

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DETERMINAÇÃO AUTOMÁTICA DE CONDIÇÕES DE USINAGEM
NA PROGRAMAÇÃO APT DE MÁQUINAS NC

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

AMYR ELMO DE CASTRO GIRONDI

FLORIANÓPOLIS, 19 DE DEZEMBRO DE 1988.

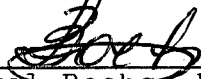
DETERMINAÇÃO AUTOMÁTICA DE CONDIÇÕES DE USINAGEM
NA PROGRAMAÇÃO APT DE MÁQUINAS NC

AMYR ELMO DE CASTRO GIRONDI

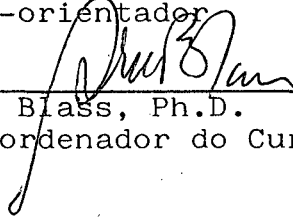
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
" MESTRE EM ENGENHARIA "
ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
FABRICAÇÃO, E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CURSO DE POS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. Aureo C. Ferreira, Ph.D.
Orientador



Prof. Lourival Bochs, Dr. Ing.
Co-orientador



Prof. Arno Blass, Ph.D.
Coordenador do Curso

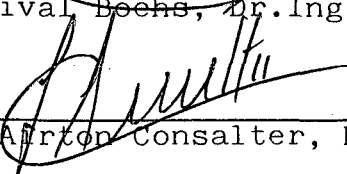
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Aureo C. Ferreira, Ph.D.
Presidente



Prof. Lourival Bochs, Dr. Ing.



Eng. Luiz Airton Consalter, M.Sc.

Aos meus pais,

Amyr e Ana Leone.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Aureo Campos Ferreira, pela orientação deste trabalho.

Ao Prof. Lourival Boehs, pela sua efetiva participação em todas as fases do meu trabalho e, especialmente, por uma constante disposição e boa vontade em orientar.

Ao Técnico em Mecânica Renato Borges, pela sua participação na fase experimental.

Aos Analistas de Sistemas Marcelo Tavares, Miriam Carneiro, Ricardo Rabelo e Jane Fantin, e ao pessoal do Grupo de Programação APT do GRUCON, pelo apoio e pelo desenvolvimento de programas de computador utilizados.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

A todos os amigos que conheci durante o Curso, em especial aos que participaram da famosa e inesquecível Turma do Mar de Lama.

À Odete de Fátima Dias de Jesus, pelo amor e companheirismo.

A Numericon S.A., pelos meios colocados à minha disposição para a edição deste trabalho.

INDICE

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
CAPITULOS	
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	3
2.1. Caracterização da operação de fresamento frontal	3
2.2. Grandezas envolvidas no processo	4
2.3. Usinabilidade e vida	5
2.4. Forças e potência de corte	7
2.5. Otimização das condições de usinagem	12
2.5.1. Otimização para máximo volume de produção	13
2.5.2. Otimização para mínimo custo de usinagem	18
2.5.3. Restrições tecnológicas na usinagem	24
2.5.4. Determinação do avanço para operações de acabamento	28
2.5.4.1. Rugosidade superficial	28
2.5.4.2. Acabamento superficial em operações de fresamento	29
2.5.4.3. Cálculo da rugosidade cinemática	31
2.5.4.4. Determinação do avanço por gume	32
2.6. Recomendações para seleção da ferramenta	35
2.6.1. Seleção do cabeçote de fresar	35
2.6.2. Seleção das pastilhas	45
3. METODOLOGIA DE ENSAIOS SISTEMATICOS DE USINAGEM PARA GERAÇÃO DE DADOS DO ARQUIVO DE CONDIÇÕES TECNOLOGICAS DE USINAGEM	53

3.1. Corpo de prova	54
3.2. Ferramenta	55
3.3. Máquina-ferramenta	57
3.4. Condições de usinagem	58
3.5. Condições de contato entre ferramenta e corpo de prova	60
3.6. Tipos de desgastes	64
3.6.1. Desgaste de flanco	64
3.6.2. Desgaste de cratera	65
3.6.3. Trincas em forma de pente e trincas transversais	66
3.7. Critérios de fim de vida do gume	67
3.8. Procedimento de ensaio	68
3.9. Análise e processamento dos resultados	69
4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL ENSAIADO	71
4.1. Aferições da máquina-ferramenta	71
4.1.1. Aferição do sistema de acionamento de avanços .	71
4.1.2. Aferição do sistema de acionamento da profundidade de corte	72
4.1.3. Aferição do sistema de acionamento da árvore ..	72
4.2. Ferramenta utilizada nos ensaios	73
4.3. Ensaio de vida de gume	73
4.4. Material dos corpos de prova	75
4.4.1. Dureza	76
4.4.2. Composição química	77
4.4.3. Análise metalográfica	77
4.4.4. Resistência mecânica	79
4.4.5. Determinação de $K_{c1.1}$ e de $(1-m_c)$	80

