

CAROLINA SAYAKA UMETSU

EDUARDO MIYAZAWA

PLANEJAMENTO DE PROCESSO

10/0
03/03
15 de 3/01

Trabalho apresentado com parte e
requisito da disciplina PMC-581 Projeto
Mecânico II

Engenharia Mecânica – Projeto e
Fabricação

Orientador:

Prof. Dr. Edson Gomes

São Paulo

2001

RESUMO

O presente trabalho consiste no estudo do planejamento de processo, onde são analisados os métodos para o desenvolvimento do mesmo. Além do estudo é feita a implementação de tabelas retiradas do *Machining Data Handbook* para o manuseio destas com o auxílio do gerenciador de tabela *Access*. Por fim é apresentado o plano de processo completamente desenvolvido, seguindo-se a metodologia estudada, e os parâmetros de usinagem que compõe tal plano de processo.

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Objetivo	2
3	Planejamento de Processos dentro de um Ciclo de Manufatura	3
4	Projeto Racional e um Plano de Processos	7
4.1	Análise Preliminar	7
4.2	Seleção dos Processos de Usinagem, Ferramentas e Condições de Usinagem	7
4.3	Agrupamento de Processos em Conjuntos	8
4.4	Seleção de Ferramentas	9
4.5	Sequenciamento de Operações	9
4.6	Seleção dos Dispositivos de Fixação e Referências de Dados Dimensionais	9
4.7	Preparação do Arquivo de Planejamento de Processo	10
5	CAPP – Computer Aided Process Planning	10
5.1	Primeiro Estágio – Informatização do Gerenciador de Arquivos	13
5.2	Segundo Estágio- Enfoque Variante: Requisição de Dados	14
5.3	Terceiro Estágio – Enfoque Variante: Acrescentamento	14
5.3.1	Árvore de decisão	14
5.3.2	Tabela de decisão	15
5.3.3	Sistemas especialistas	15
5.4	Quarto Estágio – Enfoque Gerador	15
6	Plano Totalmente Desenvolvido.	15
6.1	Metodologia	17
7	Plano de Processo para um desenho de fabricação	17
7.1	Definição das Superfícies a serem usinadas	22
7.2	Exame Global da Peça	22
7.3	Operações elementares de usinagem	23
7.4	Definição de Superfície Associadas e Escolha de Etapas de Trabalho e Ferramentas de Usinagem	24
7.5	Determinação das Relações de Anterioridade	26
7.6	Determinação da Ordem de Precedência das Operações	27
7.7	Seleção da Referência dos Dados Dimensionais	28
7.8	Plano de Processo Completo	28
8	Implementação no Access	30
9	Definição das condições de Usinagem	32
10	Conclusão	39
11	Anexo I: tabelas	45
11.1	Tabela 1: Classificação dos processos básicos por grupos de forma de peças	47

11.2	Tabela 2: Faixa de rugosidade superficial para os processos básicos.	47
11.3	Tabela 3: Capacidade de tolerância geométrica de processos básicos	48
11.4	Tabela 4: Conversão entre as diferentes escalas de rugosidade superficial	48
11.5	Fórmulas para cálculo das condições de usinagem	49
11.6	Unidade de potência	50
12	Anexo II: Desenhos	51
13	Anexo III: Relatórios do access	54
14	Anexo IV: folha de operações	74
15	Referências Bibliográficas	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Lugar do planejamento de processo dentro do ciclo de manufatura	4
Figura 2 - Etapas do planejamento de processo	6
Figura 3 - Exemplo de um plano de processo	11
Figura 4 - Desenho do exemplo	11
Figura 5 - Tabela de anterioridade	18
Figura 6 - Matriz de anterioridade	19
Figura 7 - Dispositivo a ser implementado	22
Figura 8 - Desenho de fabricação do dispositivo	23
Figura 9 - Tabela de operações	25
Figura 10 - Tabela de anterioridade	27
Figura 11 - Matriz de anterioridade	28
Figura 12 - Superfícies de referências	29
Figura 13 - Superfícies de referências	29
Figura 14 - Plano de processo do dispositivo	31
Figura 15 – Relacionamentos	38

1 INTRODUÇÃO

O planejamento de processos descreve por completo todo o processo de transformação da matéria prima bruta em um produto ou peça acabada. O detalhamento desta transformação, porém não é uma tarefa fácil de se realizar, pois requer um profundo conhecimento, por parte do planejado de processo, dos processos de manufatura, assim como o conhecimento da capacidade de produção da planta, sem contar a necessidade de experiência prévia do planejador de processo.

A experiência do planejador resulta da vivência prática no chão de fábrica durante a produção de um produto, quando um processo é definido e correções são incorporadas. Também pode ser adquirida a partir do questionamento de peças refugadas ou processos problemáticos. Um processo sem problemas pode levar a pouca experiência ou experiência errada do planejador, pois não desenvolve a análise crítica. Um planejador experiente normalmente toma decisões com base em um conjunto de dados, sem dividir o problema em parâmetros individuais, pois não há tempo suficiente para a análise individual de cada parâmetro. O resultado é uma solução empírica, sem nenhuma base racional. Portanto, é importante que o planejador entenda o processo de manufatura e o efeito de cada parâmetro dentro de um plano de processos.

O resultado final de um planejamento de processo é a folha de processo da peça ou produto, onde todos os parâmetros para a produção da peça estão detalhados. A partir dela, da folha de processos, é possível a fabricação (manufatura) da peça. O plano de processo para uma peça ou produto, para uma determinada capacidade de uma fábrica, muitas vezes não é único sendo necessária a escolha do melhor plano em termos de custo e tempo de produção.

Pelas razões acima descritas pode-se concluir que o planejamento de processo é um trabalho complexo e muitas vezes demorado.

2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo a melhor compreensão do planejamento de processos. Para tal é feito uma análise dos parâmetros do planejamento de processo. A partir de tal análise é possível compreender as etapas do planeamento que podem ser implementadas com o auxílio de uma base de dados informatizada visando a otimização do planejamento de processos. Ao planejamento de processo com a utilização de um banco de dados informatizado é dado o nome de PPAC (Planejamento de Processos Auxiliada por Computador) ou CAPP (Computer Aided Process Planning).

3 PLANEJAMENTO DE PROCESSOS DENTRO DE UM CICLO DE MANUFATURA

A manufatura de um produto dentro de uma fábrica é dividido em várias atividades, num arranjo serial. Normalmente, cada atividade denota um estágio diferente do processo, cada estágio representando uma disciplina e treinos únicos. A entrada para cada atividade é a saída da atividade anterior. Cada atividade otimiza as suas decisões de acordo com os seus próprios critérios e essas decisões são os produtos da atividades. Assim, o processo de manufatura é uma cadeia de atividades , que são:

- Projeto do produto;
- Planejamento de processo;
- Métodos, projeto de dispositivos e produção;
- Gerenciamento da produção:
 - Planejamento mestre da produção
 - Planejamento das requisições de material
 - Controle da capacidade de planejamento, aquisição e estocagem
 - Entrega
- Manufatura e controle do chão de fábrica
- Planejamento e controle de qualidade
- Manutenção

A figura abaixo mostra a cadeia de atividades de um ciclo de manufatura e o lugar do planejamento de processos dentro deste ciclo.

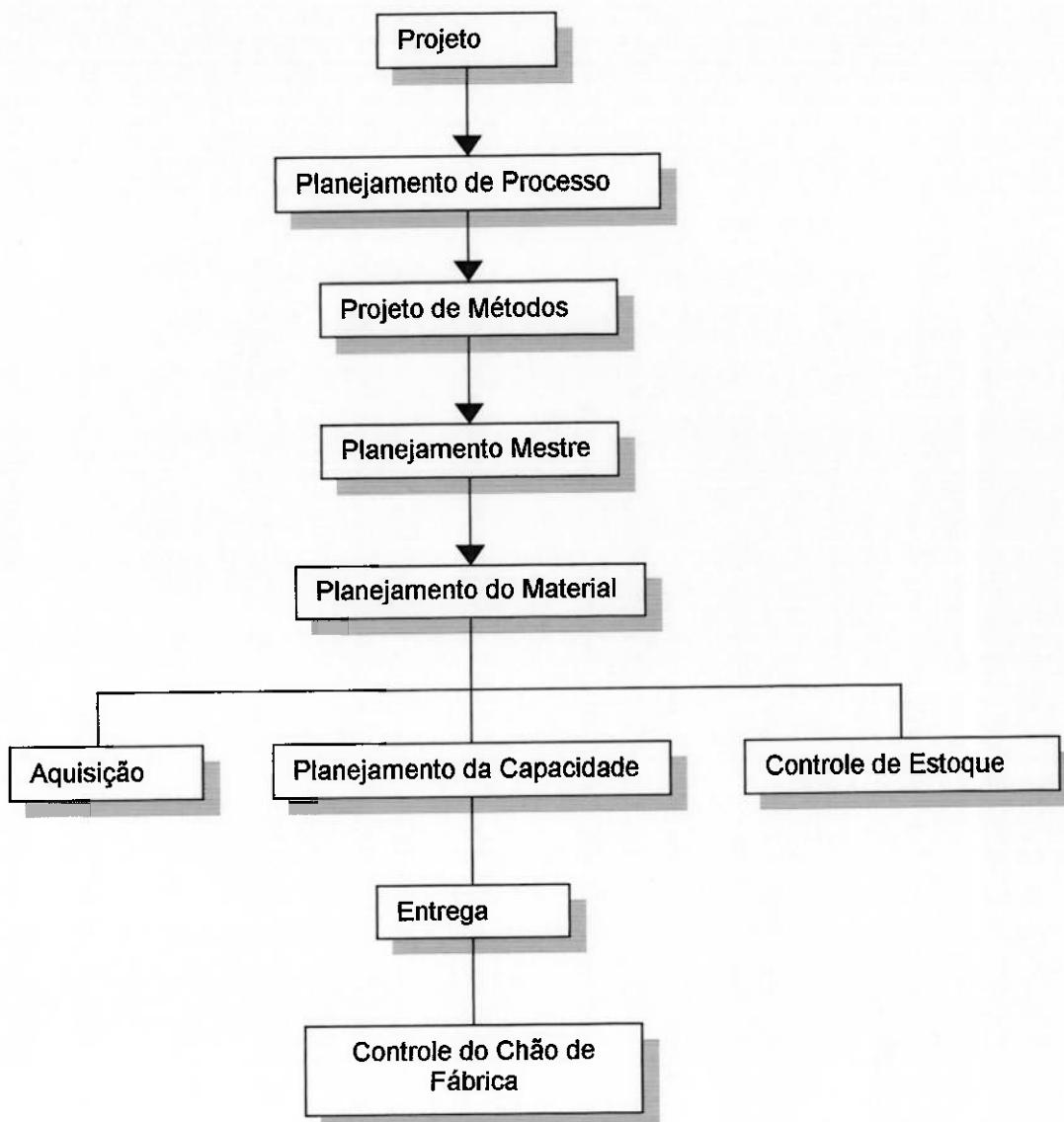


Figura 1. Lugar do planejamento de processo dentro do ciclo de manufatura

A metodologia usada para se definir um planejamento de processos é dividí-lo em seqüência de atividades. Tais atividades são:

- interpretação das especificações do desenho de projeto de uma peça (o desenho deve conter dimensões, tolerâncias, rugosidade, tipo de material, tamanho da peça bruta, número de peças no lote)
- seleção dos processos e ferramentas que podem produzir a peça respeitando as especificações
- determinação das tolerâncias de produção e das dimensão de colocação que asseguram a execução das tolerâncias de projeto (escolher as dimensões de

produção por critérios de comodidade e capacidade dos sistemas de manufatura)

- seleção da superfícies de trabalho iniciais e as superfícies de referências para a execução precisa das operações de produção; simultaneamente deve-se escolher os dispositivos de fixação e verificação da estabilidade da peça
- sequenciamento das operações levando em conta a prioridade por restrições de precisão
- agrupamento das operações elementares/principais por máquinas para diminuir o tempo de operação, respeitando os procedimento para a tolerância
- seleção das máquinas para executar as operações de manufatura (deve-se levar em conta o número de peças a ser produzida)
- seleção dos métodos e instrumentos de inspeção para garantir a qualidade da peça (verificação das tolerâncias e rugosidade)
- determinação das condições de processo para cada operação, com isso pode-se calcular o tempo e custo e com isso pode-se realizar a avaliação econômica
- preparação da folha de processos em forma de arquivo de plano de processos que será encaminhado ao departamento de manufatura

As atividades acima descritas podem ser estruturadas da seguinte forma:

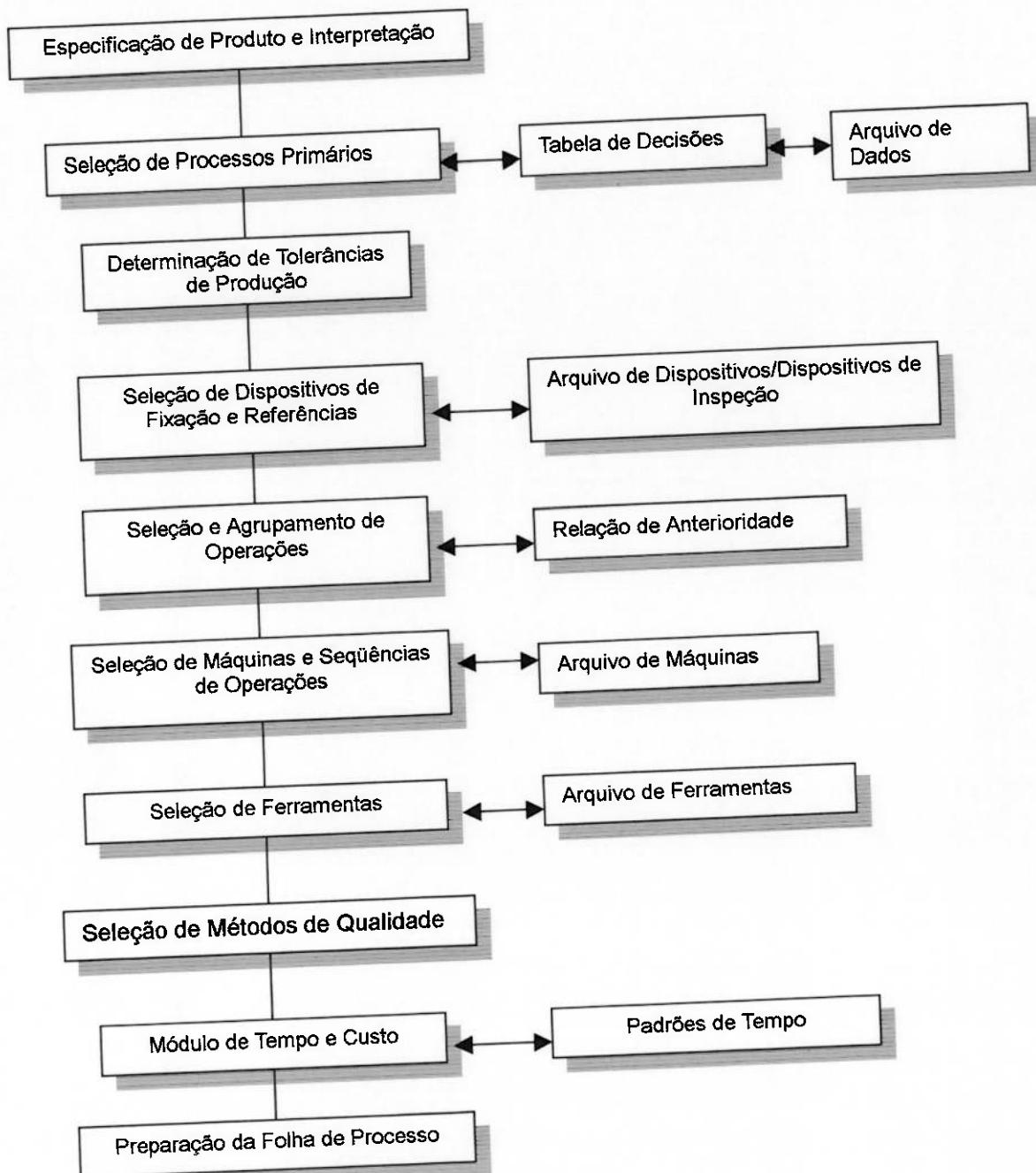


Figura 2. Etapas do planejamento de processo

Pode-se observar pela figura acima que várias etapas do planejamento de processos podem ser otimizadas com a ajuda de um banco de dados informatizados.

