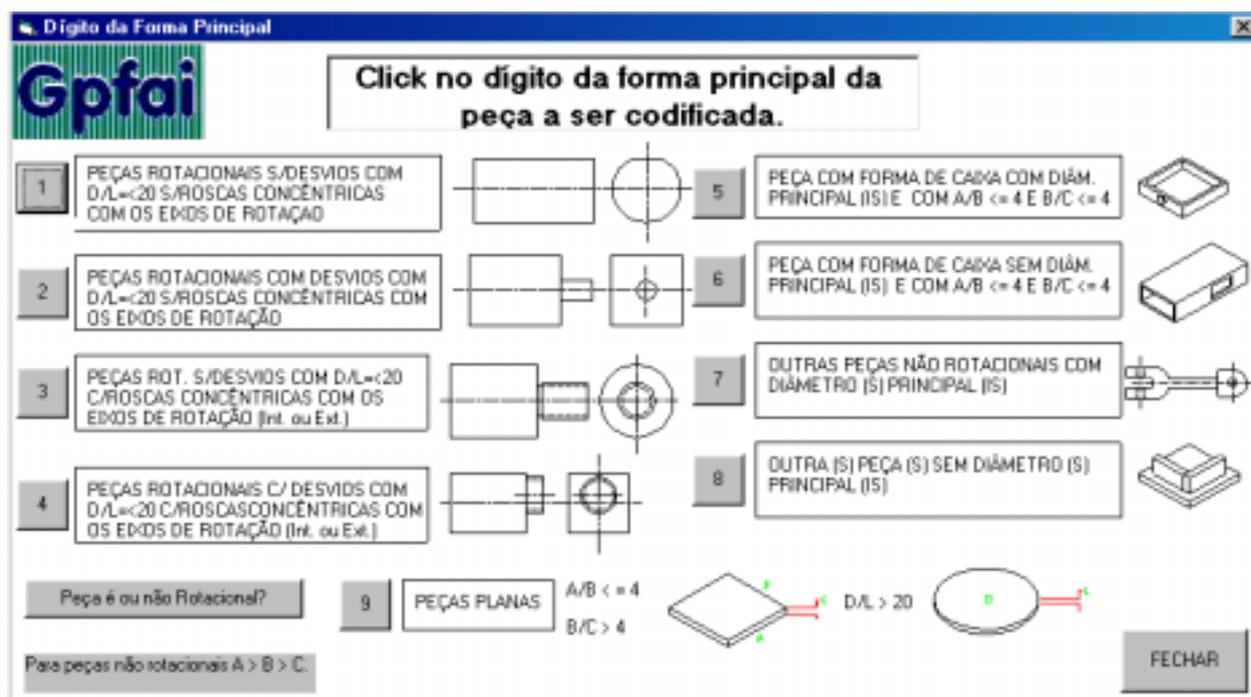


Figura 4.1 - Primeiro campo do código e suas opções

Conforme a escolha deste dígito já se pode ter uma idéia de qual tipo de operação a peça vai passar para chegar a um produto acabado. Por exemplo, se a peça tiver como seu primeiro dígito os números de um a quatro é porque ela é uma peça rotacional e possivelmente será atribuída a ela operação de torneamento. Já as peças que tiverem em seu primeiro campo os números de cinco a nove provavelmente sofrerão algum tipo de fresamento para se chegar à forma final desejada.

Módulo dos elementos de forma externa

No segundo módulo definem-se diferentes opções dependendo do dígito escolhido anteriormente. Essas opções se dividem em cinco grupos: o primeiro grupo correspondente aos dígitos um e três é para peças rotacionais sem desvios, ou seja, não pode ter uma área de material ausente no círculo circunscrito acima de um ângulo de 180 graus. O grupo seguinte corresponde aos dígitos dois e quatro, para peças rotacionais com desvios. O terceiro grupo é para peças que tenham como forma principal um formato de caixa e estão ligados aos campos cinco e seis. O penúltimo grupo corresponde aos campos sete e oito, para peças que tenham outras formas não rotacionais. O último dígito (9) é para peças planas: retangulares ($a/B = < 4$ e $B/c > 4$) ou circulares ($D/L > 20$).

Se o primeiro dígito escolhido for um ou três neste módulo abrirão opções de escolha de operações de torneamento para contorno externo excluindo faces finais (elemento de forma perpendicular ao eixo de rotação posicionado no extremo da peça) conforme a próxima figura.

Figura 4.2 - Resposta do segundo campo em função do primeiro

Sendo o primeiro campo escolhido do grupo 2, segue um módulo com opções de escolha para usinagem de forma externa (ver Figura 4.3).

Figura 4.3 - Resposta do segundo campo em função do primeiro , sendo este 4

No caso de escolha como forma principal um formato de caixa (campos 5 e 6), para o segundo dígito abre opções relacionadas a usinagem de contorno externo (Figura 4.4) para esse tipo de peça.

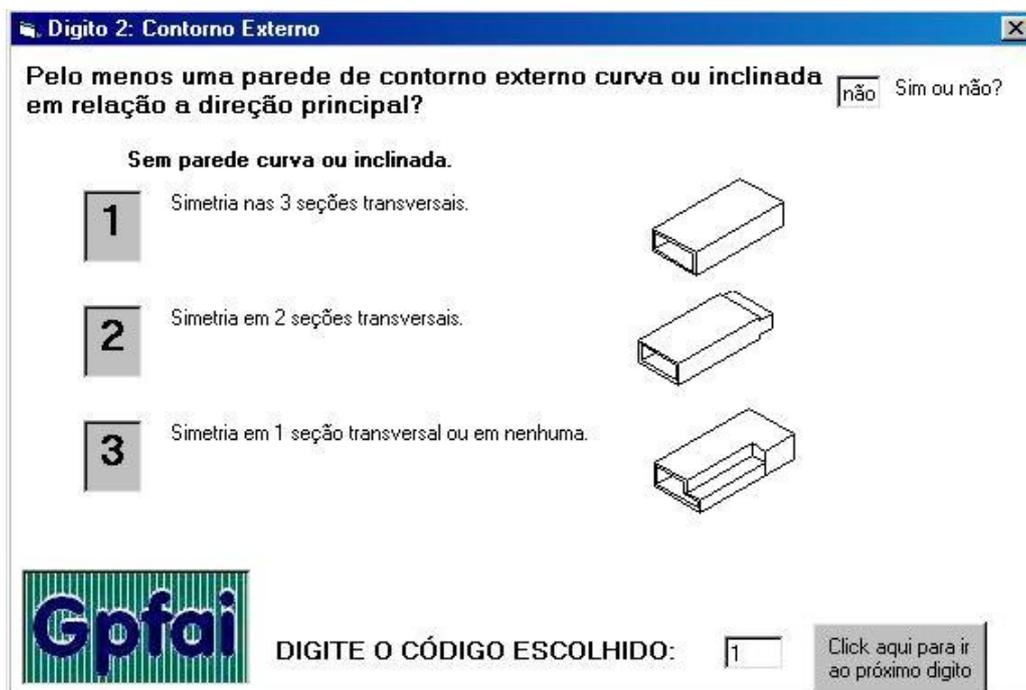


Figura 4.4 - Resposta do segundo campo em função do primeiro, este igual a 5

Se a escolha feita for outro tipo de peças não rotacionais (campos sete e oito) segue neste módulo opções de usinagem de algum tipo de forma conforme figura abaixo.



Figura 4.5 - Resposta do segundo campo em função do primeiro, sendo este 8

Para seleção do dígito nove, peças planas, o segundo campo corresponderá ao perímetro do plano AB (Figura 4.6).

Digite 2: Perímetro no Plano AB

Perímetro no plano AB simétrico à pelo menos uma seção transversal (plano de simetria precisa não ser paralelo a direção principal)? Sim ou não?

1 Raio retangular (≤ 5 mm), faces oblíquas (≤ 5 mm)

2 Circular

3 Raios de linhas retas de consistência não retangular (≤ 5 mm)

4 Um raio pelo menos > 5 mm, o resto composto por linhas retas

5 Tudo composto de arcos de círculos

6 Pelo menos uma curva matemática ou arbitrária (não um círculo)

DIGITE O CÓDIGO ESCOLHIDO:

Figura 4.6 - Resposta do segundo campo em função do primeiro para opção 9

Módulo dos elementos de forma interna

Este módulo funciona da mesma forma que o anterior e corresponde aos mesmos grupos do segundo módulo. No caso do processista escolher um campo do grupo um, ele terá como opções de escolha neste módulo possíveis operações de torneamento em contorno interno.

Digite 3: Operações de Torneamento em formas Internas

Existe furo excêntrico e/ou face (s) e/ou rasgo (s) na forma interna e/ou face (s), e/ou face (z) finais? Sim ou não?

6 Sem formas internas.

7 Todos os processos internos e externos e D.ân. visíveis visto de uma das extremidades (excluindo ranhuras e faces).

8 Nem todos os processos internos e externos e D.ân. visíveis visto de uma das extremidades (excluindo ranhuras e faces).

9 Nem todos processos internos e d.ân. visíveis de uma das extremidades (excluindo ranhuras e faces).

0 Usinagem de cones e/ou perfil e/ou ranhuras especiais.

DIGITE O CÓDIGO ESCOLHIDO:

Figura 4.7 - Resposta do terceiro campo em função do primeiro dígito, sendo este 3

Se for escolhido no primeiro módulo o dígito dois ou o quatro, neste abrirão várias opções de tipos possíveis de operações de torneamento conforme figura a seguir.

Figura 4.8 - Resposta do terceiro campo em função do primeiro dígito, sendo este 4

Sendo o primeiro campo escolhido do grupo três (forma de caixa) ou do grupo quatro (outras peças não rotacionais) abre-se um formulário com opções de localização de usinagens de faces e/ou rasgos (Figura 4.9).

1	Nenhuma face nem rasgo a ser usinado.
2	Uma ou mais usinagens de rasgos perpendicular a direção principal (nenhuma face a ser usinada).
Somente usinagem de faces perpendiculares a direção principal.	
3	Usinagem da face AB em um sentido ou a face AC em um sentido (nenhuma face BC).
4	Usinagem da face AB em dois sentidos ou a face AC em dois sentidos (nenhuma face BC).
5	Usinagem da face BC ou AB e BC ou AC e BC.
6	Usinagem das faces AB e AC ou faces AB e BC e AC.
Usinagem de faces e rasgos perpendiculares a direção principal.	
7	Rasgos e faces em AB ou AC.
8	Rasgos e faces no máximo em 6 planos.
Pelo menos usinagem de uma face ou rasgo perpendicular a direção principal.	
9	Em um ângulo na direção principal.
0	Curvado.

Figura 4.9 - Resposta do terceiro campo em função do primeiro dígito, sendo este 6

A seleção para peças planas aciona neste módulo as opções de localização de usinagens de outras formas elementares (furos, rasgos, faces) que construam um perímetro conforme a seguinte figura.

Digito 3

Localização de usinagem de outras formas elementares que construam um perímetro.

Gpfai

Operações de rasgos, furos e faces

1 Nenhuma operação.
Somente direções perpendiculares a face AB

2 Somente furo (s).

3 Operações de rasgos lineares e/ou furos e/ou faces.

Direções perpendiculares a direção principal

4 Somente furos.

5 Operações de rasgos lineares e/ou furos e/ou faces.

6 Rasgos com formas matemáticas ou arbitrárias.

Pelo menos uma direção não perpendicular ou paralela a direção principal.

7 Somente furos.

8 Operações de rasgos lineares e/ou furos e/ou faces.

9 Rasgos com formas matemáticas ou arbitrárias.

0 Outras operações (embulimentos, file perfurada, etc...).

DIGITE O CÓDIGO ESCOLHIDO:

Click aqui para ir ao próximo digito

Figura 4.10 - Resposta do terceiro campo em função do primeiro dígito, sendo este 9

Módulo da posição dos elementos de forma

Igualmente aos dois módulos anteriores tem-se dependência do primeiro dígito. O que muda neste formulário é que são apresentados dois grupos distintos ao invés de cinco. O primeiro grupo está ligado a todos os tipos de peças rotacionais e o segundo que corresponde a peças não rotacionais.

Para peças rotacionais o quarto dígito abre um módulo com opções para informar possíveis direções e sentidos para os elementos de forma (Figura 4.11).

Dígito 4: Posição dos Elementos de Forma

A posição do elemento de forma é perpendicular? não Sim ou não?

Posição do elemento de forma (em relação ao outro) realizado por furo excêntrico e/ou operações de face e/ou rasgo, excluindo operações de rasgo internos completamente fechados.

0 Sem operações excêntricas.

5 Três direções perpendiculares e uma não perpendicular a estas.

6 Número de direções arbitrário, e ângulos arbitrários um em relação ao outro, tudo em planos paralelos.

7 Número de direções arbitrário, e ângulos arbitrários um em relação ao outro em planos paralelos, junto com direções paralelas a estes planos.

8 Número de direções arbitrário, e ângulos arbitrários um em relação ao outro em planos paralelos, com ou sem planos paralelos a estes, e uma direção não

9 Número de direções arbitrário, e ângulos arbitrários um em relação ao outro e planos arbitrários.

DIGITE O CÓDIGO ESCOLHIDO:

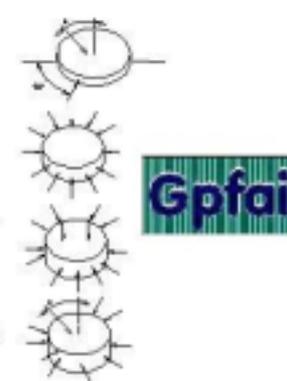


Figura 4.11 - Resposta para o quarto campo em função do primeiro dígito, sendo este 4

No caso da forma principal for outro tipo de peça não rotacional neste módulo também abre opções que informam possíveis direções e sentidos para os elementos de forma, mas como pode ser visto na figura abaixo e comparando com a Figura 4.11 nota-se a diferença no tipo de elementos de forma para cada caso.

Dígito 4: Posição dos elementos de Forma

A posição do elemento de forma é perpendicular? não Sim ou não?

Posição do elemento de forma (em relação ao outro) realizado por furo excêntrico e/ou operações de face e/ou rasgo.

5 Até 3 direções perpendiculares mais uma direção não perpendicular acima e a direita do ângulo.

6 Número arbitrário de direções e ângulos arbitrários em planos paralelos (nenhuma operação em BC).

7 Número arbitrário de direções e ângulos arbitrários em planos paralelos, mas pelo menos uma operação em BC ou Número arbitrário de direções e

8 Número arbitrário de direções e ângulos arbitrários em planos paralelos, com ou sem a direção a direita do ângulo destes planos, mas uma direção não a direita do ângulo para estes planos paralelos.

9 Número arbitrário de direções e ângulos arbitrários em um outro plano arbitrário.

DIGITE O CÓDIGO ESCOLHIDO:

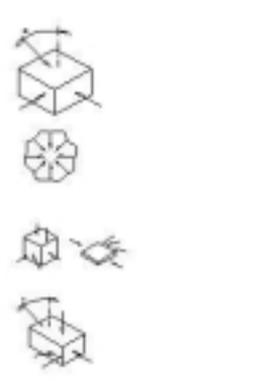


Figura 4.12 - Resposta para o quarto campo em função do primeiro dígito, sendo este 8

Módulo das dimensões principais

Este módulo é comum para qualquer tipo de peça e corresponde aos dígitos cinco e seis. Apresenta uma tabela com faixas de dimensões para cada código, variando de 01 a 78. Conforme o tipo de forma principal a dimensão principal varia. Para peças rotacionais a dimensão principal é o diâmetro da peça. Já para peças não rotacionais esta dimensão se refere à dimensão “A” da mesma. Na Figura 4.13 é mostrado as características deste formulário, onde são definidos os campos cinco e seis do código.