4.5. Equipamentos utilizados	81
4.5.1. Equipamentos utilizados no ensaio de vida do gume	81
4.5.2. Equipamentos utilizados para a caracterização do material	82
4.5.3. Equipamentos utilizados nas aferições	82
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE USINABILIDADE	83
6. SISTEMA DE DETERMINAÇÃO AUTOMÁTICA DE CONDIÇÕES OTIMIZADAS DE USINAGEM (DETAUT) NA PROGRAMAÇÃO APT	95
6.1. Descrição	95
6.2. Movimentação da ferramenta	101
7. CONCLUSÕES	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
APÊNDICE I	111
APÊNDICE II	115
APÊNDICE III	117
APÊNDICE IV	120

RESUMO

Neste trabalho é apresentado um sistema de otimização de condições de usinagem no fresamento para auxiliar a programação APT (Automatically Programmed Tool) de máquinas de comando numérico (NC). Através dele, a determinação de velocidades otimizadas de corte e de avanço, a distribuição dos passes, a seleção e movimentação da ferramenta e a geração de códigos na linguagem APT são feitos automaticamente. O sistema DETAUT (Determinação Automática de Condições de Corte) proporciona, assim, uma redução do tempo, do esforço e do custo de programação, bem como permite que se tire o máximo rendimento das ferramentas e das máquinas NC.

ABSTRACT

This work presents a system to support the development of part programming for APT (Automatically Programmed Tool) as far as selection and optimization of machining conditions is concerned in milling. The aim is the automatic generation of technological APT codes on part programs. The system helps the selection of tool, the distribution of cuts on area clearance and calculates the feed rate and speeds based on economics and machining constraints criteria. The DETAUT (Automatic Determination of Cutting Conditions) offers a substantial reduction on effort, time and programming costs.

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

O objetivo dos vários desenvolvimentos tecnológicos na área de automação, na indústria metal-mecânica, é formar um sistema integrado de fabricação que torne ótima a cooperação entre homem e máquina /1/. Um grande avanço, nesse sentido, foi conseguido com o surgimento das máquinas comandadas numericamente e das linguagens de programação de alto nível.

Comando Numérico (NC) é o comando de uma máquina-ferramenta, durante um processo de usinagem, através da execução de uma sequência de instruções pré-codificadas /2/.

A utilização do computador no auxílio a programação das máquinas NC possibilitou o desenvolvimento dos sistemas (ou linguagens) de programação.

A introdução das linguagens de programação de máquinas NC veio, a exemplo da introdução das linguagens de alto nível no processamento de dados (FORTRAN, COBOL, PL/1, ...), facilitar a comunicação homem-máquina. A linguagem APT (Automatically Programmed Tools) foi criada no MIT (Massachusetts Institute of Technology) em 1953 /3,4/, sob contrato com a Força Aérea dos Estados Unidos. Concebida, inicialmente, para a programação de fresadoras com vários eixos de comando contínuo, o APT é uma linguagem com muitos recursos, cuja principal característica é a sua grande capacidade de descrição geométrica simbólica de peças.

Por volta de 1965, iniciou-se o desenvolvimento de novas linguagens, baseadas na linguagem APT. Assim, surgiram o EXAPT, o

NEL 2CL (hoje chamado NELAPT) e o IFAPT /5/.

A técnica NC, através de seus muitos recursos, proporcionou uma significativa redução dos tempos não produtivos. O tempo de corte, em usinagem NC, representa a maior parcela do tempo total de usinagem de uma peça. Um sistema de programação assistida por computador deve, portanto, fornecer soluções aos problemas tecnológicos (determinação de profundidades, avanços e velocidades de corte) da usinagem, não se restringindo apenas aos problemas geométricos da movimentação da ferramenta /6,7/.