4 PROJETO RACIONAL E UM PLANO DE PROCESSOS

Para se ter um idéia global sobre a preparação de um plano de processo é necessário uma análise preliminar do desenho da peça ou produto que se deseja manufaturar. Neste análise preliminar não é necessário entrar em detalhes sobre cada etapa, pois este não é o objetivo da análise. A análise mais profunda é realizada ao longo do detalhamento do planejamento de processo.

4.1 Análise Preliminar

Analisando o desenho de fabricação de uma peça sob o ponto de vista geométrico e tendo informações sobre as facilidades de produção, é possível definir os feitios do plano de processo.

Antes de começar a detalhar o plano de processo, é importante o estudo das linhas gerais da peça para se poder Ter uma idéia de como criar o plano final de processo. Para tal é necessária uma interpretação correta do desenho de fabricação da peça, que requer conhecimentos prévios de desenho técnico mecânico.

A seguir é descrita uma estratégia de como começar o planejamento de processos.

Tomando como exemplo um desenho de fabricação de uma peça qualquer onde estão detalhadas todas as dimensões e tolerâncias,

Para um melhor entendimento dos passos seguidos por um planejador de processos, é apresentada algumas definições importantes e usuais.

É chamada de tarefa, a combinação de diferentes processos executados em uma máquina operatriz. Portanto, entende-se por tarefa uma sucessão de operações, definidas como processos elementares executados por um único tipo de ferramenta, em diversos passes. Entende-se por sub-tarefa as operações executadas na mesma configuração de fixação. Ao se trocar a fixação gera-se uma nova sub-tarefa. Uma sequência inteira de operações combinados em tarefas constitui o plano de processos. Portanto, a tarefa é uma das formas de se agrupar as operações.

Uma outra forma de agrupamento é em grupos de superfícies. O grupo de

superfícies de uma peça são as superfícies que possuem uma relação funcional entre si, como por exemplo as tolerâncias de posição. O resultado deste agrupamento são as superfícies associadas. O alto grau de precisão dada em uma máquina conseguido por meio das superfícies associadas. Em alguns casos as superfícies associadas podem ser usadas na otimização do tempo entre as operações.

As informações que podem ser extraídas de um desenho de fabricação são:

- ✓ Geometria da peça
- ✓ Dimensões e suas tolerâncias
- ✓ Tolerâncias geométricas
- ✓ Rugosidade superficial
- ✓ Material e sua dureza
- ✓ Tamanho do material bruto
- ✓ Número de peças no lote

A partir de tais informações é possível definir a seqüência de operações de usinagem necessárias para a produção. Com base nas informações tem-se as linhas gerais do plano de processos.

4.2 Seleção dos Processos de Usinagem, Ferramentas e Condições de Usinagem

Uma peça é composta por diversos feitios que são produzidos por uma sucessão de diferentes tipos de usinagem. A maneira como se produz cada feitio não é único e depende da capacidade das instalações da fábrica e do número de peças no lote. A decisão de como cada feitio deve ser produzido cabe ao planejador de processos e a seleção dos processos e ferramentas são feitas de acordo com as regras encontradas em handbooks. A seleção feita nesta etapa do processo de planejamento é uma seleção prévia que pode ser mudada ao decorrer do detalhamento do plano de processos.

4.3 Agrupamento de Processos em Conjuntos

Para atender as especificações de tolerâncias de posição, é necessário agrupar as operações na mesma tarefa e em superfícies associadas de modo que a máquina e a ferramenta possam ser usados de maneira mais otimizada e para que produzam uma peça com as dimensões mais precisas. Uma sucessão de diferentes fixações e posicionamento para a execução da seqüência de operações acarretará em um acúmulo indesejado de tolerâncias.

4.4 Seleção de Ferramentas

Após o agrupamento das superfícies prossegue-se para a seleção de máquinas e ferramentas apropriadas para a execução das tarefas definidas na etapa anterior. Os principais critérios de seleção são:

- Número de ferramentas necessárias para a execução das diferentes operações
- Tamanho do lote a ser produzido, que será considerado quando do cálculo do tempo de preparação
- Precisão das operações selecionadas

4.5 Sequenciamento de Operações

As operações de usinagem definidas previamente devem ser ordenadas de acordo com as relações de precedência existentes entre elas e baseadas nas limitações técnicas e econômicas. A classificação das relações de precedência são:

- dimensões com anterioridade de referência
- tolerâncias geométricas com base em dimensões e tolerâncias anteriores
- limitações tecnológicas devido à necessidade de se executar certas seqüências de operações
- limitações econômicas que reduzem o custo de produção e o desgaste ou inutilização de ferramentas de alto custo

4.6 Seleção dos Dispositivos de Fixação e Referências de Dados Dimensionais

Depois de escolhido os grupos de operações é necessário a definição dos dispositivos de fixação para o posicionamento correto e preciso da peça no sistema de coordenadas da máquina. Além disso, a peça deve ser fixada de modo firme para que as forças externas causadas pelo corte ou pela gravidade não possam mudar a localização da peça o que levará a uma inutilização da mesma. A prioridade na escolha é para a função de posicionamento que afeta diretamente na precisão da peça gerada.

4.7 Preparação do Arquivo de Planejamento de Processo

Tendo definido toda a seqüência de operações e os dispositivos de fixação, deve-se gerar um arquivo de planejamento de processo da peça a ser produzida. Tal arquivo descreve em detalhes todas as tarefas necessárias para a produção final da peça, resumindo a seqüência de operações definidas e indicando as máquinas e ferramentas a serem utilizadas, assim como o método de posicionamento e fixação, e ferramentas para cada operação e os instrumentos de medição a serem usados.

Um exemplo de um plano de processo é dado a seguir:

Tarefa	Sub-tarefa	Op	Descrição	M/T	Posicionamento e Fixação	Inspeção
10		a	Torneamento		Centro curto	Placa #3
		a	Furação $\phi = (18 \pm 0,3) \text{ mm}$		Em (B2)	Castanhas
		b	Faceamento - Desbaste $(14,5 \pm 0,5) \text{ mm}$		(Pontos 4, 5) plano	Broca padrão
		c	Faceamento - Acabam. $(13,0 \pm 0,8) \text{ mm}$		Em (B1)	Ferramenta p/ faceamento
		d	Torneamento interno $\phi = (19,4-0,2) \text{ mm}$	Torno Semi - automático	Pontos 1, 2, 3	Fer. para cahmfro
		e	Chanframento			Enxerto em barra
		f	Alargamento de furo $\phi 20H7$		Fixação #6	Alargador $\phi 20H7$
						Acabamento Superficial padrão (visual)

Figura 3. Exemplo de um plano de processo

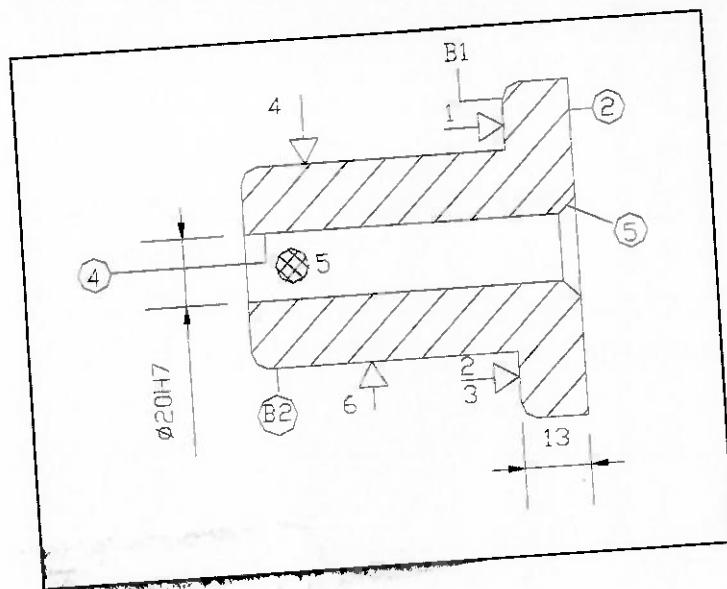


Figura 4. Desenho do exemplo

Como pode ser notado, o processo para o detalhamento do plano de processo é bastante trabalhoso, porém, várias etapas podem ser realizadas com o auxílio de um banco de dados informatizado. A utilização deste último leva ao que chamamos de Planejamento de Processo Auxiliado por Computador (PPAC) ou mais comumente conhecido como CAPP, do inglês Computer Aided Process Planning.

5 CAPP – COMPUTER AIDED PROCESS PLANNING

O desejo de aumentar a qualidade e reduzir o tempo e custo de produção, ou de aumentar a produtividade está sendo solidificado com a utilização do computador como ferramenta no planejamento de processos. Esta forma de abordar os processos de fabricação é denominado CAPP.

O CAPP vêm sendo cada vez mais difundido pois a análise completa e a otimização dos planos de processos são sempre dependentes de experiências anteriores o que torna os custos de produção mais altos , assim como podem correr erros, atrasos e uma falta de padronização de processos.

Uma análise das atividades do planejador de processos mostrou que o tempo do planejador é desperdiçado de forma que apenas 15% do tempo é gasto com decisões técnicas, outros 40% em cálculos e uso de tabelas e 45% na preparação de documentos.

O computador é uma ferramenta que pode assistir o planejador de processos no seu trabalho de organização e documentação, desta forma o tempo salvo pode ser utilizado para avaliar novas alternativas mais completas e eficientes.

A requisição de dados do processo no CAPP segue os passos do enfoque manual tradicional, onde um plano de processo para uma nova peça é criado executando-se as atividade sequenciadas na teoria de planejamento, com a diferença de que todos os bancos de dados dos processos são informatizados e as atividades em si são assistidas pelo computador. As decisões a serem tomadas dentro de um processo são baseados em árvores e tabelas que apresentam condições e parâmetros que devem ser escolhidos para serem aplicados no processo.

O CAPP ideal seria uma ferramenta que dada as características de uma peça, o sistema ofereceria o plano de processo mais adequado a ser seguido, no entanto, o CAPP se inicia em um estágio muito simples e se desenvolve até atingir uma forma próxima da ideal. Para isto, é necessário certa experiência e um banco de dados bastante rico. Este desenvolvimento gradual pode ser dividido em 4 estágios.

5.1 Primeiro Estágio – Informatização do Gerenciador de Arquivos

Neste estágio, ocorre apenas a implementação de uma base de dados no computador onde estarão arquivos de planos de processo já utilizados e tabelas que apresentam os parâmetros condicionantes para se definir um planejamento.

5.2 Segundo Estágio- Enfoque Variante: Requisição de Dados

Quando se planeja o processo de uma peça, é necessário que se faça um exame da peça e verificar se existem processos antigos semelhantes buscando uma adaptação e adequação para esta peça nova. No segundo estágio do CAPP, esta tarefa é feita buscando se soluções no banco de dados do computador de forma que existem famílias de peças que são usadas como referência para novos processos. Cada famílias possui peças com atributos suficientemente semelhantes para possuírem um método de manufatura semelhante e oferecer um plano padrão para a nova peça.

5.3 Terceiro Estágio – Enfoque Variante: Acrescentamento

Os bancos de dados que contém os parâmetros limitantes para se definir um planejamento são geralmente bastante rígidos, assim, para elaborar novos processos, o planejador deve considerar todas características da peça para tomar decisões corretas e selecionar um processo adequado.

No terceiro estágio, esta tomada de decisões pode ser auxiliada por métodos que apresentam as opções disponíveis para uma certa operação e definem o caminho do processo, no entanto, cada opção deve ser escolhida pelo planejador.

5.3.1 Árvore de decisão

Uma árvore de decisão é um gráfico com uma raiz inicial e ramos que são individualmente associados a valores. Cada ramo representa uma comando SE (condicional) e indica os caminhos possíveis para o andamento do processo a ser seguido deve ser escolhido pelo planejador.

5.3.2 Tabela de decisão

A tabela de decisão mostra resultados semelhantes à árvore de decisões, no entanto suas condições são apresentados em forma de tabelas que mostram todas as possibilidades operacionais de processo. Considerando os aspectos de tolerâncias e qualidade da peça, a tabela é utilizada para escolher as melhores operações disponíveis para aquela peça.

Geralmente, estas tabelas são bastante grandes, então podem existir mecanismos que excluem automaticamente dados que não são aplicados para certas exigências.

5.3.3 Sistemas especialistas

Um sistema especialista é um programa de computador que possui algoritmos capazes mostrar soluções de problemas comparáveis à aquelas produzidas por especialistas humanos.

Estes programas utilizam arquiteturas que definem seqüências de passos seguindo condições de controle, no entanto, quando o sistema encontra caminhos onde não existem dados disponíveis, os resultados podem ser nulos ou imprecisos.

5.4 Quarto Estágio – Enfoque Gerador

No enfoque gerador de planejamento de processos, os programas de computador possuem conhecimento específico sobre o corte de metais e uma visão geométrica da peça. Os planos de processos são gerados por algoritmos tecnológicos, lógicas de decisão e fórmulas, para executar de maneira otimizada as decisões de projeto e converte o material bruto em uma peça acabada.

Todo este conhecimento sobre manufatura deve ser armazenado no computador. Quando o sistema é acionado, um plano de processo específico para uma dada peça pode ser gerado sem o envolvimento do planejador e sem nenhuma referência de planos anteriores. Se máquinas novas forem disponibilizadas, o sistema gera automaticamente planos alternativos de processos.