Figura 4.13 - Tabela com as dimensões principais em “mm”

Módulo da razão entre as dimensões principais

Neste módulo também existe dependência com a forma principal, mas de uma maneira diferente que as outras, pois a distinção é entre as peças rotacionais com ou sem desvio. A terceira forma do módulo é para peças não rotacionais. No caso de peça rotacional sem desvio o sexto formulário define as opções como mostrado na figura, para diâmetros menores que o comprimento.

Figura 4.14 - Módulo da razão entre as dimensões para uma peça rotacional sem desvio

Se for uma peça rotacional com desvio o módulo poderá abrir opções tanto como rotacional sem desvio (Figura 4.14), ou quanto peça não rotacional (Figura 4.15) isso vai depender da existência ou não de curvatura no eixo de rotação. Se tiver curvatura ele abrirá as opções conforme peça não rotacional se não abrirá da outra forma.

Para peças não rotacionais o sexto formulário tem as opções mostradas na figura a seguir.

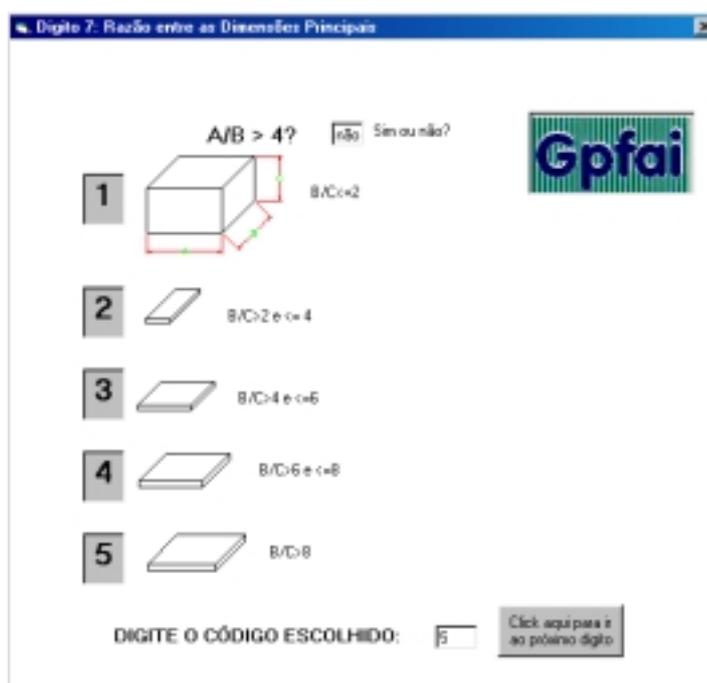


Figura 4.15 - Módulo da razão entre as dimensões para uma peça não rotacional $A/b < 4$

Módulo das dimensões auxiliares

Este módulo também é dependente do primeiro campo e ele subdivide-se em dois grupos distintos. O primeiro deles está relacionado a peças rotacionais e o segundo grupo relaciona-se com peças não rotacionais. Nesta fase do código calcula-se um valor para dimensão auxiliar que descreve as dimensões secundárias relacionando-as com a principal. Em uma tabela cada número do código indica uma faixa correspondente a dimensão auxiliar (LW). Por exemplo, o código com o número um equivale uma faixa da dimensão auxiliar que seja menor ou igual a 400 milímetros (Figura 4.16).

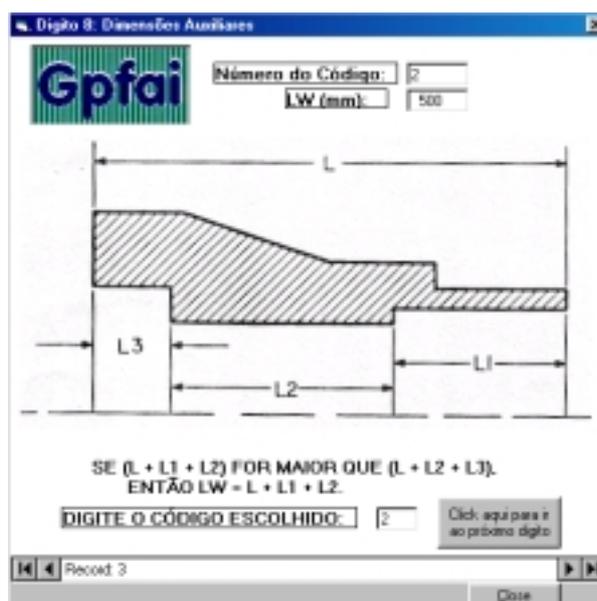


Figura 4.16 - Módulo da dimensão auxiliar para peças rotacionais

Para peças não rotacionais calcula-se um valor de dimensão auxiliar que descreve a dimensão secundária somada ao comprimento do furo principal da peça, ou no caso da peça não ter furo, soma-se a uma constante (150 mm) indicando que a peça tem uma superfície de facear (Figura 4.17). Se o dígito quatro do código for igual a zero é por que a peça não tem nenhum tipo de operação excêntrica (furo, face), então é a dimensão “b” que tem que ser codificada.

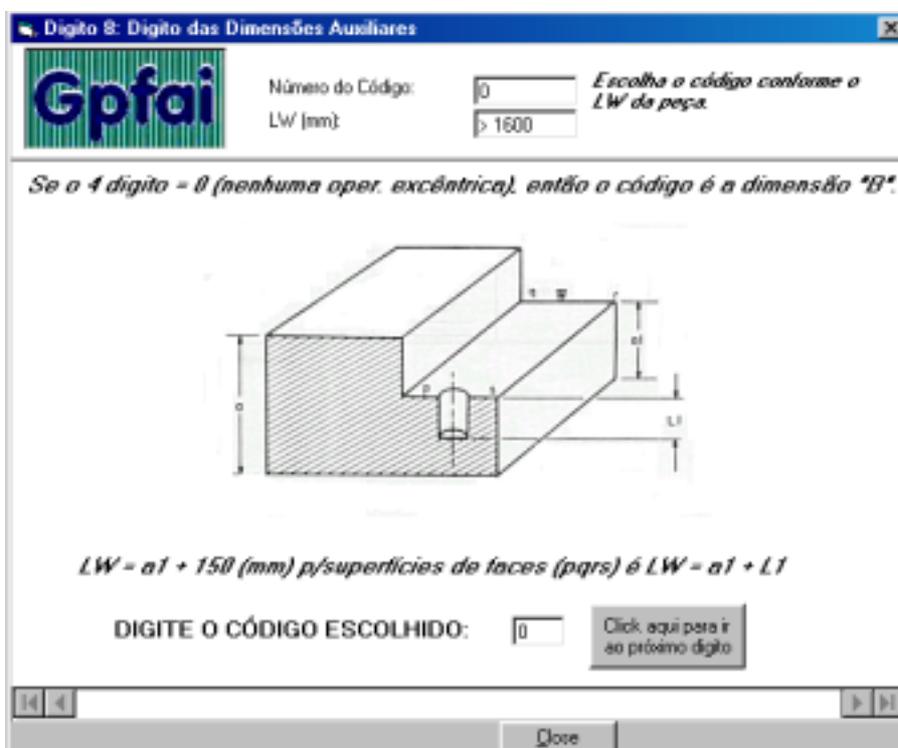


Figura 4.17 - Módulo da dimensão auxiliar para peças não rotacionais

Módulo das tolerâncias das medidas principais

Este módulo indica o valor do nono dígito e trata a peça de maneira genérica sendo independente de qualquer outro campo do código (Figura 4.18). Nele são tratadas a precisão das dimensões e da rugosidade da (s) medida (s) mais relevante (s).

Digito 9: Tolerancias das Medidas Principais

A Tolerância de comprimento é $\leq 0.2\text{mm}$? sim Sim ou não?

2 Tolerância especificada não qualificada.

4 Tolerância da qualidade do diâm. da tabela, ou acabamento do diâm. ≤ 0.8 micro m, ou acabamento da face 0.8 micro m.

6 Tolerância da posição ≤ 0.2 mm para furos e/ou rasgos.

8 Tolerância da posição ≤ 0.2 mm + tolerância da qualidade do diâm da tabela ou acabamento do diâm. rotacional e/ou acab. da face rotacional ≤ 0.8 micro m.

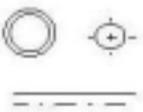
0 Rosca do parafuso com tolerância ≤ 25 micro m e/ou pico da toler. do ângulo ≤ 25 min. possivelmente combinado com mais tolerâncias especificadas.

DIGITE O CÓDIGO ESCOLHIDO:

Figura 4.18 - Módulo das tolerâncias das medidas principais

Módulo das tolerâncias geométricas

Este módulo se refere ao décimo dígito do código e não tem dependência com nenhum outro campo, relacionado com a precisão da forma das peças a serem codificadas. São restringidos os valores de tolerância para cada tipo de descrição da precisão (precisão angular, cilíndricidade). As tolerâncias geométricas estão ilustradas na Figura 4.19.

Digito 10: Precisão Geométrica			
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	TOLERÂNCIA
1	Tolerâncias não conhecidas ou não estão citadas abaixo		
2	Circularidade		R max. - R min. $\leq 5 \mu\text{m}$
3	Planicidade		R max. - R min. $\leq 10 \mu\text{m} / 300 \text{mm}$
4	Cilindricidade		R max. - R min. $\geq 5 \mu\text{m}$ e $\leq 10 \mu\text{m} / 300 \text{mm}$
5	Contorno de superfícies ou linear		R max. - R min. $\geq 5 \mu\text{m}$ e $\leq 10 \mu\text{m} / 300 \text{mm}$
6	Paralelismo		R max. - R min. $\geq 20 \mu\text{m} / 300 \text{mm}$
7	Leitura total do indicador, somente axial		R max. - R min. $\leq 5 \mu\text{m}$
8	Precisão angular Perpendicularidade		R max. - R min. $\geq 10 \mu\text{m} / 300 \text{mm}$
9	Precisão posicional, Concentricidade, Coaxialidade, Simetria		R max. - R min. $\leq 5 \mu\text{m}$

DIGITE O CÓDIGO ESCOLHIDO:

Figura 4.19 - Módulo das tolerâncias geométricas

Módulo do Material da peça

Este módulo, tem uma tabela com duas colunas, uma indicando o código de referência e a outra identifica o material correspondente (Figura 4.20).

Digito 11 e 12: Material da Peça

Gpfai Material:
Número do Código:

DIGITE O CÓDIGO ESCOLHIDO: Do Código 1 ao 9 digite com o "0" na frente.

Record: 5

Figura 4.20 - Módulo do Material da peça

Módulo das operações

Neste módulo são definidas as operações necessárias para produzir a peça desde a entrada no processo até chegar a um produto acabado e em uma segunda parte define-se a seqüência dos processos. Assim o número de dígitos do código está atrelado ao número de máquinas, ou seja,

se a peça passar apenas por uma máquina o código terá 14 dígitos e este módulo fornecerá o décimo terceiro e décimo quarto dígito (Figura 4.21). Por outro lado se for necessário que a peça passe por duas máquinas o código terá 15 dígitos e este formulário fornecerá o décimo terceiro, décimo quarto e décimo quinto dígito e assim por diante.

Figura 4.21 - Módulo das operações

Módulo Final

Esse módulo define o código final da peça onde é cadastrado com um respectivo nome da peça que está sendo codificada (Figura 4.22). Assim a peça será vinculada no banco de dados pelo seu nome e código.

Figura 4.22 - Módulo Final

4.3.1.2 SISTEMA DE RECUPERAÇÃO

Com o SCC implementado é possível codificar todas as peças existentes no ambiente de produção e formar as famílias com seus respectivos planos padrões. As famílias são formadas escolhendo aqueles dígitos que possam identificar algumas semelhanças, relacionadas a

processo, entre as peças. Para fins de estudo foram selecionados os três primeiros dígitos que informam a forma principal da peça, possível operação na parte externa ou interna da peça e localização de usinagem de rasgos, furos e/ou faces. Por um outro lado para capturar as semelhanças: de acabamento, material da peça (para adequação dos parâmetros de corte) e seqüência de operações também foram selecionados os últimos dígitos a partir do nono campo. O nono e décimo dígitos informam a precisão da forma e o acabamento superficial requerido, o décimo primeiro e segundo determinam o material da peça e os últimos campos informam as máquinas e a seqüência por onde a peça vai passar para transformar-se em produto acabado. Assim as peças que tiverem esses dígitos comentados anteriormente iguais formaram uma família de peças, dentro desse critério.

Para exemplificar esta parte do trabalho a empresa MERKANTIL (produz conexões) forneceu os desenhos de algumas de suas peças para formar as famílias com seus respectivos planos. Dentre os quinze desenhos fornecidos foram identificadas duas famílias distintas. A primeira família chamada de PF contém dez peças sendo que as Figura 4.23 e figura 4.25 mostram duas destas peças com seus respectivos códigos (3000223151053721 e 3000213151053721). A segunda família chama-se PP e é formada pelas cinco peças restantes e as Figura 4.25 e Figura 4.26 identificam duas de suas peças com os respectivos códigos (3000213161173721 e 3000233161173721). As duas famílias diferenciam-se basicamente pelo nono dígito que corresponde à precisão da forma (precisão do comprimento igual a 0.2 mm para as PPs e maior que 0.2 mm para as PFs) da peça e pelos dígitos 11 e 12 que indicam o material da peça, onde a família PF é feita com aço e a PP é produzido com latão, um material com melhor usinabilidade que exige menor força para o corte conseqüentemente menor velocidade de corte e potência da máquina. Dentro das famílias a única diferença é a dimensão principal informada pelos dígitos cinco e seis do código.