O Sistema de Determinação Automática de Condições de Corte (DETAUT) é um software apoiado pelo banco de dados do Centro de Informações de Usinagem (CINFUS). Com a utilização desse sistema, a determinação de velocidades otimizadas de corte e de avanço, a escolha da ferramenta, a distribuição dos passes e a movimentação da ferramenta para a execução da usinagem são feitos automaticamente. O sistema DETAUT foi desenvolvido para operações de fresamento com cabeçote de fresar e para linguagem APT de programação de máquinas NC.

CAPITULO 2

REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Caracterização da Operação de Fresamento Frontal

O fresamento é um processo de usinagem, destinado à obtenção de superfícies quaisquer, com a utilização de ferramentas, geralmente, multicortantes. Para isso, a ferramenta gira, havendo adicionalmente um movimento relativo ferramenta-peça que gera as mais diversas trajetórias resultantes da combinação de tais movimentos. O fresamento é um dos processos de usinagem mais versáteis, assim como proporciona altas taxas de remoção de material. Entretanto, devido ao grande número de fatores que podem influenciar o resultado da operação, é dos mais complexos.

Existem dois tipos básicos de fresamento:

- Fresamento tangencial: a superfície gerada é paralela ao eixo de rotação da ferramenta.
- Fresamento frontal: a superfície gerada é perpendicular ao eixo de rotação da ferramenta.

Há, ainda, casos em que os dois tipos básicos de fresamento estão presentes simultaneamente, podendo ou não haver predominância de um sobre o outro. A figura 1 apresenta os vários tipos de operações de fresamento e as ferramentas utilizadas em cada caso.

O presente trabalho trata do fresamento frontal com cabeçote de facear (figura 1f).