Atualmente, o desenvolvimento de novas interfaces gráficas capazes de oferecer

recursos como tolerâncias, material, rugosidade, etc. está facilitando o surgimento de um CAPP ideal, no entanto, os parâmetros para se elaborar um processo depende das condições específicas de cada peça e de cada fábrica onde será feita a produção, desta forma, os CAPPs tendem a serem personalizados para cada tipo de aplicação.

6 PLANO TOTALMENTE DESENVOLVIDO.

6.1 Metodologia

A seguir é apresentado os passos para o desenvolvimento de um plano de processo completo:

1º Passo: EXAME GLOBAL DA PEÇA

Deve-se realizar uma análise geral da peça a partir do seu desenho de fabricação. A partir da análise geral da peça é possível tirar algumas informações de caráter geral como por exemplo se as dimensões são de caráter geral, se a rugosidade superficial requerida para as superfícies são rugosidades de natureza comum ou que exigem algum acabamento específico, tolerâncias dimensionais, tolerâncias geométricas.

2º Passo: DEFINIÇÃO DAS OPERAÇÕES ELEMENTARES DE USINAGEM

Deve-se agora definir as condições de usinagem para os diferentes feitos que compõem a peça.

As condições de usinagem podem ser tiradas de HANDBOOKS, ou então calculadas de acordo com os capítulos 13 e 14 da referência (1).

Constrói-se então uma tabela com os tipos de operações e as condições de usinagem.

Examinando a tabela pode-se saber quais processos serão necessários para a fabricação da peça.

Com a tabela consegue-se ter uma noção dos agrupamentos das superfícies a serem usinadas para a fabricação da peça desejada.

3º Passo: DEFINIÇÃO DE SUPERFÍCIES ASSOCIADAS E ESCOLHA DE ETAPAS DE TRABALHO E FERRAMENTAS DE USINAGEM

Escolhida as operações deve-se agrupá-las em termos de superfícies associadas.

As superfícies são agrupadas segundo as tolerâncias geométricas como coaxialidade, perpendicularidade, e pelo uso da mesma ferramenta ou processo.

Após a definição das superfícies associadas, é possível se determinar as etapas de trabalho e as ferramentas utilizadas em cada etapa de trabalho. Convém ressaltar que tais definições são preliminares e que as mesmas podem ser modificadas ao decorrer do desenvolvimento do plano de processo.

4º Passo: DETERMINAÇÃO DAS RELAÇÕES DE ANTERIORIDADE

Definidas as superfícies associadas, as etapas de trabalho e as ferramentas de usinagem, é necessário se definir um sequenciamento para as operações de usinagem.

Monta-se uma tabela (tabela de anterioridade) com as revisões dos requisitos que aparecem na especificação da peça.

As regras utilizadas para a determinação das anterioridades é a utilização de restrições de caráter geométrico (como paralelismo e perpendicularidade entre superfícies), dimensional (como a dependência de dimensão de uma superfície em relação à outra), tecnológica (como alinhamento ou furos guiados), e econômicas (como utilização de ferramentas especiais).

Exemplo de Tabela de Anterioridade

Operações	Anterioridade			
	Dimensional	Geométrica	Tecnológica	Econômica
1F	4F	2F	ortogonal	
2R				4 ½ F, economia de usinagem
2F	B1		2R	
3F	2F	1F		
4R				
4 ½ F			4R	
4F		B2	4 ½ F	2F proteção da ferramenta
		concentricidade		
5F	2F			4 ½ F, economia de usinagem

Figura 5. Tabela de anterioridade

5º Passo: DETERMINAÇÃO DA ORDEM DE PRECEDÊNCIA DAS OPERAÇÕES

Com as recomendações da tabela do passo 4, pode-se construir uma matriz de anterioridade.

Um exemplo de matriz de anterioridade é dada a seguir.

ANTES DE EXECUTAR ESTAS OPERAÇÕES	EXECUTAR ESTAS OPERAÇÕES								NÍVEIS							
	1F	2R	2F	3F	4R	4 ½ F	4F	5F	1	2	3	4	5	6	7	8
1F			X				X		2	2	2	2	1	1	1F	
2R						X			1	1	2R					
2F		X							1	1	1	2F				
3F	X	X							2	2	2	2	1	1	1	3F
4R									4R							
4 ½ F				X					1	4 ½ F						
4F			X		X		X		3	3	2	2	1	4F		
5F			X		X				2	3	1	1	5F			
									4R	4 ½ F	2R	2F	5F	4F	1F	3F

Figura 6. Matriz de anterioridade

Na parte da esquerda estão as anterioridades de acordo com a tabela de anterioridade da seção anterior. Antes de se executar 4F é necessário completar as operações 2F, 4 ½ F e 5F, portanto, marca-se com um "x" estas operação na linha correspondente à operação 4F. Procede-se dessa maneira até completar o lado esquerdo da tabela. Em seguida, deve-se preencher o lado direito da matriz. Na primeira coluna há duas anterioridades que devem ser executadas antes da superfície (1). Estas duas anterioridades estão indicadas pelo número 2 na primeira linha da primeira coluna. Para (2F) existem também duas anterioridades que está indicado pelo número 2 na segunda linha da primeira coluna. Já na superfície (3F) não há nenhuma anterioridade, então coloca-se esta superfície na última linha da matriz. Procede-se então para o nível seguinte, e desconta-se dos índices indicados no nível 1 a superfícies que está na última linha da matriz. Procede-se dessa forma até que todas as superfícies conste da última linha da matriz. A associação é verificada na última linha da matriz que define a ordem de precedência.

6º Passo: SELEÇÃO DAS SUPERFÍCIES DE POSICIONAMENTO E PONTOS DE FIXAÇÃO

Deve ser feita uma escolha quanto ao posicionamento das superfícies para a usinagem.

É utilizada a Regra do ISOESTATISMO., onde se definem seis pontos na peça a ser usinada para garantir o posicionamento único desta peça para esta operação. A necessidade da definição de seis pontos na peça vem do fato que um sólido no espaço possui seis graus de liberdade, e pela definição de seis pontos no sólido, cancela-se estes graus de liberdade. Portanto, os seis pontos a serem localizados na peça não devem estar na mesma superfície, uma vez que três pontos já definem uma superfície.

7º Passo: TRANSFERÊNCIA DE TOLERÂNCIA

Se necessário realizar a transferência de tolerância de acordo com a descrição dada no livro no capítulo específico para tal

8º Passo: EDIÇÃO FINAL DO ARQUIVO COMPLETO DO PLANO DE PROCESSO

Montar uma folha de processo de acordo com a seguinte descrição:

1ª coluna: indicação das etapas de trabalho, sub-etapas e operações;

2ª coluna: cada operação é descrita em detalhe, com a adição de dimensões de colocação da ferramenta;

3ª coluna: indicação dos tipos de máquinas operatrizes a serem usadas. Costuma-se usar abreviações que é explicada no fim da folha;

4ª coluna: as superfícies de referência são identificadas com seus localizadores e as dimensões por elas determinadas. A fixação da peça também é indicada;

5ª coluna: ferramentas, acessórios e instrumentos de inspeção são indicados numa forma abreviada, com a explicação no fim da folha;

6ª coluna: reservada para desenhos simplificados da peça relacionada às etapas

de trabalho correspondentes mostrando essencialmente as superfícies a serem processadas, as relações de limitação, os pontos de posicionamento e fixação e as dimensões de colocação, resultantes finais de transferência de tolerâncias.

As informações da folha de processo devem ser complementadas por uma folha de operação ou uma folha de instrução, fornecendo as condições de usinagem e uma estimativa dos tempos de fabricação.

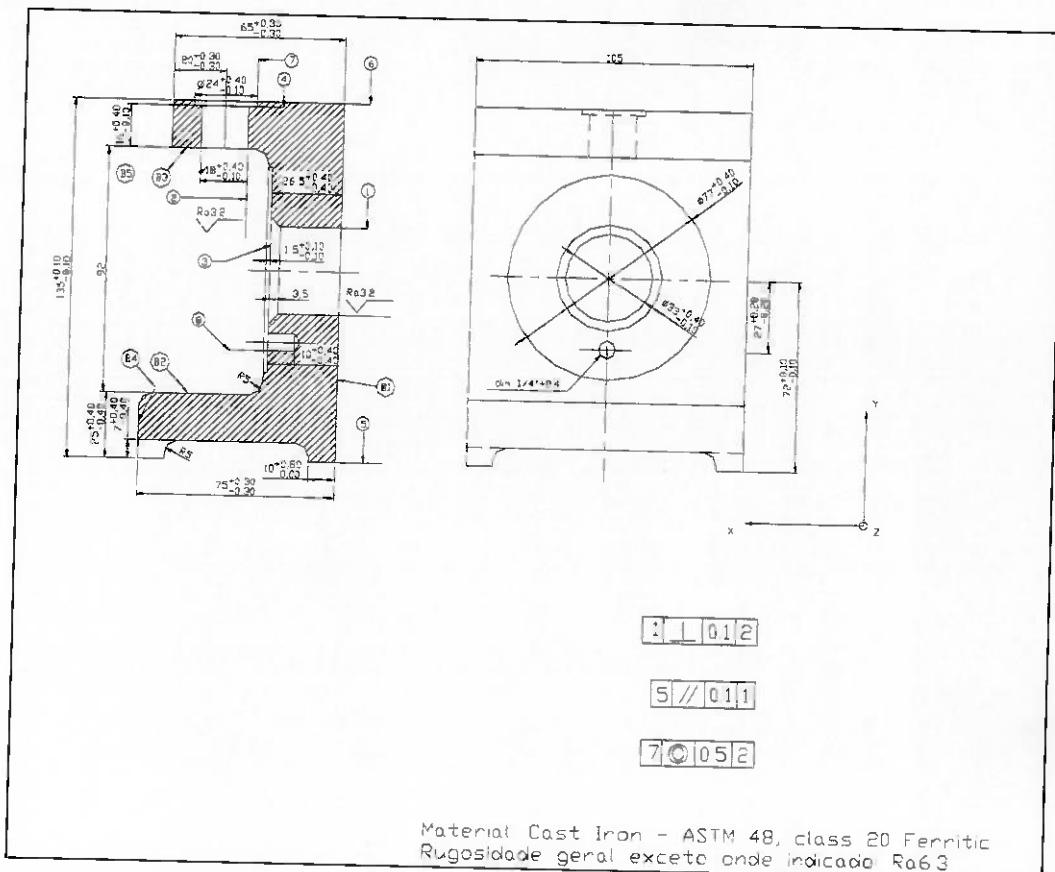


Figura 8. Desenho de fabricação do dispositivo

7.2 Exame Global da Peca

- A peça é simples e rígida, portanto sem problemas de estabilidade;
 - A peça inicial é produzida por fundição de areia, logo não é difícil de ser usinada;
 - Pela análise dos feitiços da peça é justificada o fresamento e a furação que foram selecionados preliminarmente como as operações necessárias para a fabricação desta peça;
 - A precisão requerida para dimensões e tolerâncias geométricas não são altas.

7 PLANO DE PROCESSO PARA UM DESENHO DE FABRICAÇÃO

Seguindo-se a metodologia descrita anteriormente, propõe-se o desenvolvimento de um plano de processo para o seguinte dispositivo (vide desenho de fabricação do anexo II para maiores detalhes)

Dispositivo de Furar Anéis:

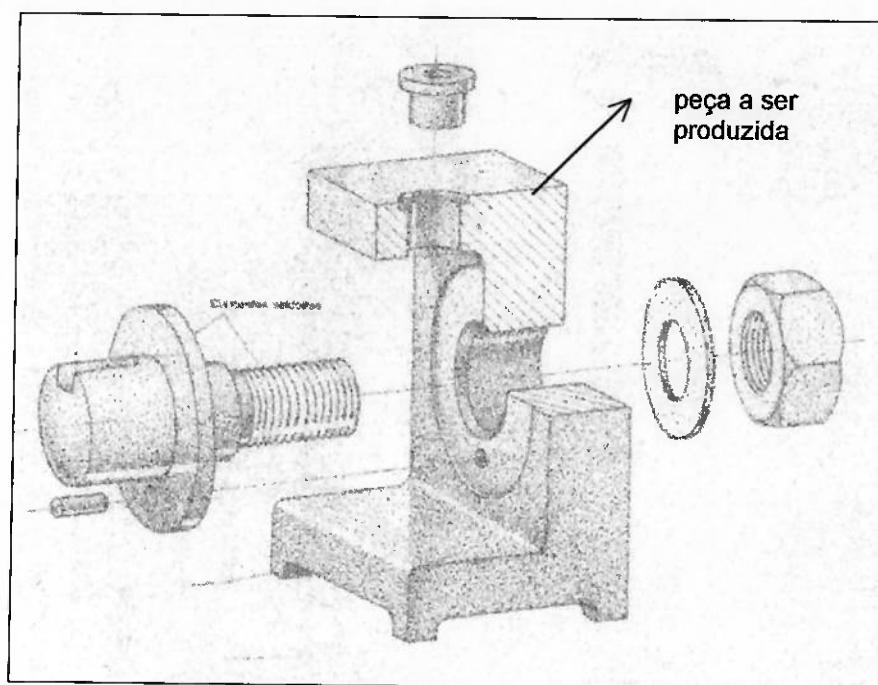


Figura 7. Dispositivo a ser implementado

Dados:

- Material: Cast Iron, ASTM 48, class 20, Ferritic;
- Fundição por areia;
- Rugosidade superficial geral $R_a = 6.3 \mu\text{m}$, exceto onde indicado;

7.1 Definição das Superfícies a serem usinadas

As superfícies a serem usinadas na peça originalmente resultante da fundição por areia estão indicadas por números, enquanto que as superfícies que irão continuar sem usinagem, chamadas de brutas, estão indicadas por uma letra e um número.

7.3 Operações elementares de usinagem

- A seleção preliminar das operações de usinagem é confirmada quando se verifica, por meio da tabela 11.2 do anexo I, que a rugosidade superficial fornecidas por estas operações está de acordo com o especificado no desenho de fabricação da peça;
- A seleção das condições de processamento é sem complicaçāo e requer um único passo de acabamento para todas as superfícies, exceto para as superfície 2 e 3, onde são necessários um passe de desbaste e um passe de acabamento;
- A seleção das condições de usinagem é feita com o auxílio de HandBooks (ver referência 2 da bibliografia);

Através da análise dos feitios desejados na peça e pela rugosidade superficial especificada, pode-se chegar à seguinte tabela de operações:

Para cada operação requer pelo menos dois passes. Um de desbaste com profundidade de corte alta, o que requer uma maior potência, e um passe de acabamento (a velocidade de corte e o avanço não podem ser mudados, a velocidade de corte é recomendada pelo fabricante da ferramenta, assim como o avanço). Porém, para facilitar o desenvolvimento estamos definindo o plano somente para as operações de desbaste. No cálculo das condições de usinagem, mais adiante, é levado em conta um passe de acabamento, e seus parâmetros são calculados.