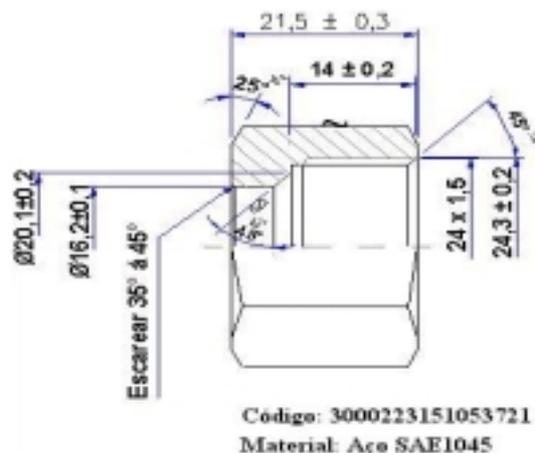


Figura 4.23 - Desenho da Peça PF 16

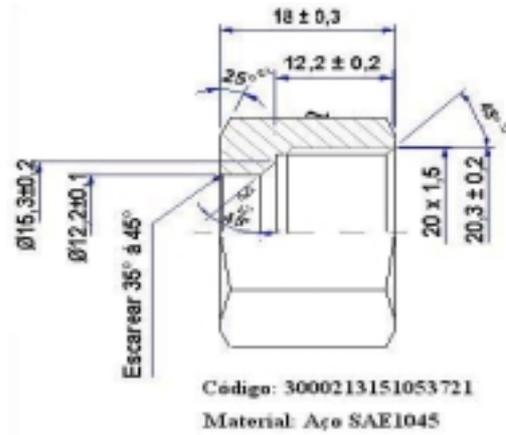


Figura 4.24 - Desenho da Peça PF 12

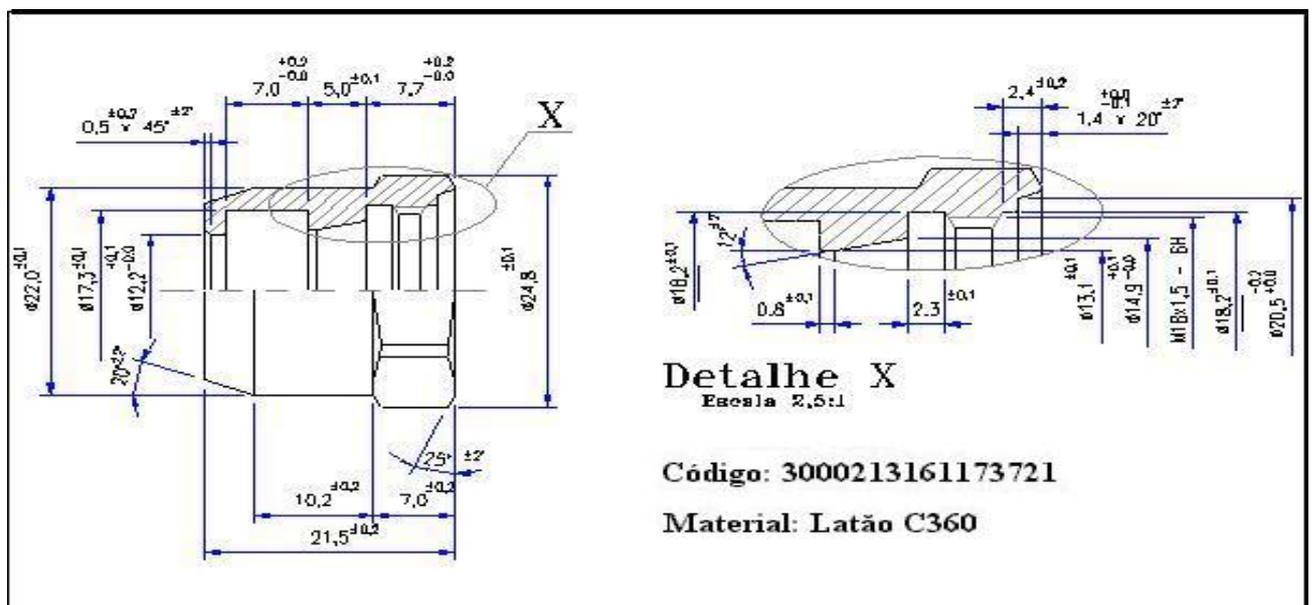


Figura 4.25 - Desenho da Peça PP 12

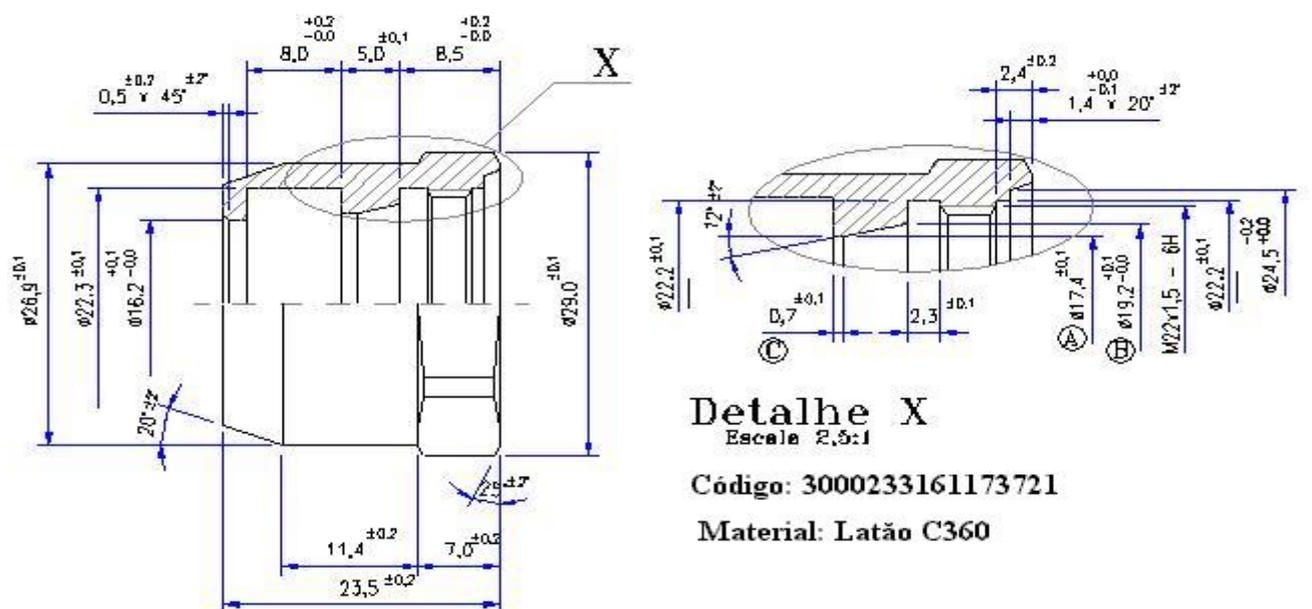


Figura 4.26 - Desenho da Peça PP 20

Depois de formadas as famílias e seus respectivos planos padrões o usuário precisará apenas entrar no programa que logo no formulário inicial (Figura 4.27) tem opções onde ele pode escolher entre codificar uma nova peça ou procurar um plano padrão para uma peça que já esteja codificada. No caso da peça não se encaixar em nenhuma das famílias existentes, o usuário tem a possibilidade de criar um novo plano para a mesma utilizando a parte generativa do programa que será explicado no próximo item.



Figura 4.27 - Formulário Inicial do programa

Para pesquisar um plano de processo, selecionada a opção “busca de Plano de Processo” digitam-se a seguir o código da peça no formulário aberto (Figura 4.28) logo que efetuar o comando. O programa busca no banco de dados e expõe o plano padrão, se o código fornecido a ele tiver os mesmos números nos campos correspondentes ou indica que não existe plano padrão para enquadrar aquela peça.

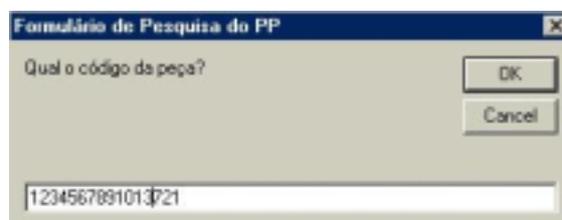


Figura 4.28 - Formulário com o código da peça para busca de um plano padrão

No caso de existir um plano para o código fornecido recupera-se um módulo com o plano de processo (Figura 4.29) onde o processista apenas terá o trabalho de mudar os parâmetros que tiverem que ser modificados para a peça em questão. Se o processista, por exemplo, optar por um

novo plano com maior vida da ferramenta, ou, uma maior produtividade aumentando a velocidade de corte, no formulário do plano de processo existe uma opção em um outro módulo (Figura 4.30) que auxilia na mudança desta variável. No código deste formulário se aplica a regra que a Sandvik utiliza para aumentar a vida ou a produtividade da ferramenta, onde o fator de correção é aplicado sobre a velocidade de corte.

N. Op.	Operação	Máquina	Código Da Ferram.	Código Da Pastilha	Sistema De Refrigeração	Pot.	Vc	f	ap	N
10	Chamar Externa	CNC_1	PCBNRA.2525M12	CNMM120412-PR	T-MAX U.P = pelo furo	2,6	271	0,6	4	1632,8
20	Furar Furacão	CNC_1	R415.5-2000-30-8C	R415.5-2000-30-8C0	p/Broca	4,4	90	0,28	20	1432
30	Cilindrar Interna	CNC_1	PCLNR/LV3020K12	CCM109T 304-UF	T-MAX P.M=por_furo_e_topo	1,7	520	0,1	0,5	2789,2
40	Ranhurar Externa	CNC_1	R/LF123G10-2525B	N123G2-0300-0003-GM	M=por_mola	2,0	132	0,08	4	764,33
50	Cortar Externa	CNC_1	R/LF123G10-2525B	N123G2-0300-00001-CF	M=por_mola	2,0	138	0,13	4	796,17

Figura 4.29 - Plano de Processo

É recomendada uma vida útil da ferrameta de 15 min. Para ajustar uma vida útil mais longa, escolha o fator de correção. Por outro lado quiser aumentar a produtividade escolha o fator 1.1.

Vida útil (min)	10	15	20	25	30	45	60
Fator de correção	1.10	1	0.95	0.9	0.87	0.80	0.75

Digite o fator de correção:

Figura 4.30 - Formulário que auxilia no cálculo do aumento da produtividade ou da vida da ferramenta

4.3.2 PARTE GENERATIVA INTERATIVA

O módulo Generativo-Interativo do sistema tem a finalidade de permitir a geração de um novo plano de processo, quando não há um plano padrão que possa ser customizado para determinada peça, ou mesmo como opção inicial do processista. Os recursos do sistema para geração de um novo plano são viabilizados através da opção “Edição de Plano de Processo” do módulo inicial (Figura 4.27), implicando na compilação de informações pertinentes a peça e aos processos em respostas aos módulos abertos para cada grupo de dados. Nos módulos das Figura 4.31 e Figura 4.32 são indicados alguns parâmetros.

- No primeiro campo é informa-se o código da peça, código no qual foi criado no SCC;
- No segundo campo informa-se o número do produto que a peça está relacionada. Não é obrigatório o preenchimento do mesmo;
- No terceiro campo reservado para uma pequena descrição da peça. Não é obrigatório o preenchimento do mesmo;
- No quarto campo define-se o tipo de refrigeração para o processo que pode ser: a seco, óleo mineral, óleo graxo ou óleo composto (Figura 4.31);
- No quinto campo identifica-se o material da peça (Figura 4.32);
- No sexto campo defini-se a máquina selecionada para a primeira operação na peça;
- No último campo defini-se a primeira operação a ser realizada.

A imagem mostra uma janela de software intitulada "EDIÇÃO DO PLANO DE PROCESSO". O formulário contém os seguintes campos:

- Código da Peça: 3002223151133721
- Número do Produto: 123456
- Descrição: eixo_5
- Escolha a refrigeração: menu suspenso com uma seta para baixo.
- Escolha o Material da Peça: menu suspenso com as opções: Seco, Óleo Mineral, Óleo Composto, Óleo Graxo.
- Escolha a Máquina: menu suspenso.
- Escolha a Operação: menu suspenso.

Na base do formulário, há um botão com o texto "Abrir próximo formulário".

Figura 4.31 - Formulário da edição da folha de processo com seleção da refrigeração

Figura 4.32 – Formulário da edição da folha de processo com seleção do material da peça

Preenchidos todos os campos, o processo interativo prossegue com a opção “Abrir próximo formulário”, embora internamente ocorra uma pesquisa no banco de dados para verificar se o código da peça já não tem um plano de processo padrão. Identificando-se um plano padrão associado a uma pesquisa na parte variante para encontrar a folha de processo relacionada a este código. No caso de não existir um plano de processo para o respectivo código a interação prossegue gravando valores a constantes pré-determinadas que conterão informações do material da peça (tensão, dureza, K_c , entre outros) necessários para calcular a potência e determinar os parâmetros de processo posteriormente.

No módulo indicado na Figura 4.33 permite ao processista definir o tipo de operação (desbaste, acabamento e usinagem média), as condições de usinagem (boas, normais, difíceis) e se a usinagem é externa ou interna.

As condições são ditadas pelo conhecimento do usuário, no caso da operação ser de acabamento (retirada de pouco material), ser feita em uma máquina CNC nova com ótima fixação com um balanço pequeno e condições de refrigeração satisfatória, essa condição de usinagem pode ser considerada como boa. Por um outro lado, para um desbaste pesado, feito em uma máquina antiga, com uma fixação regular, balanço muito grande a condição de usinagem pode ser considerada difícil. Outro tipo de configuração que esteja entre esses dois extremos o processista pode considerar como condição normal, ou se julgar que a mesma tem que ser considerada como condição boa ou difícil, a seu critério.

Figura 4.33 - Formulário para escolha do tipo de operação e as condições de usinagem

Selecionadas as opções desta parte do programa indicando a operação (interna ou externa) segue-se, através de outro formulário, com a escolha da pastilha adequada a operação. Conforme a escolha são viabilizados de um banco de dados diferentes tipos de ferramentas, por exemplo, para usinagem de acabamento externo em boas condições:

Figura 4.34 - Formulário para escolha da pastilha para acabamento externo em boas condições

Selecionada uma pastilha adequada é inserido o respectivo código na caixa de texto e seleciona-se o porta-ferramentas adequado a pastilha. Conforme a ferramenta escolhida, por exemplo, SNMM150612-PR o programa internamente seleciona o porta-ferramentas adequado a pastilha utilizando o primeiro dígito (que corresponde ao formato da pastilha), segundo (dígito que corresponde ao ângulo de folga da pastilha) e quinto (quinto e sexto que correspondem ao tamanho da pastilha, ou seja, comprimento da aresta de corte) campos do código da ferramenta (SANDVIK – 2001).

A escolha do porta-ferramentas também considera outros parâmetros como: dimensões da máquina escolhida, de acordo com a operação selecionada e a disponibilidade do porta-ferramenta no estoque. A seleção do porta-ferramentas é ilustrada na figura seguinte.

Figura 4.35 - Formulário para escolha do porta-ferramentas

O primeiro campo define o sistema de fixação conforme o porta-ferramentas identificado no segundo e terceiro campos são os valores dos ângulos de posição e saída respectivamente. Estes valores são usados para calcular a potência de corte mínima (KW) necessária para máquina realizar a operação e conseqüentemente para calcular a rotação mínima de trabalho. No último campo copia-se o código do porta-ferramentas, por exemplo, PSKNR/L2525M15 para avançar ao próximo formulário (Figura 4.36). Para o cálculo da potência foi utilizada a fórmula recomendada pela Sandvik (ver equação (4.1)).

$$P_c = \left[(V_c \times a_p \times f_n \times K_c / 60000) \times (0.4 / (f_n \times \sin K_r)) \right]^{0.29} \quad (4.1)$$

Figura 4.36 - Formulário para informar o diâmetro e o comprimento de corte

O formulário da Figura 4.37 o permite informar se há uma outra operação a ser realizada na peça. Em caso positivo repete-se uma seqüência de módulos de operações (Figura 4.38) para informar todas as demais operações necessárias para a peça.

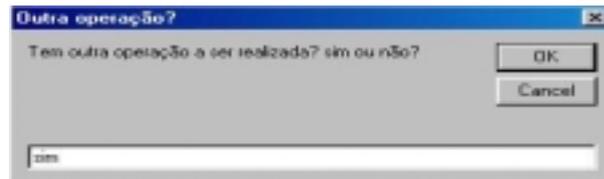


Figura 4.37 - Formulário para informar demais operações

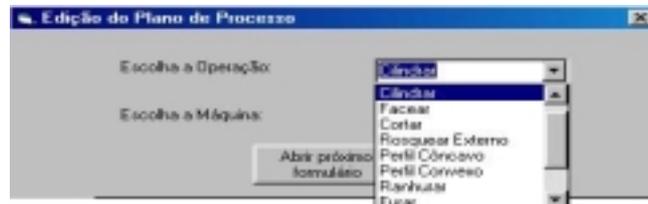


Figura 4.38 - Formulário para seleção de operações

Completada a seqüência de operações o sistema apresenta o plano de processo da respectiva peça (Figura 4.39).