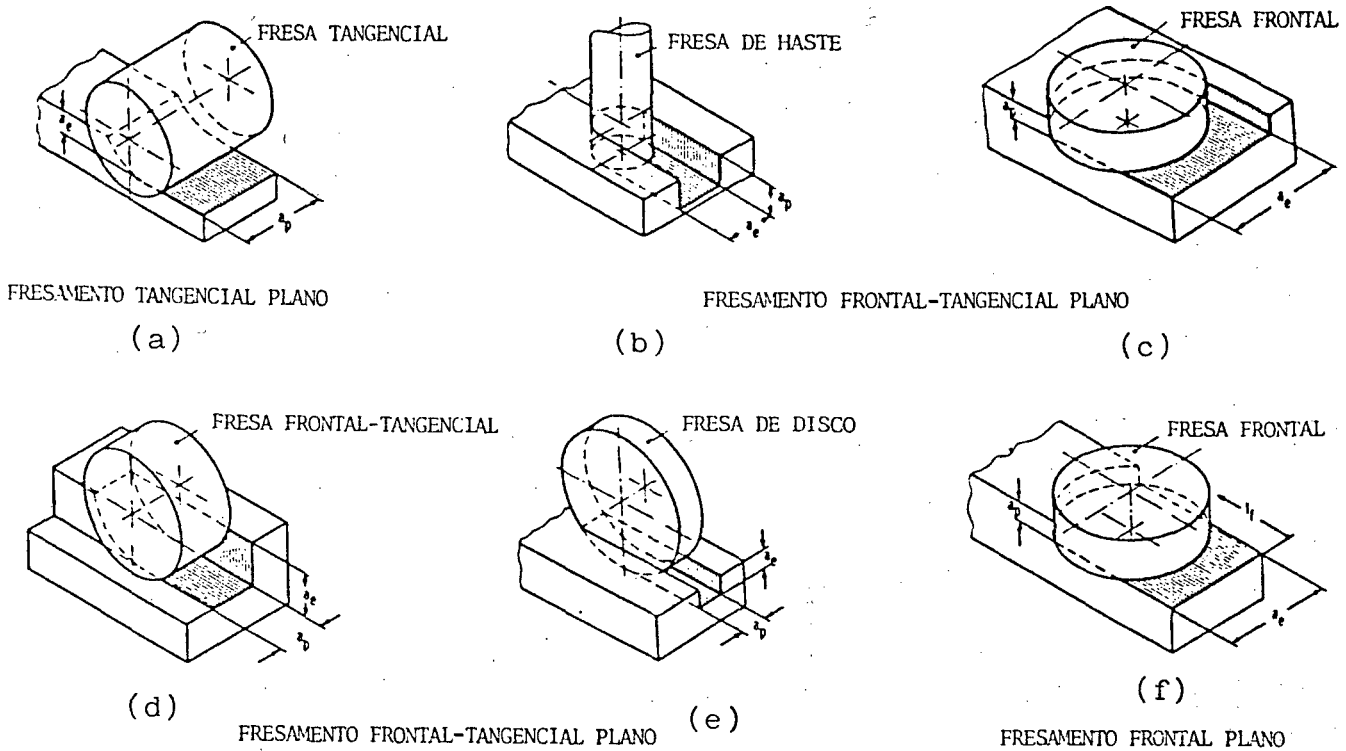


Figura 1 Tipos de operações de fresamento.

2.2 Grandezas Envolvidas no Processo

A figura 2 mostra as principais grandezas envolvidas na operação de fresamento frontal com fresa frontal. Essas grandezas e suas respectivas unidades são:

a_e : largura de corte, mm

a_p : profundidade de corte, mm

D : diâmetro da fresa, mm

L : comprimento de fresamento, mm

n : rotação da árvore, rpm

v_f : velocidade de avanço da mesa, mm/min

z : número de dentes da fresa

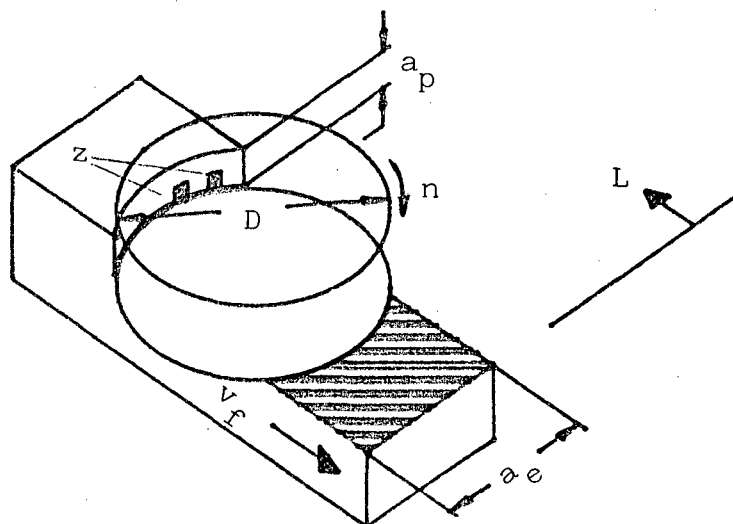


Figura 2 Grandezas envolvidas no processo.

A partir dessas grandezas, pode-se determinar a velocidade de corte v_c , o avanço por gume f_z , a taxa de remoção de material V e o tempo de fresamento t pelas seguintes equações:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1)$$

$$f_z = \frac{v_f}{n \cdot z} \quad (2)$$

$$V = a_p \cdot a_e \cdot v_f \quad (3)$$

$$t = \frac{L}{v_f} \quad (4)$$

2.3 Usinabilidade e Vida

A usinabilidade pode ser definida como sendo o comportamento de determinado material quando submetido a conformação com

remoção de cavacos /8/.

Várias são as formas de se avaliar a usinabilidade. Dentre as principais estão a vida do gume da ferramenta, as forças de usinagem, o acabamento superficial da peça, a precisão dimensional, a temperatura de corte, a produtividade e a forma do cavaco /9,10/. A vida do gume da ferramenta é, entretanto, considerada como o fator mais importante na avaliação da usinabilidade /11/.

Entende-se por vida do gume de uma ferramenta o tempo que o mesmo efetivamente trabalha, até perder sua capacidade de corte, dentro de um critério previamente estabelecido. Esse critério é, normalmente, o desgaste do gume.

Em uma operação de usinagem, o desgaste da ferramenta de corte é influenciado, em parte, por fatores não integralmente conhecidos. No entanto, pode ser descrito, aproximadamente, em função das condições de usinagem. Logo, a interdependência entre desgaste e condições de usinagem deve ser levantada /10/.