Tabela de Operações:

Superfície de operação	Especificação	Desbaste	Semi - Acabamento	Acabamento
1	Ra: 6 μm \perp (2)	Furação		Escareador
2	Ra: 6 μm \perp (6)			Furadeira
3	Ra: 6 μm \perp (1)			Fresa de Topo
4	Ra: 6 μm \perp (2)			Escareador
5a	Ra: 6 μm $/\!/$ (1)			Fresa de Topo
5b	Ra: 6 μm $/\!/$ (1)			Fresa de Topo
5c	Ra: 6 μm $/\!/$ (1)			Fresa de Topo
5d	Ra: 6 μm $/\!/$ (1)			Fresa de Topo
6	Ra: 6 μm $/\!/\!$ (5d)			Fresa de Topo
7	Ra: 6 μm \odot (2)			Escareador
8	Ra: 6 μm			Furadeira

Figura 9. Tabela de operações

A tabela 11.3 do anexo I fornece a capacidade de tolerância geométrica de processos básicos, e por esta pode-se verificar que as operações desejadas fornecem a rugosidade superficial desejada nas superfícies da peça.

7.4 Definição de Superfície Associadas e Escolha de Etapas de Trabalho e Ferramentas de Usinagem

1. O agrupamento 2+4+7 é justificado por questões de economia e de requisitos técnicos de coaxialidade da superfície (7) com a superfície (2), somado às especificações do projeto. O agrupamento (4) e (7) é justificado pelos métodos de processamento a serem usados (rasgo de furo, *countersinking*, ser pilotado por (2)).
2. O agrupamento 1+8 é justificado por questões econômicas, pois podem ser usinados usando-se a mesma máquina, e por questões tecnológicas, pois o posicionamento de 8 é definido pelo posicionamento de 1.
3. O agrupamento 3+5+6+9 é justificado por questões econômicas, pois podem ser usinados pela mesma máquina.

Resumo dos Agrupamentos:

1. Agrupamento 2+4+7 → tecnológico
2. 1+8 → economia e tecnológico
3. 3+5+6 → mesma máquina, questões de economia

7.6 Determinação da Ordem de Precedência das Operações

Tendo obtido a tabela de anterioridades, as informações contidas nesta pode ser transformada em forma de uma matriz, chamada de matriz de anterioridades, da qual pode-se obter a seqüência de operações a serem realizadas.

	EXECUTAR ESTAS OPERAÇÕES									NÍVEIS											
	1	2	3	4	5a	5b	5c	5d	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		x							x				2	2	2	2	2	1	1	1	
2									x		x		2	2	2	2	2	1	2		
3	x										x		2	2	2	2	2	2	1	1	3
4		x										x	1	1	1	1	1	1	1	1	4
5a													5a								
5b					x								1	5b							
5c						x							1	1	5c						
5d							x						1	1	1	5d					
6							x						1	1	1	1	6				
7		x											1	1	1	1	1	1	1	1	7
8	x												1	1	1	1	1	1	1	1	8
9							x						1	1	1	1	1	9			
													5a	5b	5c	5d	6	9	2	1	3
																			4	8	
																				7	

Figura 11. Matriz de anterioridade

7.7 Seleção da Referência dos Dados Dimensionais

Para poder localizar a peça de forma única em cada operação, utiliza-se o Princípio de Isostatismo, que consiste na escolha de 6 pontos na peça, os quais cancelam os seis graus de liberdade que um sólido pode possuir no espaço.

Os seis pontos escolhidos para cada operação estão indicados nas figuras que seguem.

7.5 Determinação das Relações de Anterioridade

Tabela de anterioridades

Const. Oper.	Dimensional	Geometrical	Technological	Economical
1	(6)	⊥ (2)		
2		⊥ (6)		
3	(1), (9)	⊥ (1), // (9)		
4		⊥ (2)		
5a				
5b				(5a)
5c				(5b)
5d				(5c)
6		// (5d)		
7		◎ 2		
8	(1)			
9		⊥ (6)		

Figura 10. Tabela de anterioridade

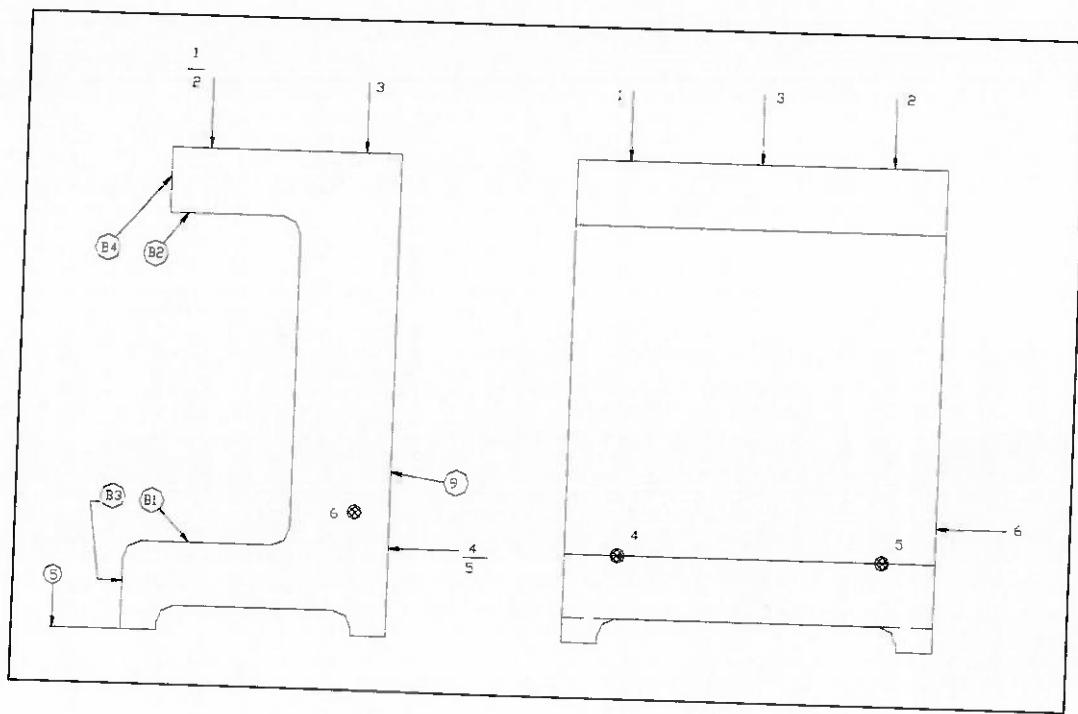


Figura 12. Superfícies de referências

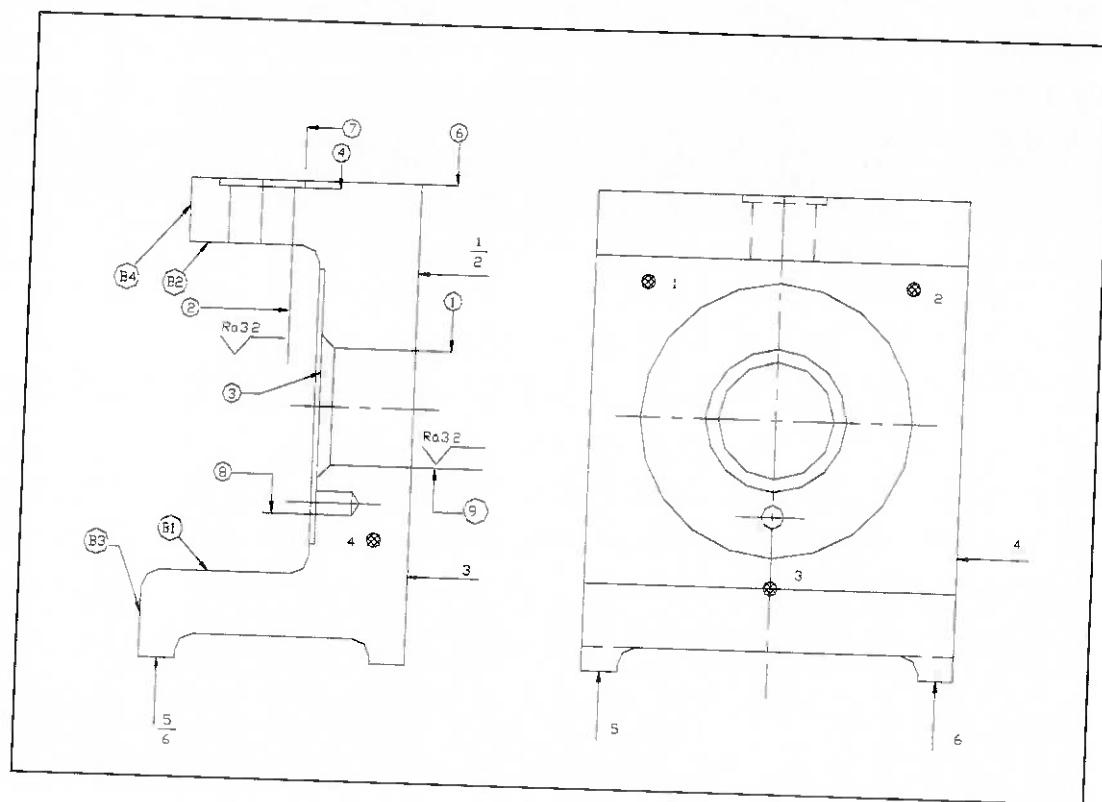


Figura 13. Superfícies de referências

Plano de Processo:

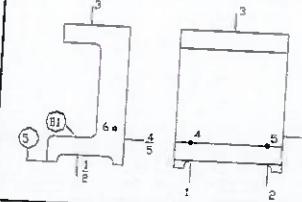
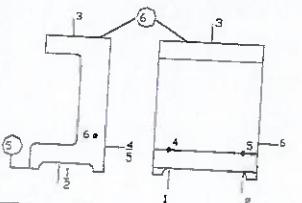
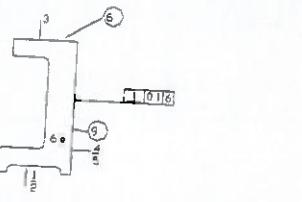
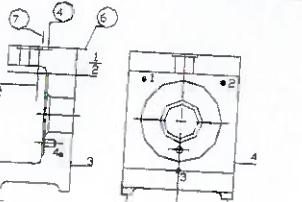
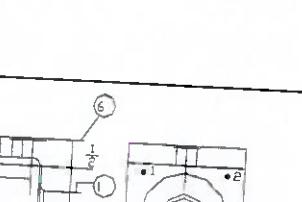
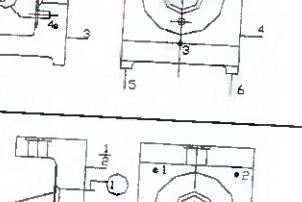
Tarefa	Descrição da Operação	Máq/Fer	Posicionamento	Inspeção	Desenhos				
10	Inspeção do material bruto, dimensões e tolerâncias	Fresa de Topo	De acordo com o desenho da peça bruta	Instrumentação padrão					
20	Fresamento Aa Fresamento de acabamento das superfícies (5a), (5b), (5c) e (5d) Dimensões indicadas no desenho, Ra = 6,3		Fixação pelo plano que contém a referência 3, suporte em 6						
Ba	Mudança de posicionamento Fresamento da superfícies (6), Ra = 6,3, // (5)		Fixação plano 1, 2, suporte por 6						
Ca	Mudança de posicionamento Cb Fresamento da superfície (9), Ra = 6,3, ⊥ (6)		Fixação pelo plano que contém a referência 3, suporte em 6						
Cb									
30	Furação Aa Furação da superfície (2), φ = 18,0, Ra = 3,2 Ab Escareamento Escareamento da superfície φ = 24,0 Ra = 6,3	Furadeira	Fixação 5, 6 Suporte 1, 2						
Aa									
Ab									
Ba	Mudança de posicionamento b Furação de (1) φ = 33 Ra = 3,2		Fixação 4, suporte 5, 6						
b									
Ca	Mudança de posicionamento b Furação de (8) com φ = ¼ " e Ra = 6,3								
b									
40	Fresamento Fresamento da superfície (3) φ = 77 Ra = 6,3	Fresa de Topo	Fixação 3, 4 Suporte 5, 6						

Figura 14. Plano de processo do dispositivo

7.8 Plano de Processo Completo

Com as informações obtidas até este momento pode-se montar um plano de processo. A estrutura do plano já foi descrita anteriormente, mas cabe repeti-las novamente.

1^a coluna: indicação das etapas de trabalho, sub-etapas e operações

2^a coluna: cada operação é descrita em detalhe, com a adição de dimensões de colocação da ferramenta

3^a coluna: indicação dos tipos de máquinas operatrizes a serem usadas. Costuma-se usar abreviações que é explicada no fim da folha

4^a coluna: as superfícies de referência são identificadas com seus localizadores e as dimensões por elas determinadas. A fixação da peça também é indicada

5^a coluna: ferramentas, acessórios e instrumentos de inspeção são indicados numa forma abreviada, com a explicação no fim da folha

6^a coluna: reservada para desenhos simplificados da peça relacionada às etapas de trabalho correspondentes mostrando essencialmente as superfícies a serem processadas, as relações de limitação, os pontos de posicionamento e fixação e as dimensões de colocação, resultantes finais de transferência de tolerâncias.

Estas informações devem ainda ser seguidas por uma folha de operações, a qual fornece informações sobre as condições de usinagem e estimativa do tempo de fabricação para cada operação.

8 IMPLEMENTAÇÃO NO ACCESS

Como parte da implementação deste trabalho foi usada o software *Access*, de *Microsoft*, para otimizar a etapa de consulta à tabelas do handbook da referência 3, da bibliografia.

Através deste software, que é de uso bastante difundido, é possível fazer associações entre diversas tabelas de modo a obter consultas e relatórios customizados de acordo com as necessidades do usuário.

Para este trabalho foram implementadas as seguintes tabelas no Access, cujas informações foram obtidas dos handbooks das referências 3 e 4 da bibliografia:

- Operações
- Mateirias
- Sub Materiais
- Condições
- Ferramentas
- Operação Drilling
- Operação End Milling
- Operação Face Milling
- Operação Turning

Cada tabela possui um campo de identificação para os elementos da linha, que contém as informações a serem utilizadas para este trabalho. É através deste campo de identificação que é feita a relação entre as tabelas implementadas. A seguir é explicada a estrutura de cada tabela implementada.

Tabela: Operação

Nas tabelas de Operações foram colocadas as condições de usinagem para cada operação e para cada material. A estrutura das tabelas é mostrada a seguir:

- CodOperação – este campo é um campo numérico que identifica de

forma única cada operação desta tabela, desta forma, nenhum número desta coluna é repetido

- Nome da Operação – este campo contém os nomes das operações que constam no handbook (referência 3 e 4 da bibliografia)

Tabela: Material

Nesta tabela são colocados todos os materiais que constam do handbook. A estrutura da tabela é da seguinte forma:

- CodMaterial – este campo é um campo numérico que identifica de forma única cada material desta tabela.
- Nome do Material – este campo contém o nome dos materiais que constam do handbook.