Plano De Processo										
Exemplo de Plano de Processo										
GPFAI/UFRGS		Produto Número: 1234	Material Da Peça: SAE1045		Página 1 de 1					
		Código Da Peça: 178328715105221	Refrigeração: Óleo Mineral							
		Descrição: eixo_exemplo								
N. Op.	Operação	Máquina	CódigoDaFerram	CódigoDaPasta	SistemaDaçoçao	Pot	Vc	I	ap	N
10	Charotar Esterna	DNC_1	P55NR/2529M12	SNMG120408-PM	T-MAX.U.P = pelo furo	2,249	331,7	0,2	3	2112,7
20	Cilindrar Esterna	DNC_1	PCLNR/L2529M12	DNMG120408-PF	T-MAX.U.P = pelo furo	1,529	422,7	0,2	0,5	2692,0
30	Ranhar Esterna	DNC_1	R/LF123520-1616B	N12352-0300-0003-GM	P = pelo furo	1,488	120	0,08	2	764,33
40	Cilindrar Esterna	DNC_1	PCLNR/L2529M12	DNMG120408-PF	T-MAX.U.P = pelo furo	1,529	422,7	0,2	0,5	2692,0
50	Cortar Esterna	DNC_1	R/LF123520-1616B	N12352-0300-00002-E	P = pelo furo	1,794	120	0,13	4	764,33
60	Furar Furação	Furadeira	R415.5-1980-30-8C0	R415.5-1980-30-8C0	o/Broca	2,5	50	0,28	20	802

Figura 4.39 - Plano de Processo exemplo

O módulo para escolha das operações tem várias possibilidades, e conforme a operação e a máquina escolhida o sistema indica diferentes tipos de ferramentas e seus respectivos porta-ferramentas.

5. PLANO DE PROCESSO PARA UMA PEÇA EXEMPLO

Com o intuito de ilustrar o funcionamento integrado do sistema apresenta-se a geração da folha de processo para peça da figura 5.1. Os itens que se seguem mostram detalhadamente o funcionamento da parte interativa do programa como descrito no tópico anterior.

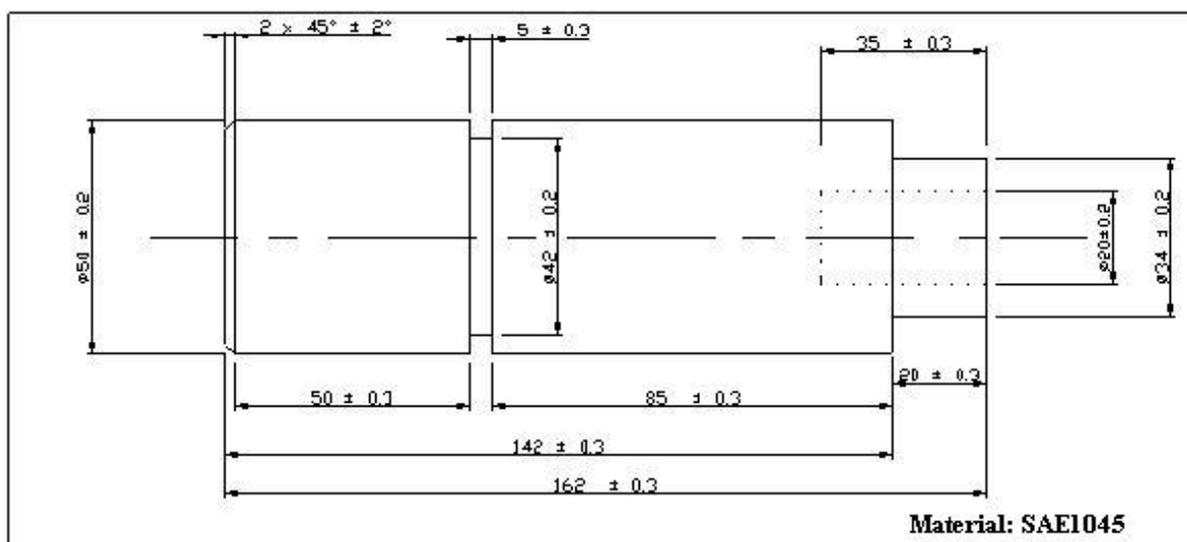


Figura 5.1 - Desenho da peça exemplo

Em primeiro lugar se o desenho da peça ainda não foi codificado o processista deve codificá-lo para que o mesmo tenha uma identificação correta no banco de dados. Dessa forma com o projeto em mãos o processista entra no SCC do programa selecionando a respectiva opção. Ao abrir o módulo da forma principal seleciona-se o dígito um (peça rotacional sem desvio e sem rosca) seguindo no próximo formulário para escolha da forma externa. No formulário o primeiro passo é responder a pergunta feita na parte superior do mesmo, decorrente da escolha anterior (Figura 5.2). Na peça em questão existe um rasgo na parte externa, então a resposta é “**sim**” para pergunta deste módulo. A seguir são evidenciados as opções para este dígito conforme a resposta (Figura 5.3). No caso, como todos os diâmetros são visíveis visto de uma das faces finais e a peça tem um furo, um rasgo e um chanfro o dígito escolhido é o número sete.

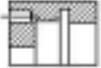
Figura 5.2 - Formulário da forma externa para peça rotacional sem desvio

Figura 5.3 - Módulo com opções da forma externa para peça rotacional sem desvio

Seleciona-se a opção sete na caixa de texto que se encontra na parte inferior do formulário avançando para a escolha da forma interna, com o mesmo procedimento do módulo anterior. Como existe um furo na parte interna da peça, a resposta da pergunta (Figura 5.4) é “**sim**” e o dígito escolhido é o seis, pois existe apenas um furo na forma interna. Segue-se para seleção do próximo dígito.

Digito 3: Operações de Torneamento em formas Internas

Existe furo excêntrico e/ou face (s) e/ou rasgo (s) na forma interna e/ou face (s), e/ou face (s) finais? Sim Sim ou não?

6	Sem formas internas.	
7	Todos os processos internos e externos e Di&am. visíveis visto de uma das extremidades (excluindo ranhuras e faces).	
8	Nem todos os processos internos e externos e Di&am. visíveis visto de uma das extremidades (excluindo ranhuras e faces).	
9	Nem todos os processos internos e di&am. visíveis de uma das extremidades (excluindo ranhuras e faces).	
0	Usinagem de cones e/ou perfil e/ou ranhuras especiais.	

Ver tipo de forma excêntrica

DIGITE O CÓDIGO ESCOLHIDO:

Click aqui para ir ao próximo digito



Figura 5.4 - Formulário da forma interna para peça rotacional sem desvio

Nesta parte codifica-se a posição dos elementos de forma. Como a posição entre os elementos de forma (furos, faces, rasgos) são perpendiculares entre si a resposta para pergunta é “**sim**” completando o código do mesmo (Figura 5.5). Para peça em questão o código escolhido é o número três, pois existe usinagem no eixo perpendicular ao eixo de rotação (rasgo) e usinagens paralelas a o eixo de rotação (furo, faceamento). Preenchida a caixa de texto com o código, passa-se ao próximo módulo.

Digito 4: Posição dos Elementos de Forma

A posição do elemento de forma é perpendicular? Sim Sim ou não?

Posição do elemento de forma (em relação ao eixo) realizado por furo excêntrico e/ou operações de face e/ou rasgo, excluindo operações de rasgos internos completamente fechados.

0	Sem operações excêntricas.	
1	Seis furos usinados (no máximo 3) distribuídos num mesmo círculo e em um único sentido.	
2	Em uma única direção e um único sentido.	
3	Em uma direção e dois sentidos ou em duas direções perpendiculares.	
4	Tres direções perpendiculares.	

Gpfai DIGITE O CÓDIGO ESCOLHIDO:

Click aqui para ir ao próximo digito

Figura 5.5 - Formulário da posição dos elementos de forma para peça rotacional sem desvio

No formulário seguinte responde-se duas perguntas como pode ser visto na Figura 5.6 e selecionando o código correspondente a dimensão principal da peça. Para esta peça a dimensão principal é o diâmetro (50 mm) e o código correspondente é vinte e oito. Após preencher o campo com o código indicado segue-se para o módulo do sétimo dígito.

Figura 5.6 - Formulário da dimensão principal

Neste formulário como calcula-se a razão entre as dimensões principais que no caso é maior que três e menor que quatro (3.4), correspondente ao código de número sete (Figura 5.7).

Figura 5.7 - Formulário da razão entre as dimensões principais para peça rotacional sem desvio

O código do próximo módulo corresponde a um número que indica o tamanho das dimensões auxiliares. Para a peça em questão esse código é o número um, pois a soma dessas dimensões auxiliares (297 mm) é menor que 400 milímetros (Figura 5.8).

Figura 5.8 - Formulário das dimensões auxiliares para peça rotacional sem desvio

No formulário do dígito nove codificam-se as tolerâncias de comprimento e posição da peça. Como a tolerância de comprimento da peça a ser codificada é maior que 0.2 milímetros a resposta para a pergunta feita no formulário é “**não**” e então aparece os códigos como pode ser visto na Figura 5.9. O código escolhido é o número cinco, pois a tolerância de posição da peça é igual a 0.2 milímetros.

Figura 5.9 - Formulário da tolerância das medidas principais

No módulo seguinte abre-se uma tabela para seleção do tipo de precisão de forma e sua respectiva tolerância (Figura 5.10). Como no desenho da peça não está indicado nenhum tipo de precisão de forma o código escolhido para a mesma é o número um.

4. Dígito 10: Precisão da Forma			
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	TOLERÂNCIA
1			Tolerâncias não cobertas ou não estão citadas abaixo
2	Circularidade		R. max. - R. mín. $\leq 5 \mu\text{m}$
3	Planicidade		R. max. - R. mín. $\leq 10 \mu\text{m} / 300 \text{mm}$
4	Cilindricidade		R. max. - R. mín. $\geq 5 \mu\text{m}$ e $\leq 10 \mu\text{m} / 300 \text{mm}$
5	Contorno de superfícies ou linear		R. max. - R. mín. $\geq 5 \mu\text{m}$ e $\leq 10 \mu\text{m} / 300 \text{mm}$
6	Paralelismo		R. max. - R. mín. $\geq 20 \mu\text{m} / 300 \text{mm}$
7	Letras total de indicador, consulte <i>anexo</i>		R. max. - R. mín. $\leq 5 \mu\text{m}$
8	Precisão angular Perpendicularidade		R. max. - R. mín. $\geq 10 \mu\text{m} / 300 \text{mm}$
9	Precisão posicional, Concentricidade, Coaxialidade, Simetria		R. max. - R. mín. $\leq 5 \mu\text{m}$

DIGITE O CÓDIGO ESCOLHIDO:

Figura 5.10 - Formulário da precisão da forma

Preenchido o campo com o código segue-se para o formulário da escolha do material da peça. O material da peça é um aço SAE 1045 conforme especificado no desenho, então o código é o número cinco com um zero na frente (Figura 5.11), pois este formulário corresponde aos dígitos 11 e 12 do código.

Dígitos 11 e 12: Material da Peça	
	Material: <input type="text" value="SAE1045"/>
	Número do Código: <input type="text" value="5"/>
DIGITE O CÓDIGO ESCOLHIDO: <input type="text" value="05"/>	Do Código 1 ao 9 digite com o "0" na frente. <input type="button" value="Click aqui para ir ao próximo dígito"/>
Record 5 <input type="button" value="Close"/>	

Figura 5.11 - Módulo para escolha do material da peça

No penúltimo formulário indica-se o número e a seqüência das máquinas que a peça deve seguir para chegar a forma final. Para peça em questão o número de máquinas corresponde a dois e a ordem é: em primeiro lugar ela vai passar pelo torno, seguido pela furadeira (Figura 5.12).

Escolha a(s) Máquina(s) onde a peça vai ser produzida

DIGITE NÚMERO DE MÁQUINAS QUE A PEÇA VAI PASSAR: 2

FURADEIRA - 1

TORNDO - 2

PRENSA - 3

FRESADORA - 4

POLTRIZ - 5

RETIFICA - 6

SERRA - 7

DIGITE A SEQUÊNCIA DO PROCESSO: 21

Click aqui para ir ao próximo digito

Figura 5.12 - Formulário de escolha das máquinas necessárias para fabricar a peça

Neste último módulo salva-se o código com o respectivo nome em um banco de dados para posteriormente usá-lo quando necessário.

Código Final

Gpfai

Código Da Peça: 176328715105221

Digite o Código Da Peça: 176328715105221

Digite o Nome Da Peça: eixo_esteoplo

Refresh Adicionar Código Salvar Código Close

Figura 5.13 - Formulário com o código final da peça

Com a peça codificada pode-se passar para etapa “**Edição do Plano de Processo**” (Figura 4.27) acionando-se os módulos correspondentes. A seguir encontra-se a representação deste formulário com seus respectivos campos já preenchidos conforme o desenho da peça e com a primeira operação necessária.

Figura 5.14 - Formulário de Edição do Plano de Processo para primeira operação

A Figura 5.15 mostra as *features* presentes no projeto da peça exemplo e na Tabela 5.1 encontram-se as operações de usinagem associadas a cada *feature* da peça.

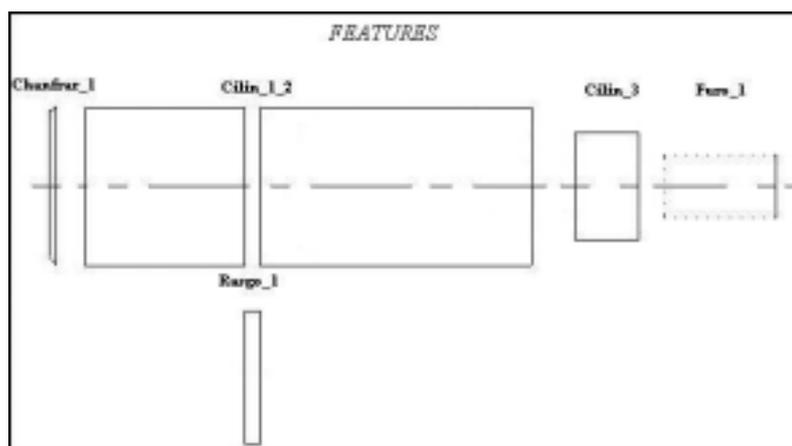


Figura 5.15 – Features presentes no projeto da peça

Tabela 5.1 – Operações atribuídas a cada *feature* da peça

<i>Feature</i>	Operação
Chanfrar_1	Chanfrar
Cilin_1_2	Cilindrar
Rasgo_1	Ranhurar
Cilin_3	Cilindrar
----	Cortar
Furo_1	Furar

A etapa seguinte corresponde a definição das condições de usinagem cujas escolhas feitas para a peça em questão estão indicadas na figura, repetidas respectivamente para todas as operações indicadas na tabela 5.1.