Atualmente, a equação que melhor representa tal relação é conhecida como equação de Taylor expandida para o processo de fresamento /12/, representada por:

$$v_c = C \cdot a_p^E \cdot f_z^F \cdot VK^G \cdot T^H \cdot (a_e/D)^I, \text{ onde} \quad (5)$$

VK: critério de desgaste da ferramenta, mm

T: vida do gume da ferramenta, min

C: constante de Taylor

E, F, G, H e I: expoentes da equação de Taylor expandida

Na equação 5, cada expoente pondera os fatores a que estão

ligados, em relação as suas influências sobre a velocidade de corte.

Com a finalidade de determinar os valores da constante e dos expoentes da equação de Taylor expandida, para cada combinação material da ferramenta-material da peça, são realizados os ensaios sistemáticos de usinagem, cujo procedimento será descrito no Capítulo 3.

2.4 Forças e Potência de Corte

De todas as forças envolvidas no processo de fresamento/9/, é somente a força principal de corte F_c que determina a potência de corte (figura 3).

Em operações de fresamento, o gume, durante a sua trajetória pela peça, produz um cavaco que não tem espessura constante.

Devido a variação da espessura h ao longo do ângulo de contato ψ_c (figura 4), a força principal de corte e, conseqüentemente, a potência de corte, também variam ao longo de ψ_c . Usa-se, então, a força principal de corte média, que é expressa pela seguinte equação:

$$F_{cm} = K_{cm} \cdot s, \text{ onde} \quad (6)$$

K_{cm} : pressão específica de corte média

s : área de corte

Obtêm-se a espessura média do cavaco h_m dividindo-se a área hachurada da figura 4 pelo comprimento do arco de contato. Assim:

$$h_m = \frac{360 \cdot a_e \cdot f_z \cdot \text{sen } K_r}{\Pi \cdot D \cdot \psi_c} \quad (7)$$

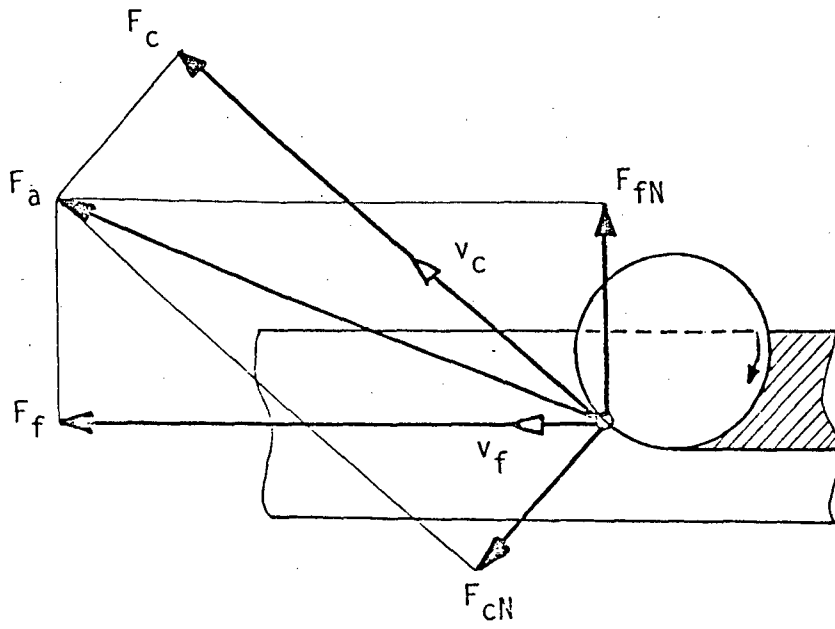


Figura 3 Forças envolvidas no processo.

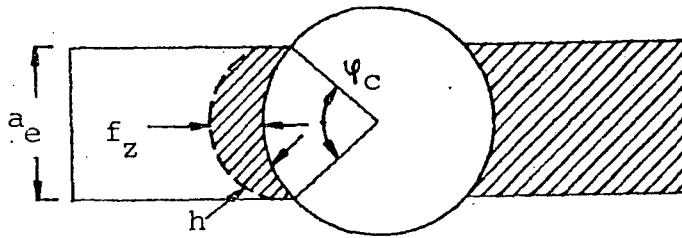


Figura 4 Espessura média do cavaco.