Tabela: SubMaterial

Esta tabela contém os submateriais relativos aos materiais da Tabela de Material. A estrutura desta tabela é da seguinte forma:

- CodSubMaterial – este campo é um campo numérico que identifica de forma única cada submaterial desta tabela
- CodMaterial – este campo contém o número, pela qual é feita a associação, do material a qual se refere o submaterial em questão. Os números deste campo podem se repetir, uma vez que um material pode possuir diversos submateriais
- Nome do SubMaterial – este campo contém o nome do submaterial

Tabela: Condição

Esta tabela contém as condições que constam do handbook. Sua estrutura é da seguinte forma:

- CodCondição - este campo é um campo numérico que identifica de

forma única cada condição desta tabela

- Condition – este campo contém o nome da condição em questão

Tabela: Ferramenta

Esta tabela contém as ferramentas que aparecem ao longo do handbook. Sua estrutura é da seguinte forma:

- CodFerramenta - este campo é um campo numérico que identifica de forma única cada ferramenta desta tabela
- Nome da Ferramenta – este campo contém os nomes das ferramentas

Tabela: Parâmetro - End Milling

Esta tabela contém as condições de usinagem para a operação de End Milling (fresa de topo). A estrutura da tabela é da seguinte forma:

- CodParametro - este campo é um campo numérico que identifica de forma única cada linha, que contém os parâmetros, desta tabela
- Hardness – este campo contém a dureza, ou a faixa de dureza do material
- CodCondição – este campo contém o código da condição a que se referem os parâmetros
- Radial Depth of Cut – este campo contém a profundidade de corte
- Speed – este campo contém a velocidade de usinagem a que se referem os parâmetros
- 10 mm – este campo contém o avanço por dente para uma ferramenta de 10 mm de diâmetro
- 12 mm – este campo contém o avanço por dente para uma ferramenta de 12 mm de diâmetro
- 18 mm – este campo contém o avanço por dente para uma ferramenta de 18 mm de diâmetro

- CodSubMaterial - este campo contém o código do submaterial a que se referem os parâmetros
- CodFerramenta - este campo contém o código da ferramenta a que se referem os parâmetros

Tabela: Parâmetro – Drilling

Esta tabela contém as condições de usinagem para a operação de Drilling (furação). A estrutura da tabela é da seguinte forma:

- CodParametro - este campo é um campo numérico que identifica de forma única cada linha, que contém os parâmetros, desta tabela
- Hardness – este campo contém a dureza, ou a faixa de dureza do material
- CodCondição – este campo contém o código da condição a que se referem os parâmetros
- Depth of Cut – este campo contém a profundidade de corte
- Speed – este campo contém a velocidade de usinagem a que se referem os parâmetros
- 1,5 mm – este campo contém o avanço por dente para uma ferramenta de 1,5 mm de diâmetro para operação de fresa lateral
- 3,0 mm – este campo contém o avanço por dente para uma ferramenta de 3,0 mm de diâmetro para operação de fresa lateral
- 6,0 mm – este campo contém o avanço por dente para uma ferramenta de 6,0 mm de diâmetro para operação de fresa lateral
- 12 mm – este campo contém o avanço por dente para uma ferramenta de 12 mm de diâmetro para operação de fresa lateral
- 18 mm – este campo contém o avanço por dente para uma ferramenta de 18 mm de diâmetro para operação de fresa lateral
- 25 mm – este campo contém o avanço por dente para uma ferramenta de 25 mm de diâmetro para operação de fresa lateral

- 25 - 50 mm – este campo contém o avanço por dente para as ferramentas que possuem um diâmetro entre 25 mm e 50 mm
- CodOperação – este campo contém o código da operação a que se referem os parâmetros
- CodMaterial - este campo contém o código do material a que se referem os parâmetros
- CodSubMaterial - este campo contém o código do submaterial a que se referem os parâmetros
- CodFerramenta - este campo contém o código da ferramenta a que se referem os parâmetros

Tabela: Parâmetro – Face Milling

Esta tabela contém as condições de usinagem para a operação de Face Milling (fresa lateral). A estrutura da tabela é da seguinte forma:

- CodParametro - este campo é um campo numérico que identifica de forma única cada linha, que contém os parâmetros, desta tabela
- Hardness – este campo contém a dureza, ou a faixa de dureza do material
- CodCondição – este campo contém o código da condição a que se referem os parâmetros
- Depth of Cut – este campo contém a profundidade de corte
- Speed – este campo contém a velocidade de usinagem a que se referem os parâmetros
- Feed per tooth – este campo contém o avanço por dente para a operação de fresa lateral
- CodOperação – este campo contém o código da operação a que se referem os parâmetros
- CodMaterial - este campo contém o código do material a que se referem os parâmetros

- 35 mm – este campo contém o avanço por dente para uma ferramenta de 35 mm de diâmetro para operação de fresa lateral
- CodOperação – este campo contém o código da operação a que se referem os parâmetros
- CodMaterial - este campo contém o código do material a que se referem os parâmetros
- CodSubMaterial - este campo contém o código do submaterial a que se referem os parâmetros

Tabela: Parâmetro – Turning, single point

Esta tabela contém as condições de usinagem para a operação de Turning, single point (torno univesal). A estrutura da tabela é da seguinte forma:

- CodParametro - este campo é um campo numérico que identifica de forma única cada linha, que contém os parâmetros, desta tabela
- Hardness – este campo contém a dureza, ou a faixa de dureza do material
- CodCondição – este capo contém o código da condição a que se referem os parâmetros
- Depth of Cut – este campo contém a profundidade de corte
- Speed – este capo contém a velocidade de usinagem a que se referem os parâmetros
- Feed – este campo contém o avanço por dente para a operação de fresa lateral
- CodOperação – este campo contém o código da operação a que se referem os parâmetros
- CodMaterial - este campo contém o código do material a que se referem os parâmetros
- CodSubMaterial - este campo contém o código do submaterial a que se referem os parâmetros

- CodFerramenta - este campo contém o código da ferramenta a que se referem os parâmetros

A relação entre as tabelas acima é dada na figura a seguir:

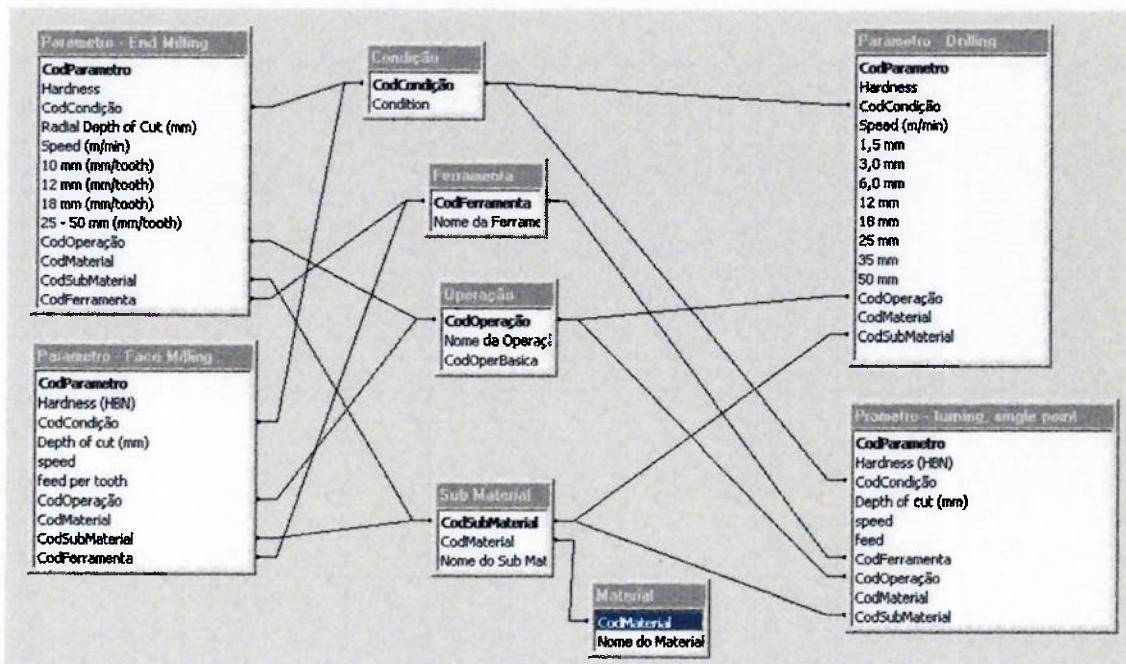


Figura 15. Relacionamentos

Foram obtidos os seguintes relatórios:

- Operações
- Condição
- Material
- SubMaterial
- Ferramenta
- End Milling
- Drilling
- Face Milling
- Turning

9 DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE USINAGEM

Além do plano de processo, que foi obtido anteriormente, é necessário indicar para cada operação as condições de usinagem e os tempos para a execução de cada operação. Tais dados devem ir anexos ao plano de processo no formato de uma tabela.

Para a obtenção das condições de usinagem foram utilizadas as fórmulas do Anexo I, tabela 11.5, e os relatórios obtidos no Access, que estão no Anexo III.

Para a usinagem das superfícies 5a, 5b, 5c e 5d foram obtidos os seguintes parâmetros:

Operação	Fresamento de Topo	
	Desbaste	Acabamento
Profundidade de corte (d) [mm]	1,5	0,5
Velocidade de corte (vc) [m/min]	44	55
Diâmetro da ferramenta (D) [mm]	10	10
Avanço por dente (ft) [mm/dente]	0,05	0,025
Número de dentes (n)	4	4
Rotação [rpm]	1401,27	1751,59
Taxa de avanço (fm) [mm/min]	280,25	175,16
Comprimento de usinagem (L) [mm]	10	10
Tempo de usinagem (t) [seg]	0,03568182	0,05709091
Largura de usinagem (w) [mm]	10	10
Taxa de remoção de metal (Q) [cm ³ /min]	4,20	0,87
Unit Power (P) [kW min/cm ³]	0,064	0,064
Potência de usinagem (kWs) [kW]	0,27	0,06
Eficiência (E)	80%	80%
Potência no motor (kWm) [kW]	0,34	0,07
Torque (Ts) [N.m]	1,83	0,31

Para a usinagem da superfície 6 foram obtidos os seguintes parâmetros:

Operação	Fresamento de Topo	
	Desbaste	Acabamento
Profundidade de corte (d) [mm]	1,5	0,5
Velocidade de corte (vc) [m/min]	44	55
Diâmetro da ferramenta (D) [mm]	25	25
Avanço por dente (ft) [mm/dente]	0,15	0,15
Número de dentes (n)	4	4
Rotação [rpm]	560,51	700,64
Taxa de avanço (fm) [mm/min]	336,31	420,38
Comprimento de usinagem (L) [mm]	105	105
Tempo de usinagem (t) [seg]	0,3122	0,2498
Largura de usinagem (w) [mm]	65	65
Taxa de remoção de metal (Q) [cm ³ /min]	32,78	13,662
Unit Power (P) [kW min/cm ³]	0,064	0,064
Potência de usinagem (kWs) [kW]	2,10	0,87
Eficiência (E)	80%	80%
Potência no motor (kWm) [kW]	2,62	1,09
Torque (Ts) [N.m]	35,75	11,92

Para a usinagem da superfície 6 foram obtidos os seguintes parâmetros:

Operação	Fresamento de Topo	
	Desbaste	Acabamento
Profundidade de corte (d) [mm]	1,5	0,5
Velocidade de corte (vc) [m/min]	44	55
Diâmetro da ferramenta (D) [mm]	25	25
Avanço por dente (ft) [mm/dente]	0,15	0,15
Número de dentes (n)	4	4
Rotação [rpm]	560,51	700,64
Taxa de avanço (fm) [mm/min]	336,31	420,38
Comprimento de usinagem (L) [mm]	135	135
Tempo de usinagem (t) [seg]	0,4014	0,3211
Largura de usinagem (w) [mm]	105	105
Taxa de remoção de metal (Q) [cm ³ /min]	52,97	22,07
Unit Power (P) [kW min/cm ³]	0,064	0,064
Potência de usinagem (kWs) [kW]	3,39	1,41
Eficiência (E)	80%	80%
Potência no motor (kWm) [kW]	4,24	1,77
Torque (Ts) [N.m]	57,75	19,25

Para a usinagem da superfície 2 foram obtidos os seguintes parâmetros:

Operação	Furação	
	Desbaste	Acabamento
Velocidade de corte (vc) [m/min]	49	105
Diâmetro da ferramenta (D) [mm]	12	18
Avanço por dente (ft) [mm/dente]	0,3	0,45
Rotação [rpm]	1300,42	1857,75
Taxa de avanço (fm) [mm/min]	390,13	835,99
Comprimento de usinagem (L) [mm]	16	16
Tempo de usinagem (t) [seg]	0,0410	0,0191
Taxa de remoção de metal (Q) [cm ³ /min]	44,10	212,63
Unit Power (P) [kW min/cm ³]	0,091	0,091
Potência de usinagem (kWs) [kW]	4,01	19,35
Eficiência (E)	80%	80%
Potência no motor (kWm) [kW]	5,016	24,186
Torque (Ts) [N.m]	29,47	99,45

Para a usinagem da superfície 1 foram obtidos os seguintes parâmetros:

Operação	Furação	
	Desbaste	Acabamento
Velocidade de corte (vc) [m/min]	49	49
Diâmetro da ferramenta (D) [mm]	25	25
Avanço por dente (ft) [mm/dente]	0,55	0,55
Rotação [rpm]	624,20	624,20
Taxa de avanço (fm) [mm/min]	343,31	343,31
Comprimento de usinagem (L) [mm]	26,5	26,5
Tempo de usinagem (t) [seg]	0,0772	0,0772
Taxa de remoção de metal (Q) [cm ³ /min]	168,44	168,44
Unit Power (P) [kW min/cm ³]	0,091	0,091
Potência de usinagem (kWs) [kW]	15,33	15,33
Eficiência (E)	80%	80%
Potência no motor (kWm) [kW]	19,160	19,160
Torque (Ts) [N.m]	234,48	234,48

Para a usinagem da superfície 1 foram obtidos os seguintes parâmetros:

Operação	Torneamento Interno				
	Desbaste		Acabamento		
Profundidade de corte (d) [mm]	2,5	2,5	0,25	0,25	0,25
Velocidade de corte (vc) [m/min]	20	20	37	37	37
Diâmetro da ferramenta (D) [mm]	18	20,5	23	23,25	23,75
Avanço por dente (ft) [mm/dente]	0,3	0,3	0,075	0,075	0,075
Rotação [rpm]	353,86	310,70	512,32	506,81	496,14
Taxa de avanço (fm) [mm/min]	106,16	93,21	38,42	38,01	37,21
Comprimento de usinagem (L) [mm]	2	2	2	2	2
Tempo de usinagem (t) [seg]	0,0188	0,0215	0,0521	0,0526	0,0537
Taxa de remoção de metal (Q) [cm ³ /min]	108,00	123,00	63,83	64,52	65,91
Unit Power (P) [kW min/cm ³]	0,077	0,077	0,077	0,077	0,077
Potência de usinagem (kWs) [kW]	8,32	9,47	4,91	4,97	5,07
Eficiência (E)	80%	80%	80%	80%	80%
Potência no motor (kWm) [kW]	10,395	11,839	6,143	6,210	6,343
Torque (Ts) [N.m]	224,41	291,08	91,60	93,60	97,67

Para a usinagem da superfície 3 a quantidade de material removida é muito grande e são necessários diversos passos de desbaste partindo do furo inicial de 33 mm de diâmetro. Ao todo são necessários 35 passes de desbaste com uma profundidade de corte de 2,5 mm. A seguir são mostrados os parâmetros somente para o primeiro passe de desbaste e para o passe de acabamento.