Figura 5.16 - Formulário de escolha das operações e do tipo de usinagem

A seleção da opção de usinagem externa abre o próximo módulo para escolha da ferramenta apropriada para a operação. Na Figura 5.17 está representado o formulário com a ferramenta já escolhida e com o campo preenchido. Em função da pastilha selecionada é acionado o formulário para escolha do porta-ferramentas adequado e a máquina pré-selecionada para executar a operação (Figura 5.18).

Na tabela 5.2 encontram-se as possíveis ferramentas que o processista poderá escolher para efetuar a operação nas condições selecionadas e na Tabela 5.3 as opções de seleção do porta-ferramentas.

Tabela 5.2 – Pastilha para torneamento externo e usinagem média de aços

Operação Chanfrar	
CNMG120408-PM	SNMG090308-PM
CNMG160608-PM	SNMG120408-PM
CNMG190608-PM	TNMG160408-PM
DNMG110408-PM	TNMG220408-PM
DNMG150608-PM	VNMG160408-PM

Tabela 5.3 - Porta-ferramenta de pastilhas para torneamento externo e usinagem de aços

Porta-ferramenta para pastilha escolhida	
PSDNN2020K12	PSRNR/L2525M12
PSDNN2525M12	PSRNR/L3225P12
PSDNN3225P12	PSSNR/2525M12
PSKNR/L2020K12	PSSNR/L2020K12
PSKNR/L2525M12	PSSNR/L3225P12
PSKNR/L3225P12	PSSNR/L3225P12
PSRNR/L2020K12	

Os itens em negrito são os porta-ferramenta que podem ser escolhidos para a operação de chanframento a 45°. Essa escolha depende do conhecimento do processista. As várias opções para a escolha da pastilha e do porta-ferramentas dependem das opções inseridas no banco de

dados. Como cada empresa trabalha com um certo número de ferramentas ao adaptar o banco de dados para uma empresa provavelmente o número de escolhas diminuirá drasticamente.

Figura 5.17 - Formulário de escolha da pastilha para primeira operação

Figura 5.18 - Módulo de escolha do porta-ferramenta para primeira operação

No formulário seguinte informa-se o comprimento e o diâmetro da *feature* que vai ser usinada na primeira operação.

Figura 5.19 - Formulário para informar o diâmetro e comprimento da peça

Selecionada a opção **ir para o plano de processo** no módulo seguinte informa-se as demais operação na peça (Figura 5.20).

Outra operação?

Tem outra operação a ser realizada? sim ou não?

OK

Cancel

sim

Figura 5.20 - Formulário para informar outra operação

No próximo módulo indica-se a próxima operação e a máquina onde ela vai ser realizada (Figura 5.21).

Edição do Plano do Processo

Escolha a Operação: Cíndar

Escolha a Máquina: 020

Abri próximo formulário

Figura 5.21 - Formulário para escolha de operação

A figura seguinte corresponde ao formulário preenchido com as informações pertinentes a segunda operação. Selecionada novamente a opção de usinagem externa define-se a ferramenta apropriada para operação (Figura 5.22), de preferência se possível escolhe-se a mesma pastilha que a operação anterior, dependendo dos tipos de pastilhas indicados pelo sistema conforme escolha do item anterior (condições de usinagem, tipo de operação). Da mesma maneira que na operação anterior apresenta-se os dados para escolha do porta-ferramentas (Figura 5.23).

Pastilha para Acabamento Externo em condições normais

CódigoDaPast: CNMG120408 PF

FormatoDaPaz: C

TamanhoDaAresta: 12

CompDaArestaDeCorte: 12,7

QtdEstoque: 5

Ajuda para escolha da aresta de corte

Selecione a pastilha e digite o código:

CNMG120408 PF

Abri próximo formulário

Add Update Delete Refresh Close

Record: 2

Figura 5.22 - Módulo de escolha da pastilha para segunda operação

Figura 5.23 - Formulário de escolha do porta-ferramentas para segunda operação

Tabela 5.4 - Pastilhas para torneamento externo e acabamento de aços

Operação Cilindrar	
CNMG090308-PF	TNMG160404-PF
CNMG120408-PF	TNMG160408-PF
DNMG110408-PF	TNMG220408-PF
DNMG150608-PF	WNMG060408-PF
SNMG120408-PF	

Tabela 5.5 - Porta-ferramentas para pastilhas de torneamento externo de aços

Porta-ferramenta para pastilha escolhida	
PCBNR/L2525M12	PCLNR/L3225P12
PCLNR/L1616H12-M	PCLNR/LV2020K12
PCLNR/L2525M12	

No próximo módulo o processista informa o diâmetro e o comprimento da *feature* a ser usinada (Figura 5.24) e logo após informa a próxima operação a ser executada na peça.

Figura 5.24 - Formulário para informar o diâmetro e comprimento da peça

Para completar o plano de processo o procedimento é repetido até não haver nenhuma outra operação a mais a fazer na peça (Anexo II). Nesse caso no formulário onde pede para

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

6.1. CONCLUSÕES

Ao acompanharmos as publicações técnicas dos últimos anos, constata-se que o planejamento de processo é um assunto de pesquisa em várias instituições internacionais e nacionais (UFSC, USP, UNICAMP, UNIVERSIDADE DE TWENTE – NETHERLANDS, INSTITUTO DE PESQUISA E COMUNICAÇÃO EM CIBERNÉTICA – NANTES, etc.) que se esforçam para recuperar o atraso tecnológico que existe entre este assunto e seus adjacentes, como CAD na área de projeto e CAM na área de manufatura. Por isso este trabalho se justifica com intuito de tentar agregar valor a esta área de pesquisa e desenvolvimento.

Esta dissertação envolveu conhecimentos das áreas de sistemas de fabricação e usinagem dos materiais. Num primeiro momento foi feita uma revisão bibliográfica sobre planejamento de processo auxiliado por computador e sobre processos convencionais de usinagem e por último desenvolveu-se um sistema de planejamento de processo automatizado para um ambiente de fabricação do ramo metal-mecânico.

O programa desenvolvido (SisPlan_I) é um sistema híbrido com duas partes distintas. A primeira delas é um modelo de CAPP variante que pode ser usado para qualquer tipo de operação, limitando-se apenas pelo sistema de codificação e classificação conseguir, ou, não codificar a peça. A segunda parte do sistema é um modelo de CAPP generativo interativo para operações de torneamento e furação em ambientes de manufatura que utilizem ferramentas da marca Sandvik, utilizados como base para o banco de dados do programa, na fase de implantação.

O modelo proposto visa auxiliar interativamente o processista na confecção do plano de processo fazendo o trabalho maçante e repetitivo de pesquisa de ferramentas, porta-ferramentas, materiais, além dos cálculos dos parâmetros envolvidos no processo, liberando ao processista mais tempo para as tarefas que agregam realmente valor ao processo. Com isso deverá ocorrer uma redução significativa no tempo de desenvolvimento do plano de processo, um melhor aproveitamento e padronização das ferramentas de corte e das máquinas-ferramentas e conseqüentemente uma redução no tempo e nos custos de planejamento e exigindo um menor nível de conhecimento técnico dos processistas, podendo esses ter menos experiência.

Estes sistemas apesar de terem uma grande flexibilidade devem ser considerados como uma ferramenta de apoio aos processistas, nunca tendo a pretensão de substituí-los, e sim ajudá-los a maximizar seu desempenho. Por esta razão os sistemas CAPP devem gerar a folha de processo da melhor maneira possível dentro dos recursos da empresa, porém, deixando ao processista a opção de fazer ajustes ou modificações finais no plano, em função de aspectos operacionais, econômicos, de mercado, etc.

6.2. RECOMENDAÇÕES

Com o objetivo de ampliar e melhorar o presente trabalho, nota-se a necessidade de desenvolvimento de alguns itens, como se segue:

- Ampliar a parte generativa interativa para outros processos, como: fresamento, aplainamento;
- Inserir ferramentas que ajudem no cálculo dos tempos de usinagem e conseqüentemente calcular os custos para fabricar a peça;
- Ampliar o programa desenvolvendo uma parte generativa automática e com isso obter a interação com sistemas CAD e CAM;
- Ampliar o banco de dados do sistema para outras marcas comerciais de ferramentas e porta-ferramentas, além da marca Sandvik que foi usada no banco de dados atual.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1989. **Metals Handbook**. Metals Park: ASM Publisher.

BAPTISTA, E. A., 2000. **Desenvolvimento de um Sistema Especialista para Otimização do Processo de Usinagem (Dissertação de Mestrado)**. Santa Bárbara do Oeste: Ed. UNIMEP.

BEDWORTH, David D. HENDERSON, M. R. PHILIP, M. W., 1991. **Computer-Integrated Design and Manufacturing**. Estados Unidos: McGraw-Hill.

CASSANIGA, Fernando A., 1991. **Fácil Programação do Controle Numérico**. Sorocaba: F.A.C. Produções Editoriais.

CECIL, J. **IE 590 Integrated Manufacturing Systems-Expert Systems & Process Planning**. Arquivo da Web: http://web.nmsu.edu/~jcecil/IE590/CAPP/Cecil_notes_CAPP_2.pdf e http://web.nmsu.edu/~jcecil/IE590/CAPP/ES_CAPP.pdf.

CHANG, T. C. Wysk A.R., 1985. **An Introduction to Automated Process Planning Systems**. New Jersey: Prentice Hall.

CUNHA, Gilberto Dias da., 1995. **A aplicação de modernas tecnologias e metodologias de produção sobre os sistemas de fabricação**. Porto Alegre: UFRGS, v, 56 p.

D. SOUZA ROSHAN, CASTELINO K. WRIGHT, P. DORNFELD D. **Automated Process Planning In Agent Based Manufacturing Systems**. Arquivo Capturado da Web: http://kingkong.me.berkeley.edu/~kenneth/research/pubs/agent_based_process_planning.pdf.

DÉPINCÉ, P., AMARA, H., HASCOET, J-Y. **May Human Intervention Improve the CAPP Systems Abilities?**. Arquivo da Web: <http://www.3s.hmg.inpg.fr/ci/200201cirp/pres-Depince.pdf>.

DINIZ, A. E., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L., 2000. **Tecnologia de Usinagem dos Materiais**. 2º Ed. São Paulo: Editora Artliber.

FERRARESI, Dino., 1977. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. V. 1, São Paulo: Edgard Blucher.

FREIRE, J. M., 1975. **Tecnologia Mecânica – Torno Mecânico**. v. 3, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Ed. S.A..

GAWLIK, Edward. **The Analysis of Methods for Computer Aided Process Planning**. Arquivo da Web: http://fstroj.utc.sk/journal/engl/papers/017_2002.pdf. Poland: Cracow University of Technology.

GERLING, H., 1967. **À volta da máquina – ferramenta**. Rio de Janeiro: Ed. Reverte.

GOMES, L. A., Fevereiro de 2002. Como a Weg solucionou um problema de usinagem de eixos utilizando o CAPP. **Máquinas e Metais**.

GROOVER, Mikell P., ZIMMERS Jr., E. W., 1984. **CAD/CAM Computer Aided Design and Manufacturing**. New Jersey : Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

HADDAD, RENATO., 2000. **Access 2000 & VBA : Soluções e Aplicações**. São Paulo: Ed. Érica.

HALEVI, G. WEILL, R.D., 1995. **Principles of Process Planning: A logical approach**. Chapman & Hall.

HEUSER. C. ALBERTO., 2000. **Projeto de Banco de Dados**. 3. ed, Porto Alegre: Editora Sagra Luzzatto.

HUNG, JACK. **Engineer on a Disk**. Arquivo Capturado da Web: <http://claymore.engineer.gvsu.edu/eod/pdf/automate.pdf>.

IVAN K. STANISLAW L., Dezembro de 2000. Chosen Aspects of Modern CAPP Systems. **Computational Methods in Science e Technology**. p. 65-74.

KNORST, T., 1998. **Aplicação da Tecnologia PFCP Integrada ao CAPP e um Ambiente de Ferramentaria**. Florianópolis: Editora da UFSC.

LORINI, FLÁVIO J., 1993. **Tecnologia de Grupo e Organização da Manufatura**. Florianópolis: Editora da UFSC.

LUCERO, A. G. R., 2001. **Um Método de Otimização para a Programação da Manufatura em Pequenos Lotes (Dissertação de Mestrado)**. Florianópolis: Editora da UFSC.

MESQUITA, N. G. DE M., ANDRADE, S. M. V., OLIVEIRA, J. A. C., CARVALHO, H. M. B., Novembro de 2002. Banco de Dados de ferramentas de corte para um sistema CAD/CAPP/CAM. **Máquinas e Metais**.

NAFIS A., ANWARUL A.F.M. HAQUE, A., HASIN, A., 2001. Current Trend in Computer Aided Process Planning. **International Conference the Institution of Engineers**. Artigo n. 10, p. 81-92.

NORMANN, EW., 1989. **O Planejamento de Processos Auxiliado por Computador com Exemplo de Aplicação em Operações de Furação (dissertação de Mestrado)**. Florianópolis: UFSC.

PERRY, GREG., 1999. **Aprenda em 21 dias: Visual Basic 6**. Rio de Janeiro: Ed. Campus.

ROZENFELD, H. **CAPP – Computer Aided Process Planning**. Arquivo da Web: http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/cappv2.htm.

ROZENFELD, H. KERRY; Jr., H. T., PIEBER, E., RIBEIRO, C. E. S., Março de 1996. Aplicação de uma Solução CAPP para peças Parametrizadas – Um caso prático. **Máquinas e Metais**.

SADAI AH, M., YADAV D. R., MOHANRAM, RADHAKRISHNAN, P. V. P. A Generative Computer-Aided Process Planning System for Prismatic Components. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. Arquivo da Web: <http://link.springer-ny.com/link/service/journals/00170/bibs/2020010/20200709.htm>.

SALOMONS, O. W. **Feature Based Process Planning**. Arquivo Capturado da Web: http://www.umn.edu/~liou/ME459/cad_cam_intgr/feature_based_pp.html.

SALOMONS, O.W., VAN HOUTEN, F.J.A.M., KALS, H.J.J., 1993. Review of Research in Feature-Based Design. **Journal of Manufacturing Systems**. v.12, n.2, p.113-132.

SANDVIK-COROMANT., 2001. **Corokey – Seu Guia para produtividade. (Catálogo Técnico)**. São Paulo.

SANDVIK-COROMANT., 2001. **Ferramentas para Torneamento (Catálogo Técnico)**. São Paulo.

SANDVIK-COROMANT., 2001. **Ferramentas rotativas (Catálogo Técnico)**. São Paulo.

SANTOS, Sandro C., 1999. **Furação de Ferro Fundido Cinzento com Brocas de Metal Duro Integral**. Uberlândia: UFU.

SHAW, MILTON C., 1986. **Metal Cutting Principles**. New York: Oxford University Press.

STEMMER, Gaspar Erich., 2001. **Ferramentas de Corte I**. 3. ed. Florianópolis : Editora da UFSC.

TNO., 1993. **Miclass – Definitions and Conventions**. Organization for Industrial Research, Inc., Waltham, Mass.

ZHANG, Hong-Chao., 1993. IPPM-A Prototype to Integrate Process Planning and Job Shop Scheduling Functions. **Annals of the CIRP**, v.42, n.1, p.513-518.

W. EVERSHEIM, N. MICHALAS. **Cirp Computer Aided Process Planning Workshop**. Arquivo da Web: <http://www.3s.hmg.inpg.fr/ci/200201cirp/Introduction2.pdf>.