O ângulo de contato ψ_c é função da largura de corte, do diâmetro da fresa e da posição relativa entre peça e ferramenta. Para a determinação da área de corte (área hachurada da figura 5) tem-se:

$$s = b \cdot h_m \quad , \text{ mas} \quad (8)$$

$$b = \frac{a_p}{\text{sen } K_r} \quad . \text{ Logo,} \quad (9)$$

$$s = \frac{a_p}{\text{sen } K_r} \cdot h_m \quad (10)$$

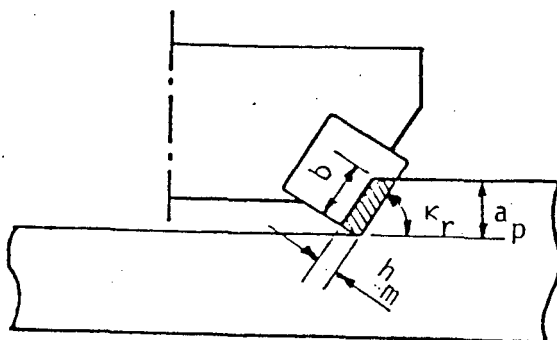


Figura 5
Área de corte.

A pressão específica de corte depende da espessura do cavaco e, portanto, também varia ao longo de ψ_c . A pressão específica de corte média K_{cm} é a pressão específica de corte correspondente a uma espessura média do cavaco h_m . A relação entre K_{cm} e h_m é dada pela equação de Kienzle /9/:

$$K_{cm} = \frac{K_{c1.1}}{h_m^m} \quad (11)$$

A força específica de corte $K_{c1.1}$ é a força de corte atuante em uma secção de $1 \times 1 \text{ mm}^2$.

O valor de $K_{c1.1}$ é obtido experimentalmente, através de medições da força principal de corte F_c para diversas secções de usinagem. De posse dos valores de F_c , b e h pode-se determinar o valor de $K_{c1.1}$ por meio de regressão linear dos pontos experimentais colocados em escala di-logarítmica onde, no eixo das abscissas, tem-se os valores de h e, no eixo das ordenadas, os valores de F_c/b , conforme mostrado na figura 6. Esse valor é, portanto, igual ao valor de F_c/b para uma espessura de corte $h = 1,0 \text{ mm}$. O valor do expoente $(1-m_c)$ corresponde ao coeficiente angular da reta.

Os principais fatores que afetam a pressão específica de corte média K_{cm} são /13/:

- características do material a usinar;
- material e geometria da ferramenta;
- avanço e profundidade de corte (área de corte);
- velocidade de corte;
- utilização de fluido de corte e
- desgaste da ferramenta.