Operação	Torneamento Interno		
	Desbaste	Acabamento	
Profundidade de corte (d) [mm]	2,5	2,5	0,25
Velocidade de corte (vc) [m/min]	20	20	37
Diâmetro da ferramenta (D) [mm]	33	75,5	76,75
Avanço por dente (ft) [mm/dente]	0,3	0,3	0,075
Rotação [rpm]	193,01	84,36	153,53
Taxa de avanço (fm) [mm/min]	57,90	25,31	11,51
Comprimento de usinagem (L) [mm]	1,5	1,5	1,5
Tempo de usinagem (t) [seg]	0,0259	0,0593	0,1303
Taxa de remoção de metal (Q) [cm ³ /min]	198,00	453,00	212,98
Unit Power (P) [kW min/cm ³]	0,077	0,077	0,077
Potência de usinagem (kWs) [kW]	15,25	34,88	16,40
Eficiência (E)	80%	80%	80%
Potência no motor (kWm) [kW]	19,058	43,601	20,499
Torque (Ts) [N.m]	754,27	3948,15	1019,99

Com os parâmetros obtidos é possível montar uma folha de operações, que deve ir anexa à folha de processo. Tal folha de operações está mostrada no anexo IV.

10 CONCLUSÃO

Pelo desenvolvimento apresentado ao longo deste trabalho é possível perceber que a implementação de um plane de processo não pode ser generalizado para todos os tipos de peças que se deseja produzir.

Nas etapas que envolvem tomadas de decisões a habilidade do planejador é de extrema importância e não pode ser substituída de maneira nenhuma, nos dias atuais, pelo uso do computador. Porém certas etapas que envolvem consulta de tabelas e cálculos podem ser otimizadas se forem utilizadas um gerenciador de banco de dados e planilhas ou programas que realizem tais tarefas (cálculo e consulta) que demandam uma grande quantidade de tempo. Por assim se dizer o tempo de um planejador de processo está distribuída da seguinte forma:

- 15% em tomadas de decisões
- 40% em cálculos e uso de tabelas
- 45% em preparação de textos e documentos

Pela distribuição acima percebe-se que com o uso de programas e bancos de dados eficazes o tempo demandado para o desenvolvimento de um plano de processo pode ser reduzido em cerca de 80%. Porém, somente uma produção em grande lote justifica o uso de programas especialmente desenvolvidos para a realização para a realização tais tarefas.

Para uma produção de pequeno porte, a tarefa de consulta à tabelas pode ser implementada sem grande custos com o uso de gerenciadores de banco de dados com o Access, e a realização de cálculos por meio de planilhas como o Excel. Porém, para o desenvolvimento de tais banco de dados e planilhas ainda requer uma quantidade considerável de tempo. Mas por outro lado, uma vez implantado um banco de dados, este pode ser utilizado no desenvolvimento de outros planos de processos, uma vez que o banco de dados somente substitui um handbook, que contém informações sobre as condições de usinagem.

No exemplo da peça desenvolvida neste trabalho, a parte que demandou mais tempo foi a implementação do banco de dados, mas uma vez implementado, o

andamento do desenvolvimento do plano de processo ocorreu de uma forma mais rápida, pois o tempo utilizado em consulta à handbook foi consideravelmente reduzido. A utilização de planilhas também foi de grande utilidade, pois geralmente os cálculos realizados são repetitivos, e se tais cálculos fossem realizados um por um manualmente, o tempo utilizado seria de aproximadamente 80% a mais que o utilizado com a ajuda de planilhas.

Convém ressaltar que a abordagem feita neste trabalho sobre o planejamento de processos não foi de grande profundidade, uma vez que o objetivo foi de melhor compreensão o método e não o aprofundamento em como otimizar e implementar os métodos. Este tema, se estudado a fundo seria um tema de grande interesse para mestrado nesta área, pois diversas indústrias que atuam na área de fabricação teriam um grande interesse na otimização do desenvolvimento do plano de processo de um produto.

Uma lição importante aprendida com a elaboração deste trabalho é que se utilizarmos de forma racional as ferramentas disponíveis para a grande massa da população é possível se otimizar grande parte do trabalhos manuais que fazem parte de diversos ramos da engenharia mecânica.

11 ANEXO I: TABELAS

11.1 Tabela 1: Classificação dos processos básicos por grupos de forma de peças

Principais Grupos de Formas		Formas Superimpostas
Circular Simétrica	Prismática	Furos e Roscas
Torneamento	Fresamento	Furação
Retífica	Retífica	Escareamento
Brunimento	Brunimento	Alargamento
Lapidação	Lapidação	Fresa Periférica
Polimento	Polimento	Retífica
		Brunimento
		Mandrilagem
		Rosqueamento
		Fresamento

11.2 Tabela 2: Faixa de rugosidade superficial para os processos básicos.

Processo	Rugosidade Superficial R_a (μm)		
	min	max	Tipo de máquina
Formas Circulares Simétricas			
Torneamento	0.8	25.0	Torno
Retífica	0.1	1.6	Retífica
Brunimento	0.1	0.8	Afiadeira
Polimento	0.1	0.5	Polidor
Lapidação	0.05	0.5	Lapidador
Formas Prismáticas			
Fresamento	0.8	25.0	Fresa
Retífica	0.1	1.6	Retífica
Brunimento	0.1	0.8	Afiadeira
Polimento	0.1	0.5	Polidor
Lapidação	0.05	0.5	Lapidador
Furos, Roscas, Miscelâneos			
Furação	1.6	25.0	Torno, Fresa, Furadeira
Scareamento	0.8	6.3	Torno, Fresa, Furadeira
Alargamento	0.8	10.0	Torno
Fresamento Periférico	0.8	15.0	Fresa
Retífica	0.1	1.6	Retífica
"Burnishing"	0.2	0.4	"Burnishing"
Mandrilagem	0.8	6.3	Mandril
Fresamento	0.8	25.0	Fresa

11.3 Tabela 3: Capacidade de tolerância geométrica de processos básicos

Processo Básico	Tipos de Tolerância Geométrica (mm)			
	Paralelismo	Perpendicularidade	Concentricidade	Angularidade
Torneamento	0,01 – 0,02	0,02	0,005 – 0,01	0,01
Fresamento	0,01 – 0,02	0,02	-	0,01
Furação	0,2	0,1	0,1	0,1
Alargamento	0,005	0,01	0,01	0,01
Retífica	0,001	0,001	0,002	0,002
Brunitimento	0,0005	0,001	0,002	0,002
Superacabamento	0,0005	0,001	0,005	0,002

11.4 Tabela 4: Conversão entre as diferentes escalas de rugosidade superficial

R _a (μm)	R _a (μin)	RMS (μm)	R _i (μm)	Surface Quality	French surface quality	Triangles
0,4	15,8	0,44	1,58	N4	5	VVV
0,6	23,7	0,66	2,37	N4	6	VV
0,8	31,5	0,88	3,16	N5	6	VV
1,0	39,4	1,11	4,00	N5	7	VV
1,2	47,2	1,33	4,75	N4	7	VV
1,4	55,1	1,55	5,53	N5	7	VV
1,6	63,0	1,77	6,32	N6	8	VV
1,8	70,8	2,00	7,11	N6	8	VV
2,0	78,7	2,22	7,95	N6	8	VV
2,3	90,5	2,55	9,10	N6	8	VV
2,5	98,4	2,77	9,90	N6	8	VV
2,8	110,2	3,11	11,10	N6	8	VV
3,0	118	3,33	11,85	N6	8	VV
3,5	138	3,88	13,85	N7	9	V
4,0	157	4,44	15,85	N7	9	V
4,5	177	5,00	17,85	N7	9	V
5,0	197	5,55	19,85	N7	10	V
6,0	236	7,66	23,75	N7	10	V
7,0	276	7,77	27,75	N8	10	V
8,0	314	8,88	31,60	N8	10	V
9,0	354	10,00	35,60	N8	10	V
10,0	394	11,10	39,75	N8	11	V
11,0	433	12,21	43,35	N9	11	V
12,0	472	13,32	47,40	N9	12	V
13,0	511	14,43	51,50	N10	12	V
14,0	551	15,54	55,50	N10	12	V
15,0	590	17,65	59,50	N11	12	V
16,0	630	17,76	63,50	N11	13	V

11.5 Fórmulas para cálculo das condições de usinagem

Retirado da referência 4

PARAMETER	TURNING	MILLING	DRILLING	BROACHING
Cutting speed [m/min]	$v_c = \frac{\pi}{1.000} \times D_t \times rpm$	$v_c = \frac{\pi}{1.000} \times D_m \times rpm$	$v_c = \frac{\pi}{1.000} \times D_d \times rpm$	v_c
Revolution per minute	$rpm = \frac{1.000}{\pi} \times \frac{v_c}{D_t}$	$rpm = \frac{1.000}{\pi} \times \frac{v_c}{D_m}$	$rpm = \frac{1.000}{\pi} \times \frac{v_c}{D_d}$	-
Feed rate [mm/min]	$f_m = f_r \times rpm$	$f_m = f_t \times n \times rpm$	$f_m = f_r \times rpm$	-
Feed per tooth [mm]	-	$f_t = \frac{f_m}{n \times rpm}$	-	f_t
Cutting time [min]	$t = \frac{L}{f_m}$	$t = \frac{L}{f_m}$	$t = \frac{L}{f_m}$	$t = \frac{L}{1.000 \times v_c}$
Rate of metal removal [cm ³ /min]	$Q = d \times f_r \times v_c$	$Q = \frac{w \times d \times f_m}{1.000}$	$Q = \frac{\pi \times D_d^2}{4.000} \times f_m$	$Q = w \times d_t \times v_c$
Power required at spindle	$kW_s = Q \times P$	$kW_s = Q \times P$	$kW_s = Q \times P$	-
Power required at motor	$kW_m = \frac{Q \times P}{E}$	$kW_m = \frac{Q \times P}{E}$	$kW_m = \frac{Q \times P}{E}$	$kW_m = \frac{Q \times P}{E}$
Torque at spindle	$T_s = \frac{9.549 \times kW_s}{rpm}$	$T_s = \frac{9.549 \times kW_s}{rpm}$	$T_s = \frac{9.549 \times kW_s}{rpm}$	-

D_t= diameter of workpiece in turning [mm]

D_m= diameter of milling cutter [mm]

D_d= diameter of drill [mm]

d = depth of cut [mm]

dt= total depth per stroke in broaching [mm]

E= efficiency of spindle drive

f_m= feed rate, [mm/min]

f_r= feed, [mm/rev]

f_t= feed [mm/tooth]

kW_m= power at motor [kW]

kW_s= power at spindle [kW]

L= length of cut [mm]

n= number of teeth in cutter

P= unit power [kW min/cm³]

Q= rate of metal removed [cm³/min]

rpm= revolutions per minute of work or cutter

T_s= torque at spindle [N.m]

t= cutting time [min]

v_c= cutting speed [m/min]

11.6 Unidade de potência

Retirado da referência 4

MATERIAL	HARDNESS (BHN)	UNIT POWER [kW/cm ³ /min]					
		TURNING HSS AND CARBIDE TOOLS (feed 0.12 – 0.50 mm/rev)		DRILLING HSS DRILLS (feed 0.05 – 0.20 mm/rev)		MILLING HSS AND CARBIDE TOOLS (feed 0.12 – 0.30 mm/rev)	
		Sharp Tool	Dull Tool	Sharp Tool	Dull Tool	Sharp Tool	Dull Tool
Steel, Wrought and Cast	85 – 200	0.050	0.064	0.046	0.059	0.050	0.064
	35 – 40 R _c	0.064	0.077	0.064	0.077	0.068	0.086
	40 – 50 R _c	0.068	0.086	0.077	0.096	0.082	0.100
	50 – 55 R _c	0.091	0.114	0.096	0.118	0.096	0.118
	55 – 58 R _c	0.155	0.191	0.118	0.146	0.118	0.146
Cast Irons	110 – 190	0.032	0.041	0.046	0.055	0.027	0.036
Gray, Ductile and Malleable	190 – 320	0.064	0.077	0.073	0.091	0.050	0.064
Stainless Steels, Wrought and Cast	135 – 275	0.059	0.073	0.050	0.064	0.064	0.077
	30 – 45 R _c	0.064	0.077	0.055	0.068	0.068	0.086
Precipitation Hardening Stainless Steels	150 - 450	0.064	0.077	0.055	0.068	0.068	0.086
Titanium	250 - 375	0.055	0.068	0.050	0.064	0.050	0.064
High Temperature Alloys Nickel and Cobalt Base	200 - 360	0.114	0.141	0.091	0.114	0.091	0.114
	Iron Base	180 - 320	0.073	0.091	0.055	0.068	0.073
Refractory Alloys Tungsten	321	0.127	0.159	0.118	0.150	0.132	0.164
	Molybdenum	229	0.091	0.114	0.073	0.091	0.073
	Columbium	217	0.077	0.096	0.064	0.077	0.068
	Tantalum	210	0.127	0.159	0.096	0.118	0.091
	Nickel Alloys	80 - 360	0.091	0.114	0.062	0.100	0.086
Aluminium Alloys	30 – 150 500 kg	0.011	0.014	0.007	0.009	0.015	0.018
	Magnesium Alloys	40 – 90 500 kg	0.007	0.009	0.007	0.009	0.007
Copper	80 R _s	0.046	0.055	0.041	0.050	0.046	0.055
	10 – 80 R _B	0.029	0.036	0.022	0.027	0.029	0.036
	80 – 10 R _B	0.046	0.055	0.036	0.046	0.046	0.055