ANEXOS

ANEXO I - TECNOLOGIA DE USINAGEM

INTRODUÇÃO

Dentre os processos de fabricação utilizados na indústria metal-mecânica o processo de usinagem é o mais utilizado e, além disso, tem grande flexibilidade, permitindo ao usuário uma diversificada área de atuação com um número muito grande de soluções possíveis. Por esses motivos que esse tipo de processo foi escolhido para o desenvolvimento deste trabalho, razões pela qual uma breve revisão do assunto é tratada a seguir.

GENERALIDADES

Desde o início dos estudos em usinagem, no final do século XIX, os processos de usinagem têm passado por evoluções que resultam em aumento da produtividade. Usinagem é o processo para obtenção de uma peça a partir de um material bruto ou pré-usinado, com retirada de cavaco, visando atender especificações de normas ou desenhos sempre objetivando um processo otimizado em função do menor custo ou do maior volume de produção. As operações de usinagem mais usadas são: torneamento, fresamento, furação, aplainamento, alargamento, mandrilamento, brochamento, rosqueamento, retificação, eletroerosão, entre outras. Entre as operações citadas as mais usadas, segundo SANTOS [1999] apud TÖNSHOFF et alli [1994], em função do número de operações e do tempo total de usinagem são: **Torneamento**, **Fresamento** e **Furação** conforme mostra a figura a seguir.

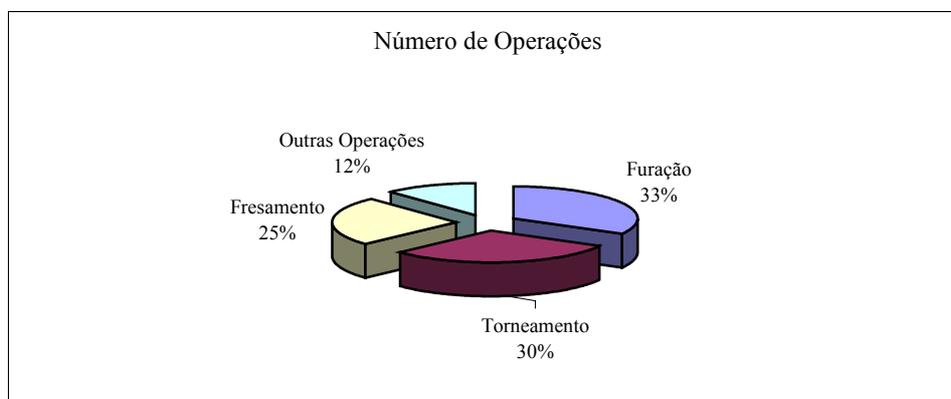


Figura 1 - Operações mais utilizadas em usinagem

TORNEAMENTO

Torneamento é a operação mais antiga dentre as operações de usinagem e ela é processada em uma máquina que se chama torno mecânico. Ele é considerado a principal máquina-ferramenta porque dele se originam todas as outras máquinas, e, porque pode executar o maior número de operações do que qualquer outra máquina-ferramenta. O torno trabalha com o movimento principal de rotação, enquanto que a ferramenta possui o movimento de avanço e de translação (ver Figura 2 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**), com essa combinação pode executar qualquer tipo de superfície de revolução, como: eixos, polias, pinos e toda espécie de peças roscadas.

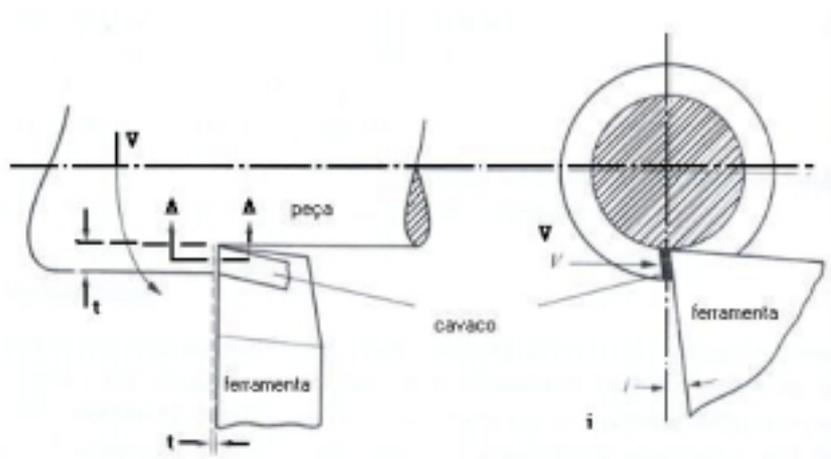


Figura 2 - Movimentos da operação de torneamento

A escolha do torno adequado para a execução de uma determinada fabricação deverá ser feita baseando-se nos seguintes fatores:

- Dimensões das peças a produzir;
- Forma das mesmas;
- Quantidade a produzir;
- Potência e forças de corte;
- Forma da matéria prima;
- Grau de precisão exigido.

A. PARÂMETROS DE CORTE

Os três principais parâmetros de corte para uma operação de usinagem são velocidade de corte (v_c), avanço (f) e profundidade de corte (a_p). Eles têm grande influência durante o processo de corte, e se não forem controlados corretamente o processo pode ser mal sucedido.

A **velocidade de corte** é a velocidade com a qual se dá a retirada de cavaco e varia conforme a ferramenta, o avanço, a profundidade de corte, tipo de máquina e a natureza da operação a ser efetuada. Assim, no desbaste, que visa uma retirada rápida do material, usa-se a maior velocidade possível, levando em consideração o avanço e a profundidade de corte. Já no acabamento superficial a velocidade pode ser maior, pois o avanço e a profundidade de corte devem ser pequenos objetivando uma boa qualidade superficial. Em termos de cálculo da velocidade de corte considerando que ela é a velocidade tangencial instantânea resultante da rotação da ferramenta em torno da peça, e para as operações do tipo torneamento, fresamento e furação, onde os movimentos de corte e de avanço ocorrem concomitantemente, ela pode ser calculada da seguinte maneira:

$$v_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \quad (0.1)$$

onde: v_c = velocidade de corte (m/min)

d = diâmetro da ferramenta (mm)

n = rotação da ferramenta (rpm)

Valores práticos para velocidades de corte dependem do tipo de operação e material a ser usinado. A Tabela 1 indica valores recomendados de velocidades de corte para diferentes materiais a torrear.

Tabela 1 - Velocidade de corte (m/min) para torneamento (SANDVIK – 2000)

Tipo de trabalho	Aços-Carbono sem Liga (C=0,035%)	Aços-Carbono Ligados recozidos	Aços Alta Liga	Aços Fundidos, de baixa liga
Acabamento fino	433	369	339	220
Acabamento	395	330	295	195
Usinagem média	310	255	220	175
Desbaste	250	200	180	120
Desbaste Pesado	195	155	143	95

O **avanço** é o percurso de avanço a cada volta ou em cada curso da ferramenta e varia conforme a constituição da peça de trabalho e da ferramenta bem como a natureza do trabalho.

Este influencia diretamente na velocidade de avanço, que para operações de torneamento, é o produto do avanço pela rotação da ferramenta, definida para as respectivas unidades:

$$v_f = f \times n \quad (0.2)$$

onde: f = avanço (mm/n)

v_f = velocidade de avanço (mm/min)

O avanço é limitado em função das geometrias da ferramenta, sendo impraticável um avanço superior a 80% do raio de ponta da ferramenta (CASSANIGA - 1991). A tabela a seguir mostra os valores de referência para os avanços do torneamento, em mm/n, conforme o material e o tipo de trabalho.

Tabela 2 - Valores recomendados de avanço

Tipo de Trabalho	Gume da Ferramenta feita de:	Peça-obra de:		
		Aço, ferro fundido, latão	Metal Leve	Material prensado
Desbaste	Aço-Ferramenta	0,5 até 1,5	1,0 até 3,0	0,5 até 2,0 1,0 até 2,0
	Aço-rápido	1,0 até 1,5		
	Metal duro			
Acabamento	Aço-Ferramenta	0,1 até 0,2	0,1 até 0,2	0,1 até 0,2
	Aço-rápido			
	Metal duro			

A **profundidade ou largura de corte (a_p)** é a profundidade de penetração da ferramenta em relação à peça, medida perpendicularmente ao plano de trabalho (ver Figura 3Figura). No torneamento cilíndrico e de faceamento, a_p é denominada profundidade de corte e no sangramento a_p corresponde à largura de corte. Ela influencia diretamente na área da seção transversal (A), onde o cavaco é removido, medida perpendicularmente, como indicado na fórmula.

$$A = a_p \times f = b \times h \quad (0.3)$$

onde: (b) é o Comprimento da Aresta de Corte [mm] e

(h) é a espessura de corte [mm].

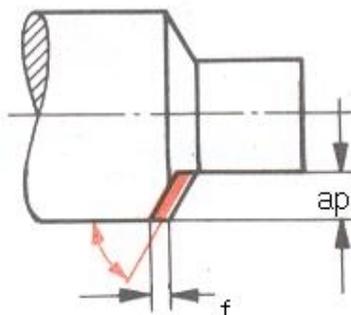


Figura 3 - Indicação da profundidade de corte em operação de cilindrar

Segundo DINIZ [2000], a velocidade de corte seguido do avanço e por último pela profundidade de corte tem grande influência no desgaste e na vida da ferramenta. Com o aumento da velocidade de corte aumenta-se a energia (calor) que é fornecida ao processo, sem um aumento da área da ferramenta que recebe este calor. O aumento do avanço também aumenta a geração de calor, o mesmo tempo que aumenta a área da ferramenta que recebe esta energia. A influência da profundidade é menor, já que ao ser aumentada, a profundidade de usinagem não altera com a energia destinada ao corte por unidade de área, nem com a velocidade de retirada de cavaco, mas somente faz com que um maior volume seja retirado através da utilização de uma maior porção de aresta de corte. A tabela abaixo mostra a vida da ferramenta para várias velocidades de corte e avanços usando um a_p constante de um milímetro, ferramenta de metal duro recoberto classe P35 e o material da peça é um aço 4340 (Diniz - 2000).

Tabela 3 - Vida da ferramenta de Torneamento para diversos avanços e velocidades de corte

f (mm/volta)	V_c (m/min)	Vida (m)
0.16	300	1450
0.20	300	1530
0.24	300	1550
0.20	250	2600
0.20	300	1530
0.20	350	650

B. FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

O conhecimento do comportamento da força de corte (F_c) é de fundamental importância, pois afeta a potência necessária para o corte (utilizada para o dimensionamento do motor da máquina-ferramenta). A força de corte pode ser expressa da seguinte maneira:

$$F_c = K_s \times A \quad (0.4)$$

onde: K_s = pressão específica de corte (N/mm^2)

A = área da seção de corte (equação 3.3)

A pressão específica de corte, um parâmetro muito pesquisado, tem diversas formulações propostas por diversos autores dentre eles: Taylor, ASME, AWF, Hucks e Kronenberg.

KIENZLE apud DINIZ (2000) propõe uma fórmula bastante simples e suficientemente precisa, visando a aplicação prática, para o cálculo de K_s . Nesta fórmula, K_s é calculado em função da espessura de corte h . O aumento da pressão específica de corte com a diminuição de h é uma propriedade geral, que vale para todas as operações de usinagem. A formulação para o cálculo de K_s e da força de corte proposta por KIENZLE é dada pelas expressões:

$$K_s = \frac{K_{s1}}{h^z} = K_{s1} \times h^{-z} \quad (0.5)$$

$$F_c = K_s \times h \times b = K_{s1} \times h^{1-z} \times b \quad (0.6)$$

Onde K_{s1} e $1-z$ são valores dos materiais ensaiados por KIENZLE, nas condições de v_c entre 90 e 120m/min e h entre 0.1 e 0.4 mm, para ferramenta de metal duro sem fluido de corte e afiada (para ferramentas no fim da vida considerar um aumento de K_{s1} de até 30%).

KIENZLE sugere um aumento ou diminuição de 1 a 2% de K_s , para cada diminuição ou aumento de 1° do ângulo, respectivamente. Os valores são válidos somente quando não existir a presença de aresta postiça de corte.

Tabela 4 - Valores de K_{s1} e $1-z$

MATERIAL	σ_T (N/mm ²)	$1-z$	K_{s1}
Aço ABNT 1030	520	0,74	1990
1040	620	0,83	2110
1050	720	0,70	2260
1045	670	0,86	2220
1060	770	0,82	2130
8620	770	0,74	2100
4320	630	0,70	2260
4140	730	0,74	2500
4137	600	0,79	2240
6150	600	0,74	2220
Ferro Fundido	HRc = 46	0,81	2060
Ferro FundidoGG26	HB = 200	0,74	1160

Segundo DINIZ [2000], os fatores que influenciam a pressão específica de corte são:

- **Material da peça:** O aumento percentual de alguns materiais influencia no aumento ou diminuição de K_s . Por exemplo, à medida que aumenta a percentagem de carbono nos aços, K_s aumenta.

- **Material e geometria da ferramenta:** Ferramentas com cobertura de titânio tendem a diminuir o coeficiente de atrito entre cavaco-ferramenta e, com isso, diminuem os valores de K_s quando comparados com outras ferramentas. Os ângulos de saída (γ_0) (principalmente) e de inclinação (λ_s) provocam uma diminuição de K_s à medida que seus valores aumentam, pois a deformação do cavaco diminui, mas deve-se notar que com o aumento de γ_0 diminui-se a resistência da ferramenta e aumenta sua sensibilidade aos choques.
- **Seção de corte (A):** A pressão específica de corte diminui com o aumento da área da seção de corte.
- **Velocidade de corte:** A presença de aresta postiça de corte (APC) tende a diminuir o valor de K_s devido ao efeito de aumento do ângulo efetivo de saída que a aresta de corte proporciona.
- **Condições de Lubrificação e Refrigeração:** Influi sobre a pressão específica de corte modificando as condições de atrito entre cavaco e ferramenta.
- **Estado de afiação da ferramenta:** Na presença somente de desgaste de flanco (V_B), K_s aumenta à medida que o desgaste cresce, devido o aumento do atrito peça-ferramenta. Quando aparece o desgaste de cratera juntamente com o de flanco o crescimento é menos acentuado.

A potência do motor deverá ser aumentada (P/η) para levar em consideração às perdas por atrito ocasionadas pelos elementos de transmissão. O rendimento η é o fator que aumenta a potência de acionamento e é de 60 a 80% em máquinas convencionais e maior que 90% em máquinas CNC, onde o motor tem variação contínua de rotação e a transmissão de movimento do motor é realizada com poucos elementos (ou nenhum) de transmissão.

FRESAMENTO

Fresamento é o processo de usinagem através do qual pode-se obter diversos tipos de superfícies utilizando-se de ferramentas multicortantes (mais de uma aresta de corte) chamadas fresas, cujas arestas cortantes estão simetricamente dispostas ao redor de um eixo. A ferramenta para executar sua função, é provida de rotação em seu eixo central, permitindo que cada uma das arestas cortantes denominadas “facas” ou “dentes” de corte, retire cavaco do material quando em contato com a peça, para dar forma e dimensão desejada. O movimento do avanço que permite a realização da operação pode ser feito pela própria peça ou pela ferramenta, isto depende da característica da máquina operatriz. O movimento de avanço coloca em choque a peça e a ferramenta em rotação (Figura 4). Com o impacto, o material da peça acaba sendo removido em forma de cavaco (CASSANIGA - 1991).