12 ANEXO II: DESENHOS

1

2

3

4

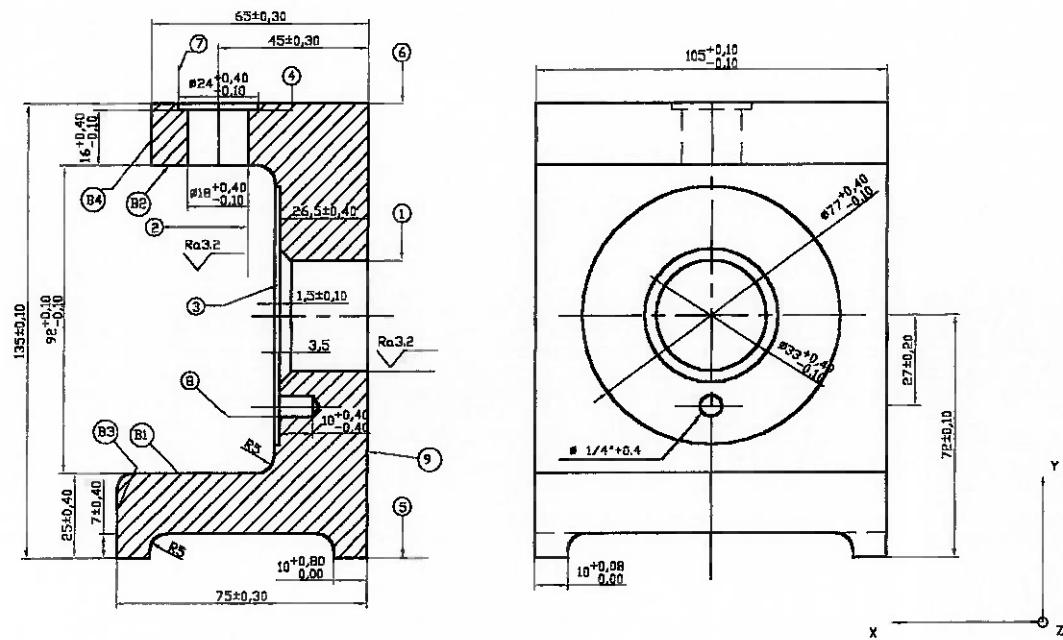
A

B

D

E

F



1 □ 0.1 2

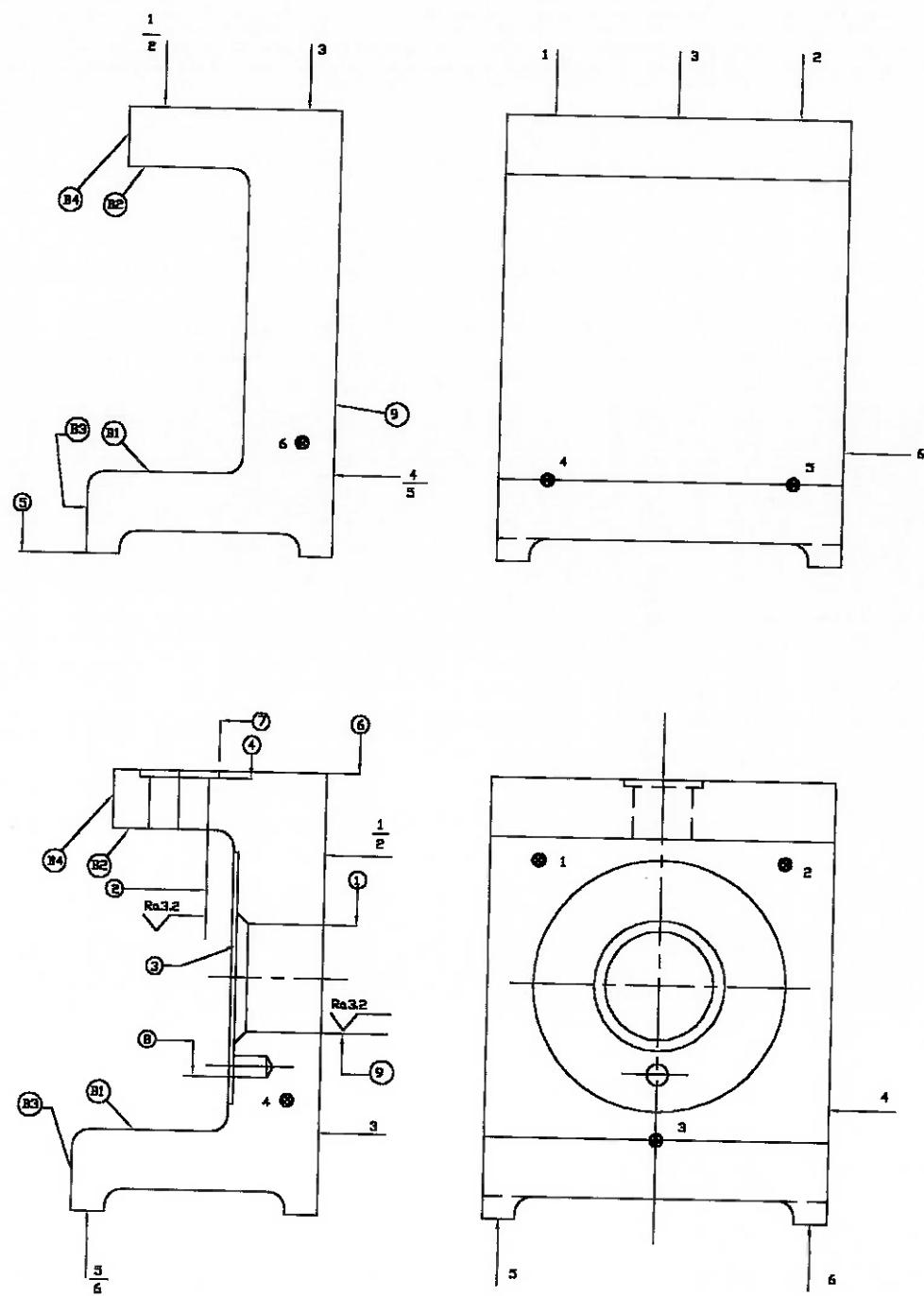
5 // 0.1 1

7 ○ 0.5 2

Material: Cast Iron - Ft20

Rugosidade geral exceto onde indicado: Ra6.3

NOME: CAROLINA UMETSU EDUARDO MIYAZAWA		NUSP: 2371822 2369645	CURSO: ENGENHARIA MECÂNICA
DISCIPLINA: DESENHO COMO PARTE DO TRABALHO DE PLANEJAMENTO DE PROCESSOS		ORIENTADOR: PROF. DR EDSON GOMES	
ESC:	TÍTULO: DISPOSITIVO DE FURAR ANEIS		DATA: DEZ/2001



NOME: CAROLINA UMETSU EDUARDO MIYAZAWA		NUSP: 2371822 2369645	CURSO: ENGENHARIA MECANICA
DISCIPLINA: DESENHO COMO PARTE DO TRABALHO DE PLANEJAMENTO DE PROCESSOS		ORIENTADOR: PROF. DR EDSON GOMES	
ESC:	TITULO: DISPOSITIVO DE FURAR ANEIS (REFERENCIAS)	DATA: DEZ/2001	1

13 ANEXO II: RELATÓRIOS DO ACCESS

Operação

CodOperação	Nome da Operação
1	Turning, Single Point and Box Tools
2	Turning, Ceramic Tools
3	Turning, Diamond Tools
4	Turning, Cutoff and Form Tools
5	Threading, Single Point
6	Threading Die
7	Hollow Milling
8	Face Milling
9	Face Milling, Diamond Tools
10	Face Milling, Diamond Impregnated Cup Wheel
11	Slab Milling
12	Side and Slot Milling (arbor Mounted Cutters)
13	End Milling - Peripheral
14	End Milling - Peripheral, Diamond Tools
15	End Milling - Slotting
16	Thread Milling
17	Drilling
18	Core Drilling, Diamond Tools
19	Oil-Hole or Pressurized - Coolant Drilling
20	Spade Drilling
21	Gun Drilling
22	Pressure Coolnat Reaming (Gun Reaming)
23	Reaming
24	Reaming, Diamond Tools
25	Boring
26	Boring, Ceramic Tools
27	Boring, Diamond Tools
28	Counter-Boring and Spotfacing
29	Gear Hobbing

CodOperação	Nome da Operação
30	Gear Cutting, Straight and Spiral Bevel
31	Gear Shaping
32	Gear Shaving
33	Gear Grinding, Form
34	Surface Grinding - Horizontal Spindle, Reciprocating Table
35	Surface Ginding - Horizontal Spindle, Reciprocating Table - CBN Whe
36	Surface Ginding - Horizontal Spindle, Reciprocating Table - Diamond
37	Surface Ginding - Vertical Spindle, Rotatory Table
38	Cylindrical Grinding
39	Cylindrical Grinding - CBN Wheels
40	Cylindrical Grinding - Diamond Wheels
41	Internal Grinding
42	Internal Grinding - CBN Wheels
43	Internal Grinding - Diamond Wheels
44	Centerless Grinding
45	Abrasive Belt Grinding
46	Thread Grinding

Material

<u>Código do Materia</u>	<u>Nome do Material</u>
1	Free Machining Carbon Steel
2	Carbon Steel, Wrought
3	Carbon and Ferritic Alloy Steel
4	Free Machining Alloy Steel,
5	Alloy Steel, Wrought
6	High strength Steel, Wrought
7	Maraging Steel, Wrought
8	Tool Steel, Wrought
9	Nitriding Steel, Wrought
10	Armor Plate, Ship Plate, Aircraft
11	Structural Steel, Wrought
12	Free Machining Stainless Steel
13	Stainless Steel, Wrought
14	Precipitation Hardening Steel
15	Carbon Steel, Cast
16	Alloy Steel, Cast
17	Tool Steel, Cast
18	Stainless Steel, Cast
19	Precipitation Hardening Steel
20	Austenitic Manganese Steel,
21	Gray Cast Iron
22	Compacted Graphite Cast Iron
23	Ductile Cast Iron
24	Malleable Cast Iron
25	White Cast Iron (Abrasion Resistant)
26	High Silicon Cast Iron
27	Chromium-Nickel Alloy Cast
28	Aluminium Alloys, Wrought
29	Aluminium Alloys, Cast

Código do Materia	Nome do Material
30	Magnesium Alloys, Wrought
31	Magnesium Alloys, Cast
32	Titanium Alloys, Wrought
33	Titanium Alloys, Cast
34	Copper Alloys, Wrought
35	Copper Alloys, Cast
36	Nickel Alloys, Wrought and
37	Beryllium Nickel Alloys, Wr
38	Nitinol Alloys, Wrought
39	Hight Temperature Alloys,
40	Refractory Alloys, Wrought,
41	Zinc Alloys, Cast
42	Lead Alooys, Cast
43	Tin Alloys, Cast
44	Uranium, Wrought
45	Zirconium Alooys, Wrought
46	Manganese Alloys, Wrought
47	Powder Metal Alloys
48	Machinable Carbides
49	Carbides
50	Free Machining Magnetic Al
51	Magneteic Alloys
52	Free Machining Controlled E
53	Controlled Expansion Alloys
54	Carbons and Graphites
55	Glasses and Ceramics
56	Plastics
57	Composites
58	Flame (Thermal) Sprayed M
59	Plated Materials
60	Precious Metals
61	Rubber

Sub Material

Nome do Material Austenitic Manganese Steel, Cast

Código do Material: 20

CodSubMaterial	Nome do Sub Material
-----------------------	-----------------------------

9	ASTM A128: Grades A, B-1, B-2, B-3, B-4, C, D, E-1, E-2, F
---	--

Nome do Material Carbon and Ferritic Alloy Steel (High Temp. Servic

Código do Material: 3

CodSubMaterial	Nome do Sub Material
-----------------------	-----------------------------

19	ASTM A369: Grades FPA, FPB, FP1, FP2, FP12
----	--

20	ASTM A369: Grades FP3b, FP11
----	------------------------------

21	ASTM A369: Grades FP5, FP7, FP9, FP21, FP22
----	---

Nome do Material Carbon Steel, Wrought

Código do Material: 2

CodSubMaterial	Nome do Sub Material
-----------------------	-----------------------------

10	Low Carbon: 1005,1006,1008,1009,1010,1012,1015,1017,1020,1023,1025
----	--

11	Low Carbon: 1011,1013,1016,1018,1019,1021,1022,1026,1029,1513,1518,1522
----	---

12 Medium Carbon:
1030,1033,1035,1037,1038,1039,1040,1042,1043,1044,1045,1046,1049,1050,1053,1055,1525,15
1527

13 Medium Carbon: 1524,1536,1541,1547,1548,1551,1552

14 High carbon:
1060,1064,1065,1069,1070,1074,1075,1078,1080,1084,1085,1086,1090,1095,1561,1566,1572

Nome do Material Gray Cast Iron

Código do Material: 21

CodSubMaterial Nome do Sub Material

1 ASTM A48:class 20 Ferritic

2 ASTM A48:class 25 Pearlitic-Ferritic

3 ASTM A48: class 30 Pearlitic

4 ASTM A48: 45, 50 Free-Carbide

5 ASTM A48: 55, 60 Acicular+Free carbide

6 ASTM A436: Types 1, 1b, 5 (NI-Resist)

7 ASTM A436: Types 2, 3, 5 (NI-Resist)

8 ASTM A436: Types 2b, 4 (NI-Resist)

Nome do Material Tool Steel, Cast

Código do Material: 17

CodSubMaterial Nome do Sub Material

15 Hot Work - ASTM A597: Grades CH-12, CH-13

16 Cold Work - ASTM A597: Grades CD-2, CD-5

17 Cold Work - ASTM A597: Grades CA-2, CO-1

18 Shock Resisting - ASTM A597: Grade CS-5

Sub Material

Ferramenta

Código da Ferramenta	Nome da Ferramenta
1	HSS - High Speed Steel
2	Carbide Coated
3	Carbide Uncoated Brazed
4	Carbide Uncoated Indexable
5	Diamond
6	Ceramic
7	outros

Condição

Código da Condição	Condition
1	annealed
2	as cast
3	as cast or quenched and tempered
4	hot rolled, normalized, annealed or cold drawn
5	annealed or cold drawn
6	hot rolled, normalized, annealed, cold drawn or quenched
7	quenched and tempered
8	annealed or normalized

Boring

Material	Gray Cast Iron
-----------------	----------------

Sub Material **ASTM A48: class 30 Pearlitic**

Condition *annealed*

Hardness (HBN) 190 to 220

Ferramenta	Speed	Depth of cut (mm)	Feed
HSS - High Speed Steel	20	2,5	0,3
IHS - High Speed Steel	29	1,25	0,13
HSS - High Speed Steel	37	0,25	0,075

Sub Material **ASTM A48: class 20 Ferritic**

Condition *annealed*

Hardness (HBN) 120 to 150

Ferramenta	Speed	Depth of cut (mm)	Feed
HSS - High Speed Steel	35	2,5	0,3
IHS - High Speed Steel	46	1,25	0,13
HSS - High Speed Steel	58	0,25	0,075