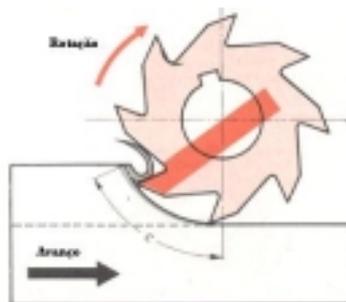


Figura 4 – Exemplo de avanço no fresamento

De acordo com a superfície obtida, a forma da ferramenta e a cinemática dos movimentos, distinguem-se, entre outras, as operações de fresagem plana, circular, de perfis e de geração.

Como a fresa pode ter formas diferentes, é normal dizer que este processo tem uma versatilidade em termos de possíveis superfícies geométricas que podem ser produzidas, com uma ótima qualidade no acabamento superficial e com altas taxas de remoção de cavaco (alta produtividade). A Tabela 5 mostra um quadro comparativo entre o fresamento e alguns outros processos que podem ser executados para obter as mesmas geometrias, parâmetros que devem ser considerados na definição de um plano de processo.

Tabela 5 – Quadro comparativo entre fresamento e outros processos de usinagem

Fresamento	Aplainamento
Operação mais barata	Máquina e manutenção mais barata Menor tempo de afiação da ferramenta
Fresamento	Brochamento Externo
Quando a superfície a ser usinada intersecciona qualquer outra existente, o brochamento é impossível	É mais econômico a partir de um determinado número de peças no lote
Fresamento	Retificação
Maior capacidade de remoção do cavaco	Melhor acabamento superficial da peça e melhores tolerâncias (muitas vezes, a retificação é uma operação posterior ao fresamento)

O processo de fresagem é influenciado por diversos fatores e entre eles estão as **características da peça** (forma, tipo de sujeição, precisão desejada, material), **parâmetros de corte** (largura de corte (a_p), penetração de trabalho (a_e), velocidade de avanço (v_f), velocidade de corte (v_c), refrigeração e lubrificação) e **dados construtivos da fresa** (diâmetro externo (D), diâmetro da haste ou mandril (h), número de dentes (z), ângulo de hélice (β) e ângulo de saída (γ)). A seguir serão explicados os mais importantes.

A. PARÂMETROS DE CORTE E NÚMERO DE DENTES DA FRESA

Os fatores que mais influenciam e devem ser levados em consideração para especificar um fresamento otimizado do ponto de vista econômico são:

- **Profundidade de Usinagem:** Deve-se usar a maior profundidade de usinagem possível, pois ela influencia pouco no desgaste da ferramenta, limitando-se na prática pelo surgimento de vibrações, que são ocasionadas quando a força de avanço se torna muito grande e a fixação da peça se tornam muito deficiente. Quando isso ocorrer (acima de 5mm), recomenda-se subdividir a profundidade de corte diminuindo-a em vários passes com velocidades de avanço maiores. Segundo DINIZ [2000], em fresas frontais, deve-se utilizar ao máximo o comprimento das arestas, mas sempre obedecendo à recomendação de que o **comprimento de corte** ($b = a_p / \sin \chi_r$) não deve exceder a 2/3 do comprimento total da aresta da pastilha, para também se evitar as vibrações. Outros fatores que limitam o uso de grandes profundidades de corte são: potência e rigidez da máquina, rigidez da peça e da fixação e acabamento superficial.
- **Avanço e velocidade de avanço:** O avanço no fresamento é influenciado por vários fatores, como: tipo de fresa, material da ferramenta, acabamento superficial, potência disponível, etc. Ele é medido geralmente em mm/min e normalmente é escolhido a partir de um valor apropriado de avanço por dente da fresa que é obtido em tabelas de fabricantes de ferramentas que o determinam em função do material usinado e do acabamento desejado. Mantendo-se o mesmo volume por dente na unidade de tempo, o aumento do avanço por dente (f_z) acarreta um decréscimo da potência consumida. A relação entre a velocidade de avanço da mesa e o avanço por dente da fresa é dado pela seguinte fórmula:

$$V_f = f \times n \quad (0.7)$$

onde: n = rotação (min^{-1})

z = número de dentes

f_z = avanço por dente e por rotação

f = avanço da fresa, por rotação

A mudança de qualquer um dos parâmetros de usinagem (v_c , f_z , a_p e a_e) produz o mesmo efeito sobre a taxa de remoção de material Q , pois:

$$Q = v_c \times f_z \times a_p \times a_e \quad (0.8)$$

onde: a_e = penetração de trabalho

a_p = largura ou profundidade de usinagem

Q = volume de material removido na unidade de tempo

Como normalmente a largura de corte e a penetração de trabalho são conhecidas, a potência de corte passa a ser definida pela velocidade de avanço, que depende do acabamento superficial requerido. Quanto melhor for o acabamento superficial desejado, menor deve ser o avanço por dente e conseqüentemente menor a velocidade de avanço.

- **Velocidade de corte:** Em fresamento é a velocidade relativa entre a superfície da peça e a ferramenta, ou seja, a velocidade com que cada dente da fresa percorre um determinado espaço da peça num determinado tempo. Assim, uma variação nesta velocidade significa uma alteração do avanço por dente, se a v_f não for alterada (ver equação 3.8). Como a potência de corte é proporcional à velocidade de corte, resulta que a potência necessária de corte é bem menor em baixas do que em altas velocidades de corte. A diferença é tão grande que para o aproveitamento econômico da máquina (e, simultaneamente um menor desgaste da fresa), deve-se sempre preferir o trabalho em baixas velocidades de corte. Segundo STEMMER [1992], a regra de usar baixas v_c e mais elevadas espessuras de corte é, entretanto, limitada pelos seguintes fatores: 1 – Forças muito grandes podem sobrecarregar o mandril da fresadora, provocando flexão do mesmo e, conseqüentemente, batimentos, lascamento dos gumes e quebra dos dentes da fresa; 2 – O acabamento superficial depende do avanço, piorando a medida que aumenta f .

$$v_c = \frac{(\pi \times D \times n)}{1000} \quad (0.9)$$

v_c = velocidade de corte (m/min)

D = diâmetro externo da fresa (mm)

- **Número de Dentes:** Os fatores que podem influenciar na escolha do número de dentes são: a potência de corte (fresa com poucos dentes – passo grande – gera menor potência para um mesmo volume de cavaco gerado na unidade de tempo), o material da peça (materiais de cavacos longos exigem um espaço maior entre os dentes), o tamanho da peça (é bom que haja sempre dois dentes em corte, pois um dente levaria a um trabalho desuniforme, com fortes impactos), a estabilidade do sistema máquina-fresa-dispositivo de fixação da peça e o acabamento superficial requerido (é preferível usar velocidades de avanço mais baixas, e simultaneamente, aumentar o número de dentes para um determinado avanço por volta). A vida da fresa aumenta proporcionalmente com o número de dentes, nas mesmas condições de trabalho. Segundo STEMMER [1992], um grande fabricante americano adota a seguinte fórmula para o número de dentes de fresas:

$$z = 2,76 \times D - 5,8 \quad (0.10)$$

A relação que se tem verificado como satisfatória (diminuindo o número de dentes) para cortes profundos ou cavacos longos, ou se a força for excessiva, causando deflexões e/ou vibrações é a seguinte:

$$z = 0,08D + 8 \quad (0.11)$$

Tabela 6 - Aplicação das fresas em função do número de dentes (DINIZ – 2000)

Tipo de Fresa	Aplicação
Passo Grande	Desbaste e semi-acabamento de aço ou onde há tendência à vibração
Passo Pequeno	Corte de ferro fundido e desbaste leve e acabamento de aço
Passo Extra-Pequeno	Corte interrompido de ferro fundido e liga de titânio, acabamento de aço

B. POTÊNCIA DE CORTE

Segundo Diniz [2000], a potência de corte para fresamento varia em função do número de dentes no corte e da espessura do cavaco (h_m). Por isso, na maioria das vezes, a potência é calculada através da potência média, principalmente quando o número de dentes simultaneamente no corte é alto e quando a máquina ferramenta se utiliza de um volante (disco preso ao eixo-árvore que armazena energia, para utilizar nos momentos em que o corte requer mais ou menos potência). Assim, tanto no fresamento tangencial como no fresamento frontal, a potência média (ver equação 3.16) de corte é dimensionada através do uso de um valor médio de K_s (K_{s_m} , ver equação 3.15), calculado utilizando-se um valor médio da espessura do cavaco, que é calculada da seguinte forma:

$$h_m = \frac{1}{\varphi_2 - \varphi_1} \times f_z \times \text{sen } \chi_r \times (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \quad (0.12)$$

onde: φ_2 = ângulo entre o ponto de saída (ou entrada no fresamento concordante) do dente e a vertical

φ_1 = ângulo entre o ponto de entrada (ou saída no fresamento concordante) do dente e a vertical

φ_0 = ângulo de contato entre o dente e a peça

Esta equação pode ser utilizada neste formato para o fresamento tangencial. Já para o fresamento frontal (ver equação 3.7) faz-se algumas simplificações ($\varphi_1 = 0$; $\varphi_2 = \varphi_0$ e $\chi_r = 90^\circ$).

$$h_m = \frac{1}{\varphi_0} \times (1 - \cos \varphi_0) \times f_z = \frac{1}{\varphi_0} \times \left(\frac{2 \times a_e}{D} \right) \times \frac{v_f}{z \times n} \quad (0.13)$$

Com o valor de h_m pode-se entrar na Tabela 7Tabela e retirar o valor de K_m para utilizá-lo na seguinte equação:

$$K_{s_m} = K_{s_1} \times h_m^{-1} \quad (0.14)$$

E com valor médio da pressão específica finalmente podemos calcular a potência de corte através da equação abaixo.

$$P_c = \frac{K_{s_m} \times a_e \times a_p \times v_f}{60 \times 10^6} \quad [\text{KW}] \quad (0.15)$$

Tabela 7 - Valores de Ks_1 e $-z$ para o fresamento

Material da peça	Ks_1 (N/mm ²)	$-z$	Dureza Brinell (HB)
Aços ao Carbono			
- C = 0,10 a 0,25%	1500	0,25	125
- C = 0,25 a 0,55%	1600	0,25	150
- C = 0,55 a 0,80%	1700	0,25	170
Aços baixa liga (elementos de liga < 5%)	1700	0,25	175
Aços alta liga (elementos de liga > 5%)	1950	0,25	200
Aços inoxidáveis			
- Austeníticos	2000	0,21	200
- Ferríticos/ Martensítico	1800	0,21	200
Ferros fundidos cinzentos			
- Alta resistência a tração	1100	0,28	245
- Baixa resistência a tração	900	0,28	180

Para o dimensionamento do motor da máquina-ferramenta da fresadora pode-se utilizar o mesmo rendimento e a mesma formulação utilizada para torneamento.

Segundo HALEVI e WEILL [1995], quando a potência de corte requerida for maior que a potência disponível, podemos seguir os seguintes passos para reduzir as forças de corte:

- Mudar o ângulo de saída (γ). Isto pode reduzir aproximadamente 80% do valor da força de corte sem afetar no tempo de usinagem;
- Reduzir a v_c em 80% de seu valor inicial;
- Se a potência não tiver diminuído, divida a profundidade de corte (a_p) em dois ou mais passes. No entanto, dividindo o a_p o mesmo efeito vai ser sentido nas forças de corte e no tempo de usinagem.

FURAÇÃO

É o processo de usinagem que tem por objetivo a geração de furos, na maioria das vezes cilíndricos, em uma peça, através do movimento relativo de rotação entre a peça e a ferramenta, denominada broca. A continuidade da retirada de material é garantida pelo movimento relativo de avanço entre a peça e a ferramenta, que ocorre segundo uma trajetória coincidente ou paralela ao eixo longitudinal da ferramenta (FERRARESI - 1977).

A maioria das peças processadas nos diversos tipos de indústria tem pelo menos um furo e, é por isso que esta operação é uma das mais utilizadas na indústria manufatureira. Para obtenção de furos cilíndricos ou cônicos, a furação é o processo mais econômico de ser utilizado na maior parte das operações realizadas e a aplicação de outros processos de usinagem só se

justificam no caso da operação apresentar características que não podem ser atendidas pelo processo convencional de furação. Quanto às características a furação pode ser classificada em:

- **Furação em Cheio:** é o processo usado para se obter um furo cilíndrico em uma peça, com a remoção de todo o material existente na proporção do volume final do furo (ver Figura 5 Erro! A origem da referência não foi encontrada. - a). Se o furo for muito profundo, costuma-se usar a repetição de entradas e saídas da broca na peça, mais conhecida como furação pica-pau.
- **Escareamento:** este processo é usado para se obter um furo cilíndrico em uma peça pré-furada, ou seja, aumenta-se o furo já existente (ver Figura 5 - b).
- **Furação Escalonada:** este processo é usado para se obter dois ou mais diâmetros simultaneamente (ver Figura 5 - c).
- **Furação de Centros:** este processo efetua um pequeno furo cônico, que têm como objetivo facilitar a fixação da peça para processos posteriores (geralmente torneamento) e servir como guia para o centro de outra furação (ver Figura 5 - d).
- **Trepanação:** neste processo apenas uma parte do material é removida. Um núcleo permanece maciço após a operação, ou o núcleo é removido gerando um furo (ver Figura 5 - e). Este tipo de operação é usado somente para furos passantes.

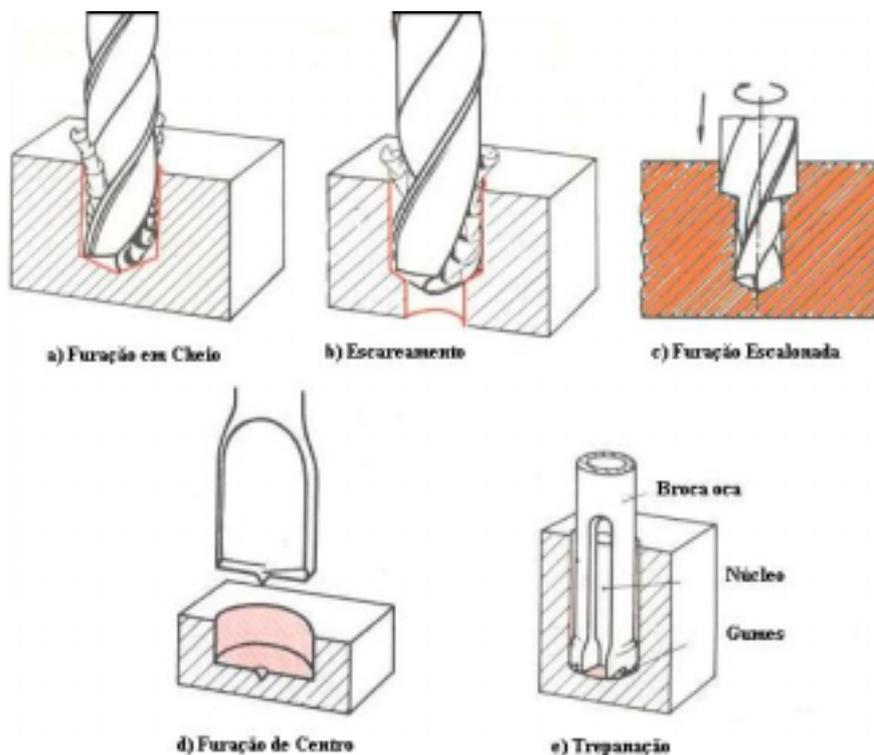


Figura 5 – Tipos de Furação

A. FERRAMENTA

As brocas são as ferramentas usadas para a abertura de furos, que podem ser de vários tipos, como: brocas chatas, brocas canhão (para furos profundos), brocas ocas (para trepanação), brocas helicoidais, etc. Dentre essas as mais usadas são as brocas helicoidais e a geometria das brocas helicoidais é definida pela norma ABNT NBR 6176.