Sub Material **ASTM A48: class 25 Pearlitic-Ferritic**

Condition *annealed*

Hardness (HBN) 160 to 200

Ferramenta	Speed	Depth of cut (mm)	Feed
HSS - High Speed Steel	21	2,5	0,3
IHS - High Speed Steel	34	1,25	0,13
HSS - High Speed Steel	43	0,25	0,075

Drilling**Nome do Material**

Carbon Steel, Wrought

*Nome do Sub Material**Low Carbon:*

1005, 1006, 1008, 1009, 1010, 1012, 1015, 1017, 1020, 1023, 1025

*Condition**hot rolled, normalized, annealed or cold drawn***Hardness**

125 to 175

Feed (mm/rev)

Speed (m/min)	Nominal Hole Diameter							
	1,5 mm	3,0 mm	6,0 mm	12 mm	18 mm	25 mm	35 mm	50 mm
23	0,025	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0,075	0,13	0,23	0,3	0,4	0,5	0,65

Hardness

175 to 225

Feed (mm/rev)

Speed (m/min)	Nominal Hole Diameter							
	1,5 mm	3,0 mm	6,0 mm	12 mm	18 mm	25 mm	35 mm	50 mm
21	0,025	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0,075	0,13	0,23	0,3	0,36	0,45	0,55

Hardness

85 to 125

Feed (mm/rev)

Speed (m/min)	Nominal Hole Diameter							
	1,5 mm	3,0 mm	6,0 mm	12 mm	18 mm	25 mm	35 mm	50 mm
24	0,025	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0,075	0,15	0,25	0,4	0,5	0,65	0,75

Nome do Material

Gray Cast Iron

Nome do Sub Material

ASTM A48: 45, 50 Free-Carbide

*Condition**as cast*

Drilling

Hardness		220 to 260							
		Feed (mm/rev)							
		Nominal Hole Diameter							
Speed (m/min)		1,5 mm	3,0 mm	6,0 mm	12 mm	18 mm	25 mm	35 mm	50 mm
17		0,025	0	0	0	0	0	0	0
24		0	0,05	0,102	0,18	0,25	0,4	0,45	0,5
55		0	0,05	0,102	0,18	0,25	0,4	0,45	0,5

Nome do Sub Material ASTM A48: class 30 Pearlitic

Condition as cast

Hardness 190 to 220

		Feed (mm/rev)							
		Nominal Hole Diameter							
Speed (m/min)		1,5 mm	3,0 mm	6,0 mm	12 mm	18 mm	25 mm	35 mm	50 mm
23		0,025	0	0	0	0	0	0	0
29		0	0,075	0,13	0,3	0,45	0,55	0,65	0,75
69		0	0,075	0,13	0,3	0,45	0,55	0,65	0,75

Nome do Sub Material ASTM A48: class 20 Ferritic

Condition annealed

Hardness 120 to 150

		Feed (mm/rev)							
		Nominal Hole Diameter							
Speed (m/min)		1,5 mm	3,0 mm	6,0 mm	12 mm	18 mm	25 mm	35 mm	50 mm
27		0,025	0	0	0	0	0	0	0
49		0	0,075	0,15	0,3	0,45	0,55	0,65	0,75
105		0	0,075	0,15	0,3	0,45	0,55	0,65	0,75

Nome do Sub Material **ASTM A48: class 25 Pearlitic-Ferritic**

Condition *as cast*

Hardness 160 to 200

Speed (m/min)	Feed (mm/rev)							
	Nominal Hole Diameter							
	1,5 mm	3,0 mm	6,0 mm	12 mm	18 mm	25 mm	35 mm	50 mm
26	0,025	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0,075	0,15	0,3	0,45	0,55	0,65	0,75
88	0	0,075	0,15	0,3	0,45	0,55	0,65	0,75

Face Milling

Nome do Material	Gray Cast Iron
-------------------------	----------------

Nome do Sub Material *ASTM A48: class 30 Pearlitic*

Condition *as cast*

Hardness (HBN) 190 to 220

Ferramenta	Depth of cut (mm)	speed (m/min)	feed per tooth (mm)
HSS - High Speed Steel	1	37	0,2

Nome do Sub Material *ASTM A48: class 20 Ferritic*

Condition *annealed*

Hardness (HBN) 120 to 150

Ferramenta	Depth of cut (mm)	speed (m/min)	feed per tooth (mm)
Carbide Coated	1	305	0,25
Carbide Coated	4	205	0,36
Carbide Coated	8	160	0,45
Carbide Uncoated Brazed	1	190	0,25
Carbide Uncoated Brazed	4	145	0,4
Carbide Uncoated Brazed	8	100	0,5
Carbide Uncoated Indexable	1	210	0,25
Carbide Uncoated Indexable	4	160	0,4
Carbide Uncoated Indexable	8	125	0,5
HSS - High Speed Steel	1	72	0,25
HSS - High Speed Steel	4	56	0,36
HSS - High Speed Steel	8	44	0,45

Nome do Sub Material *ASTM A48: class 25 Pearlitic-Ferritic*

Condition *as cast*

Face Milling

Hardness (HBN) 160 to 200

Ferramenta	Depth of cut (mm)	speed (m/min)	feed per tooth (mm)
HSS - High Speed Steel	1	44	0,25

End Milling - Peripheral

Name do Material	Gray Cast Iron	Feed (mm/tooth)			
Name do Sub Material	ASTM A48: class 20 Ferritic	10 mm	12 mm	18 mm	25 - 50 mm
Condition	annealed				
Hardness	120 to 150				
Ferramenta	Radial Depth of Cut (mm)	Speed (m/min)	Feed (mm/tooth)		
Carbide Coated	0,5	190	0,025	0,075	0,18
Carbide Coated	1,5	145	0,05	0,13	0,23
Carbide Coated	dia/2	115	0,025	0,5	0,13
Carbide Coated	dia/4	120	0,038	0,075	0,15
HSS - High Speed Steel	0,5	55	0,025	0,05	0,13
HSS - High Speed Steel	1,5	44	0,05	0,102	0,15
					0,2

End Milling - Peripheral

Ferramenta	Radial Depth of Cut (mm)	Speed (m/min)	Feed (mm/tooth)		
			10 mm	12 mm	18 mm
HSS - High Speed Steel	dia/2	30	0,025	0,5	0,102
HSS - High Speed Steel	dia/4	37	0,038	0,075	0,13
<i>Name do Sub Material</i>					
<i>ASTM A48: class 25 Pearlitic-Ferritic</i>					
<i>Condition</i>					
<i>as cast</i>					
<i>Hardness</i>					
160 to 200					

Turning, Single Point and Box Tools

Name do Material Carbon Steel, Wrought

Name do Sub Material Low Carbon: 1005,1006,1008,1009,1010,1012,1015,1017,1020,1023,1025

Condition

Hardness (HBN) 85 to 125

Ferramenta Depth of cut (mm) speed (m/min) feed (mm/rev)

HSS - High Speed Steel	1	56	0,18
------------------------	---	----	------

HSS - High Speed Steel	4	44	0,4
------------------------	---	----	-----

HSS - High Speed Steel	8	35	0,5
------------------------	---	----	-----

Name do Sub Material Low Carbon: 1011,1013,1016,1018,1019,1021,1022,1026,1029,1513,1518,1522

Condition

Hardness (HBN) 125 to 175

Ferramenta Depth of cut (mm) speed (m/min) feed (mm/rev)

HSS - High Speed Steel	1	43	0,18
------------------------	---	----	------

HSS - High Speed Steel	4	35	0,4
------------------------	---	----	-----

Hardness (HBN)	85 to 125	Ferramenta	Depth of cut (mm)	speed (m/min)	feed (mm/rev)
HSS - High Speed Steel			1	44	0,18
HSS - High Speed Steel			4	37	0,4
HSS - High Speed Steel			8	29	0,5

14 ANEXO IV: FOLHA DE OPERAÇÕES

A seguir é mostrado a folha de operações que deve ir anexa ao plano de processo da peça.

D_t = diâmetro da peça no torneamento [mm]							
D_m = diâmetro da fresa [mm]							
D_d = diâmetro da broca [mm]							
d = profundidade de corte [mm]							
E= eficiência							
f_m = taxa de avanço [mm/min]							
f_r = avanço [mm/rev]							
f_t =avanço por dente [mm/dente]							
kW_m = potência no motor [kW]							

	d	v _c	D	f	n	rpm	f _m	L	t	kW _s	kW _m	T
Furação												
Furar	2	49	12	0,3			1300,42	390,13	16	0,0410	4,01	5,016
Desbaste		105	18	0,45			1857,75	835,99	16	0,0191	19,35	24,186
Acabamento												99,45
Desbaste	1	49	25	0,55	624,20	343,31	26,5	0,0772	15,33	19,160	234,48	
Acabamento		49	25	0,55	624,20	343,31	26,5	0,0772	15,33	19,160	234,48	
Torneamento Interno												
Tornear	4	2,5	20	18	0,3	353,86	106,16	2	0,0188	8,32	10,395	224,41
Desbaste		2,5	20	20,5	0,3	310,70	93,21	2	0,0215	9,47	11,839	291,08
Acabamento		0,25	37	23	0,075	512,32	38,42	2	0,0521	4,91	6,143	91,60
Desbaste	0,25	37	23,25	0,075	506,81	38,01	2	0,0526	4,97	6,210	93,60	
Acabamento	0,25	37	23,75	0,075	496,14	37,21	2	0,0537	5,07	6,343	97,67	
Torneamento Externo	1	2,5	20	25	0,3	254,78	76,43	1,5	0,0196	11,55	14,438	432,89
Desbaste		2,5	20	27,5	0,3	231,62	69,48	1,5	0,0216	12,71	15,881	523,80
Acabamento		2,5	20	30	0,3	212,31	63,69	1,5	0,0236	13,86	17,325	623,36
Desbaste	0,25	37	32,5	0,075	362,57	27,19	1,5	0,0552	6,94	8,681	182,90	
Acabamento	0,25	37	32,75	0,075	359,80	26,98	1,5	0,0556	7,00	8,747	185,72	

D_t= diâmetro da peça no torneamento [mm]
 D_m= diâmetro da fresa [mm]
 D_d= diâmetro da broca [mm]
 d = profundidade de corte [mm]
 E= eficiência
 f_m= taxa de avanço [mm/min]
 f_i= avanço [mm/rev]
 f_t= avanço por dente [mm/dente]
 kW_m= potência no motor [kW]

kW_s= potência de usinagem [kW]
 L=comprimento de corte [mm]
 n= número de dentes
 P= unidade de potência [kW min/cm³]
 Q= taxa de remoção de material [cm³/min]
 rpm= rotações por minuto
 T_s= torque na usinagem [N.m]
 t= tempo de usinagem [min]
 v_c= velocidade de corte [m/min]

	d	v _c	D	f	n	rpm	f _m	L	t	kW _s	kW _m	T
	3	2,5	20	33	0,3	193,01	57,90	1,5	0,0259	15,25	19,058	754,27
Desbaste						180,69	54,21	1,5	0,0277	16,29	20,357	860,63
	20	35,25	0,3			179,42	53,83	1,5	0,0279	16,40	20,501	872,88
	20	35,5	0,3			168,73	50,62	1,5	0,0296	17,44	21,801	987,04
	20	37,75	0,3			167,62	50,28	1,5	0,0298	17,56	21,945	1000,15
	20	38	0,3			158,25	47,47	1,5	0,0316	18,60	23,244	1122,10
	20	40,25	0,3			157,27	47,18	1,5	0,0318	18,71	23,389	1136,08
	20	40,5	0,3			148,99	44,70	1,5	0,0336	19,75	24,688	1265,82
	20	42,75	0,3			148,13	44,44	1,5	0,0338	19,87	24,833	1280,67
	20	43	0,3			140,76	42,23	1,5	0,0355	20,91	26,132	1418,20
	20	45,25	0,3			139,99	42,00	1,5	0,0357	21,02	26,276	1433,91
	20	45,5	0,3			133,39	40,02	1,5	0,0375	22,06	27,576	1579,23
	20	47,75	0,3			132,70	39,81	1,5	0,0377	22,18	27,720	1595,81
	20	48	0,3			126,75	38,03	1,5	0,0394	23,22	29,019	1748,93
	20	50,25	0,3			126,13	37,84	1,5	0,0396	23,33	29,164	1766,37
	20	50,5	0,3			120,75	36,22	1,5	0,0414	24,37	30,463	1927,28
	20	52,75	0,3			120,18	36,05	1,5	0,0416	24,49	30,608	1945,59
	20	53	0,3			115,28	34,59	1,5	0,0434	25,53	31,907	2114,29

	d	vc	D	f	n	rpm	fm	L	t	kWs	kWm	T
Desbaste	20	55,5	0,3		114,76	34,43	1,5	0,0436	25,64	32,051	2133,46	
	20	57,75	0,3		110,29	33,09	1,5	0,0453	26,68	33,351	2309,95	
	20	58	0,3		109,82	32,95	1,5	0,0455	26,80	33,495	2330,00	
	20	60,25	0,3		105,72	31,71	1,5	0,0473	27,84	34,794	2514,28	
	20	60,5	0,3		105,28	31,58	1,5	0,0475	27,95	34,939	2535,19	
	20	62,75	0,3		101,50	30,45	1,5	0,0493	28,99	36,238	2727,26	
	20	63	0,3		101,10	30,33	1,5	0,0495	29,11	36,383	2749,04	
	20	65,25	0,3		97,62	29,28	1,5	0,0512	30,15	37,682	2948,90	
	20	65,5	0,3		97,24	29,17	1,5	0,0514	30,26	37,826	2971,54	
	20	67,75	0,3		94,01	28,20	1,5	0,0532	31,30	39,126	3179,20	
	20	68	0,3		93,67	28,10	1,5	0,0534	31,42	39,270	3202,71	
	20	70,25	0,3		90,67	27,20	1,5	0,0551	32,46	40,569	3418,16	
	20	70,5	0,3		90,35	27,10	1,5	0,0553	32,57	40,714	3442,53	
	20	72,75	0,3		87,55	26,27	1,5	0,0571	33,61	42,013	3665,77	
	20	73	0,3		87,25	26,18	1,5	0,0573	33,73	42,158	3691,01	
	20	75,25	0,3		84,64	25,39	1,5	0,0591	34,77	43,457	3922,04	
	20	75,5	0,3		84,36	25,31	1,5	0,0593	34,88	43,601	3948,15	
Acabamento	0,25	37	76,75	0,075	153,53	11,51	1,5	0,1303	16,40	20,499	1019,99	
Tempo total de usinagem					3,8785	min						

15 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Halevi, G., Weill, R. D., “*Princípios do Planejamento de Processos*”, tradução da primeira edição em inglês, 1995, por Dong Ho Choi;
- (2) Provenza, Francesco, “*Manual do Desenhista de Máquinas*”, Escola PROTEC;
- (3) Machinability Data Center, “*Machining Data Handbook*”, vol 1, 1980;
- (4) Machinability Data Center, “*Machining Data Handbook*”, vol 2, 1980.