A escolha da broca mais adequada para uma determinada operação depende de uma série de fatores. Sendo que os principais a serem considerados no processo de seleção são (METALS HANDBOOK - 1989):

- Composição e dureza do material da peça;
- Rigidez do mandril;
- Dimensões do furo a ser executado;
- Máquina-ferramenta utilizada;
- Presença ou não de pré-furo;
- Tolerância requerida para o furo;
- Número de operações;
- Custo;

B. PARÂMETROS DE CORTE

Segundo CASSANINGA [2000], na prática, utilizam-se as mesmas fórmulas usadas para fresamento, substituindo apenas o número de facas (z), pela quantidade de arestas de corte da broca, normalmente duas, e o diâmetro da fresa pelo diâmetro da broca. Embora as fórmulas mais usadas sejam as do fresamento, os esforços de potência são bastante diferentes devido à condição de usinagem ser completamente diferente entre elas.

- **Velocidade de corte:** A v_c é sempre referida ao diâmetro da broca e é medida em (m/min), variando ao longo da aresta de corte, sendo nula no centro da ferramenta. Quando as condições de usinagem tornam-se difíceis, as velocidades de corte recomendadas (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.** 8) para brocas são aproximadamente metade das recomendadas para operações de desbaste em torneamento. Se a velocidade for muito baixa pode gerar a formação de aresta postiça de corte (APC) numa porção maior que o diâmetro da broca.
- **Avanços:** Segundo STEMMER [1992], o avanço (Equação (0.16) depende do tipo de material da peça e do diâmetro da broca. Na Tabela 8**Erro! A origem da referência não foi encontrada.** encontram-se valores recomendados de avanço para os diversos tipos de material.

$$f = a_f \times Z \quad (0.16)$$

onde: Z = quantidade de arestas de corte

a_f = avanço por aresta de corte em milímetros (mm/aresta)

Tabela 8 - Velocidade de Corte e Avanço recomendados para furação (SANDVIK – 2001)

ISO	VALOR INICIAL (faixa)				
	v_c	f_n			
	$\phi 3 - 20$	$D_c 3 - 6$	$D_c 6,01-10$	$D_c 10,01-14$	$D_c 14,01-20$
P	85 (60-110)	0,13 (0,10-0,17)	0,16 (0,13-0,2)	0,18 (0,15-0,22)	0,22 (0,18-0,28)
M	45 (35-60)	0,10 (0,08-0,14)	0,14 (0,1-0,22)	0,18 (0,14-0,28)	0,2 (0,16-0,3)
K	75 (60-90)	0,20 (0,15-0,25)	0,25 (0,2-0,3)	0,35 (0,25-0,5)	0,35 (0,25-0,5)

- **Profundidade de corte:** Em furação o a_p é o diâmetro da broca. Este processo apresenta algumas condições desfavoráveis, comparadas a processos como o torneamento e o fresamento, que são: formação oculta do cavaco (preferencialmente gerar cavacos helicoidais ou em lasca para facilitar o seu escoamento), espaço para remoção do cavaco é restrito ao canal da broca (recomenda-se processo que retire freqüentemente a broca de dentro do furo ou insuflamento de fluido de corte sob pressão no fundo do furo), atrito entre a ferramenta, o cavaco e a peça podem ser consideravelmente altos (recomenda-se uso de fluido de corte), fluxo de calor para as superfícies geradas é insatisfatório.

C. FORÇAS E POTÊNCIA DE CORTE

Durante o processo de furação uma broca helicoidal é normalmente submetida a dois esforços, um de torção devido à rotação da mesma e outro de compressão ocasionado pelo avanço da broca. Segundo vários autores (DINIZ – 2000, STEMMER – 1992), verificam-se as seguintes resistências à penetração da broca, devido respectivamente ao:

- Corte do material nas duas arestas principais de corte;
- Corte e esmagamento do material pelo gume transversal;
- Atrito das guias com a parede do furo e entre a superfície de saída da broca e do cavaco.

Conforme Diniz (2000), o percentual de cada uma dessas grandezas, oscila entre os seguintes valores:

Tabela 9 – Percentuais de influência destas grandezas no M_t e F_t

	Arestas principais	Aresta transversal	Atritros
Momento torsor (M_t)	77 – 90%	3 – 10%	3 – 13%
Força de avanço (F_t)	39 – 59%	40 – 58%	2 – 15%

Entre muitas formulações de forças, momentos e potências de corte KIENZLE oferece resultados mais precisos, segundo STEMMER [1992], pois levam em consideração a variação de K_c com a espessura do cavaco (h):

$$F_c = K_{c1.1} \times b \times h^{1-mc} \quad (0.17)$$

$K_{c1.1}$ = pressão específica de corte para um cavaco com $b = 1$ e $h = 1$ (1mm²). [N/mm²]

$$b = \frac{D}{2 \sin \sigma / 2} = \text{largura do cavaco (mm)} \quad (0.18)$$

$$h = \frac{f}{2} \times \sin \sigma / 2 = \text{espessura do cavaco (mm)} \quad (0.19)$$

Substituindo (3.20) e (3.21) em (3.19), temos:

$$F_c = K_{c1.1} \times \frac{D}{2 \times \sin \sigma / 2} \times \left(\frac{f}{2} \times \sin \sigma / 2 \right)^{1-mc} = \text{Força por gume de corte para furação em cheio. [N]} \quad (0.20)$$

$$F_c = K_{c1.1} \times \frac{D-d}{2 \times \sin \sigma / 2} \times \left(\frac{f}{2} \times \sin \sigma / 2 \right)^{1-mc} = \text{Força por gume de corte com furo prévio, sendo que } d = \text{ao diâmetro do pré-furo (mm). [N]} \quad (0.21)$$

Os valores de $K_{c1.1}$ e mc podem ser encontrados em tabelas na bibliografia.

O momento torsor total pode ser calculado pela fórmula abaixo.

$$M_t = \frac{F_c \times D}{2000} \text{ [Nm]} - \text{Para furação em cheio.} \quad (0.22)$$

$$M_t = \frac{F_c \times (D+d)}{2000} \text{ [Nm]} - \text{Para furação com pré-furo.} \quad (0.23)$$

Conforme NORMANN [1989], para brocas helicoidais, o momento torsor máximo permissível, para evitar sua quebra é calculado aproximadamente por:

$$M_{t \max} = 0,04 \times D^{2,8} \text{ [Nm]} \quad (0.24)$$

A potência de corte é calculada da mesma maneira tanto para furação em cheio, quanto para com pré-furo, pela seguinte fórmula:

$$P_c = \frac{M_t \times 2 \times \pi \times n}{60000} = \frac{M_t \times n}{9549} \text{ [KW]} \text{ ou } P_c = \frac{M_t \times n}{7025} \text{ [CV]} \quad (0.25)$$

A potência de acionamento do motor (P_m) é calculada dividindo a potência de corte pelo rendimento da máquina ($\eta = 0,75$ a $0,9$).

CUSTOS DE PRODUÇÃO E USINAGEM

O custo de um lote de peças depende essencialmente do **tempo** necessário à execução do mesmo. No que se refere a usinagem, o tempo de execução depende da usinabilidade do material e de todos os fatores que a afetam. E este tempo pode ser subdividido em diversos segmentos, como: tempo global, tempo de preparação básico que é o tempo necessário para execução de todos os trabalhos indispensáveis para o início da tarefa, tempo de preparação distribuído da tarefa que é proporcionado em razão de fatores ocasionais (esclarecimento de dúvidas, troca de material defeituoso), tempo principal que é o tempo em que ocorre efetiva remoção de material, tempo secundário que é gasto para realização de todos os trabalhos acessórios que se repetem regularmente para cada peça (transporte, ligar a máquina, aproximar ferramenta), tempo distribuído de execução que é dispendido na fase de execução do lote encomendado (descanso, reafiação, re-usinagens, eliminação de falhas) (STEMMER-1989).

Para que o processo seja otimizado reduzindo o tempo global de execução do lote, deve-se levar em consideração cada parcela de tempo reduzindo-as individualmente. Para minimizar o tempo de preparação deve-se elaborar um planejamento sistemático da produção, com instruções distintas e precisas, desenhos bem dimensionados, melhor aproveitamento da capacidade de trabalho para os equipamentos existentes, manutenção adequada da máquina, etc. Nesta etapa os sistemas CAPP se mostram muito benéficos, pois eles diminuem o tempo de preparação do plano de processo conseqüentemente diminui drasticamente o tempo de preparação básico. Para minimizar o tempo secundário de execução deve-se elaborar um layout da produção que proporcione um melhor aproveitamento de espaço, quando possível utilizar alimentação automática, comando programado ou comando numérico. Para minimizar o tempo principal de execução, que depende dos parâmetros de corte, e dentre eles, principalmente da velocidade de corte que influencia diretamente na vida da ferramenta. Quanto maior a velocidade de corte menor a vida da ferramenta com um conseqüente aumento do tempo distribuído. Mas existe um valor intermediário de velocidade, onde se tem o menor tempo principal de execução. Neste ponto a velocidade de corte é chamada de velocidade de máxima produção. Da mesma forma que existe um valor de velocidade de corte onde se tem o menor custo de produção. Neste ponto, a velocidade de corte é chamada de mínimo custo. Neste enfoque o planejamento de processo automatizado auxilia com planos de processos padronizados que podem ser definidos para os respectivos critérios de mínimo custo ou menor tempo de execução para operações de usinagem.

ANEXO II – OUTRAS OPERAÇÕES REALIZADAS NA PEÇA EXEMPLO

Operação Rasgar

N123G2-0300-0003-GM

Pastilhas para rasgo externo de aços

Ranhuar

Código Da Ferram:	N123G2-0300-0003-GM
Tamanho Do Assento:	6
Ang:	7
Ra:	0,3
DimAr:	18,2
DimL1:	20
DimLx:	3
Avanço:	MÉDIO (0,05-0,15) 0,08
Vc:	120 (225-80)
GrdadeEstoque:	2

Diagramas técnicos mostrando as dimensões l_1 , a_r , r_c e o ângulo 7° da pastilha e do trabalho.

Tolerâncias, mm

$l_1 = \pm$	0,10
$l_a = +$	0,10
	0
$r_c = \pm$	0,10

Digite o avanço escolhido:
 Digite o Vc escolhida:
 Digite a prof. de corte:

Selecione a pastilha e digite o código:

Abre próximo formulário

Buttons: Add, Update, Delete, Refresh, Close

Record 1

Módulo de escolha da pastilha para terceira operação

Porta-ferramenta para pastilha escolhida

R/LF123G10-1616B

R/LF123G10-2020B

R/LF123G10-2525B

R/LF123G20-2525B

R/LF123G20-2020B

R/LF123G20-1616B

Porta-ferramenta de pastilhas para torneamento de rasgo externo de aços

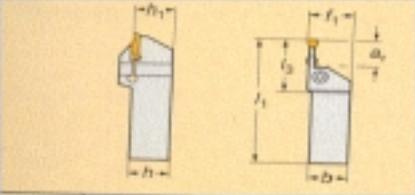
PORTA FERRAMENTA

CódigoDaFerram: RALF123G20-16168
 TamanhoDoAssento: 8
 Diânr: 20
 Diânr: 16
 DiânrT1: 17
 DiânrH: 16
 DiânrH1: 16
 DiânrL1: 125
 DiânrL3: 47
 QtdadeEstoque: 2

Início Anterior Próximo Último

Escolha uma das duas opções: M = fixação por mola, ou, P = fixação furto:

M



Selecione a ferramenta e digite o código:
 RALF123G20-16168

Abra próximo formulário

Formulário de escolha do porta-ferramentas para terceira operação

Operação Cilindrar
CNMG090308-PF
CNMG120408-PF
DNMG110408-PF
DNMG150608-PF
SNMG120408-PF
TNMG160404-PF
TNMG160408-PF
TNMG220408-PF
WNMG060408-PF

Pastilhas para torneamento externo e acabamento de aços

Porta-ferramenta para pastilhas de torneamento externo de aços

Porta-ferramentas
PCBNR/L2525M12
PCLNR/L1616H12-M
PCLNR/L2525M12
PCLNR/L3225P12
PCLNR/LV2020K12

Operação Cortar
N123F2-0250-0001-CF
N123G2-0300-00001-CF
N123G2-0300-00002-CM
N123G2-0300-00003-CR

Pastilhas para torneamento externo e usinagem média de aços

Corte

CódigoDaFerro: N123G2-0300-00002-CM
 TamanhoDoAssento: 6
 Dim.La: 3
 Ang: 0
 Re: 0,20
 DimAc: 18,5
 Dim.L1: 20
 Avanço: MÉDIO (0,04 - 0,25) 0,13
 Vc: 120(205-90)
 Tipo: TUBO
 QtdadeEstoque: 2

Tolerâncias, mm
 $I_1 = \pm 0,10$
 $I_2 = + 0,10$
 0
 $r_c = \pm 0,10$

Digite o avanço escolhido: 0,13
 Digite o Vc escolhida: 120
 Digite a prof. de corte: 4

Selecione a pastilha e digite o código:
 N123G2-0300-00002-CM

Abra próximo formulário

Add Update Delete Refresh Close

Record: 3

Módulo de escolha da pastilha para quinta operação

Porta-ferramenta de pastilhas para torneamento de rasgo externo de aços

Porta-ferramentas
R/LF123G10-1616B
R/LF123G10-2020B
R/LF123G10-2525B
R/LF123G20-2525B
R/LF123G20-2020B
R/LF123G20-1616B

PORTA FERRAMENTA

CódigoDaFerram: RALF123020-16168
 TamanhoDoAssento: 0
 DimA: 20
 DimB: 16
 DimF1: 17
 DimH: 16
 DimH1: 16
 DimL1: 125
 DimL3: 47
 QuantidadeEstoque: 2

Início Anterior Próximo Último

Escolha uma das duas opções: M = fixação por moleta, ou, P = fixação furo:
 M P

Selecione a ferramenta e digite o código:
 RALF123020-16168

Abra próximo formulário

Formulário de escolha do porta-ferramentas para quinta operação

Operação Furar
R415.5-18800-30-8CO
R415.5-1900-30-8CO
R415.5-1980-30-8CO
R415.5-2000-30-8CO

Ferramenta para furação (Broca)

Escolha a Broca

Codi aFerram: R415.5-1980-30-8CO
 DiamDaBroca: 19,0
 DMin: 20
 Macho: 22
 Refrigeração: E
 QuantidadeEstoque: 2
 DimL2: 120
 DimL4: 50
 DimL6: 79

Refrigeração externa Refrigeração interna

Início Anterior Próximo Último

Digite o diâmetro do furo: 20
 Digite a profundidade do furo: 25
 Furação em cheio? Sim Não
 Digite o diâmetro do "pré-furo": 0

Selecione a ferramenta e digite o código:
 R415.5-1980-30-8CO

Abra próximo formulário

Formulário de escolha da ferramenta para última operação