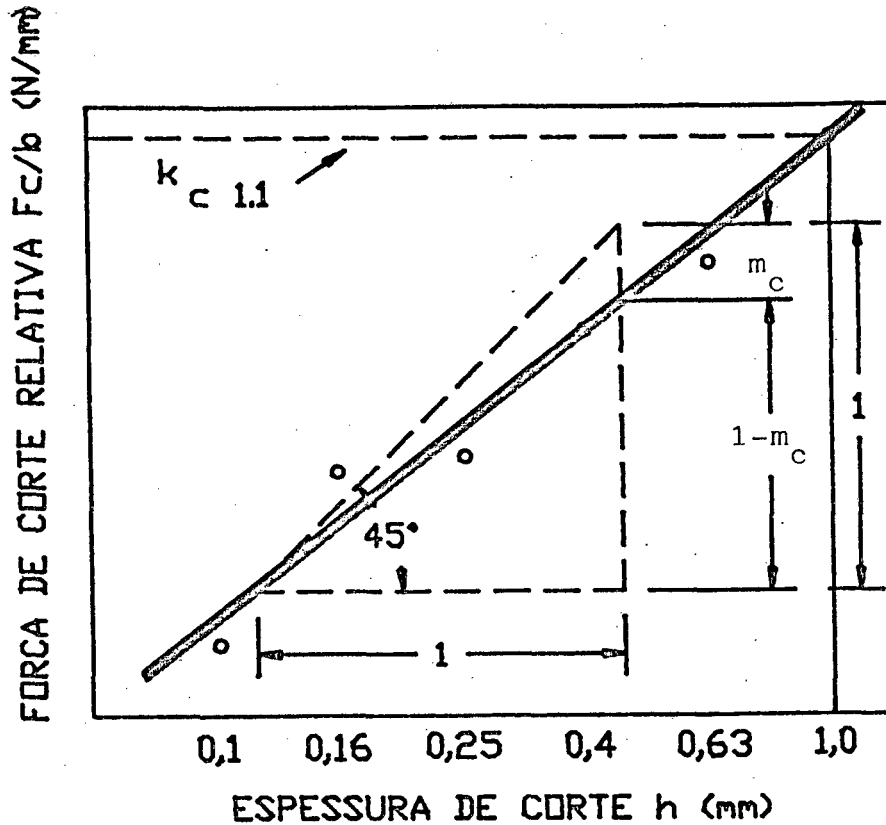


Figura 6 Determinação de $k_{c1.1}$ e de $(1-m_c)$

Para considerar a influência desses fatores sobre K_{cm} , recomenda-se a utilização da seguinte equação /14/:

$$K_{cm} = \frac{K_{c1.1}}{h_m^{m_c}} \cdot K_\gamma \cdot K_v \cdot K_{st} \cdot K_{ver} \quad , \text{ onde} \quad (12)$$

K_γ : fator de correção do ângulo de saída. Para o cálculo de K_γ utiliza-se a seguinte equação:

$$K_\gamma = 1 - \frac{\gamma - \gamma_r}{100} \quad , \text{ onde} \quad (13)$$

γ_r é o ângulo de referência, tomando-se $+6^\circ$ na usinagem de aços e $+2^\circ$ na usinagem de ferros fundidos.

K_v : fator de correção da velocidade de corte.

K_{st} : fator de correção do recalque do cavaco.

K_{ver} : fator de correção do desgaste da ferramenta.

Substituindo-se os valores das equações 10 e 11 na equação 6 tem-se:

$$F_{cm} = k_{c1.1} \cdot h_m^{(1-m_c)} \cdot \frac{a_p}{\text{sen } K_r} \quad (14)$$

Para o cálculo da potência, entretanto, deve-se considerar o número de gumes que estão simultaneamente em contato com a peça, dado por:

$$z_c = \frac{z \cdot \psi_c}{360} \quad (15)$$

A potência de corte é determinada pela seguinte equação:

$$P_{cm} = \frac{F_{cm} \cdot v_c \cdot z_c}{60000} \quad (\text{kW}) \quad (16)$$

Através da comparação da potência necessária para o corte (dada pela equação 16) com a potência disponível na máquina-ferramenta (equação 17), poderão ser otimizadas as condições de usinagem sem o risco de sobrecarga da máquina-ferramenta. Assim:

$$P_a = \frac{P_{cm}}{\eta}$$

P_a é a potência necessária na árvore da máquina e η é o rendimento da máquina-ferramenta.

2.5 Otimização das Condições de Usinagem

A análise de otimização do processo de usinagem tem sido estudada desde 1950, quando Gilbert publicou um trabalho intitulado "Economics of Machining". Nesse trabalho ele introduziu os critérios de "otimização para mínimo custo de usinagem" e "otimização para máximo volume de produção", que

podem ser resumidos da seguinte forma /3/:

- Otimização para mínimo custo de usinagem: consiste na seleção de condições de corte que levem a usinar uma peça com o menor custo possível. É o critério a ser adotado quando não se estiver preocupado com o tempo para a produção.

- Otimização para máximo volume de produção: consiste na seleção de condições de corte que maximizem a quantidade de peças produzidas em um determinado intervalo de tempo. Com isso, deve haver uma minimização do tempo de produção por peça. Esse critério deve ser adotado quando se deseja um aumento de produção, em prejuízo do custo envolvido ou do lucro obtido.

A figura 7 fornece algumas recomendações válidas na escolha do critério de otimização a ser adotado. São levados em consideração os seguintes fatores: demanda ou volume de produção, custos das ferramentas e máquinas e o nível de salário da mão-de-obra envolvida /15/.

A solução numérica do problema de otimização está ligada a uma série de dados, nem sempre fáceis de se obter na indústria /9/. Portanto, quanto mais minuciosa for a contabilidade da fábrica, mais fácil será a obtenção desses dados e mais precisos serão os resultados obtidos.

2.5.1 Otimização para Máximo Volume de Produção

Para a determinação da velocidade de corte ótima segundo o critério de máximo volume de produção deve-se, inicialmente, fazer uma análise dos tempos envolvidos no processo de fabricação de um lote de z peças.

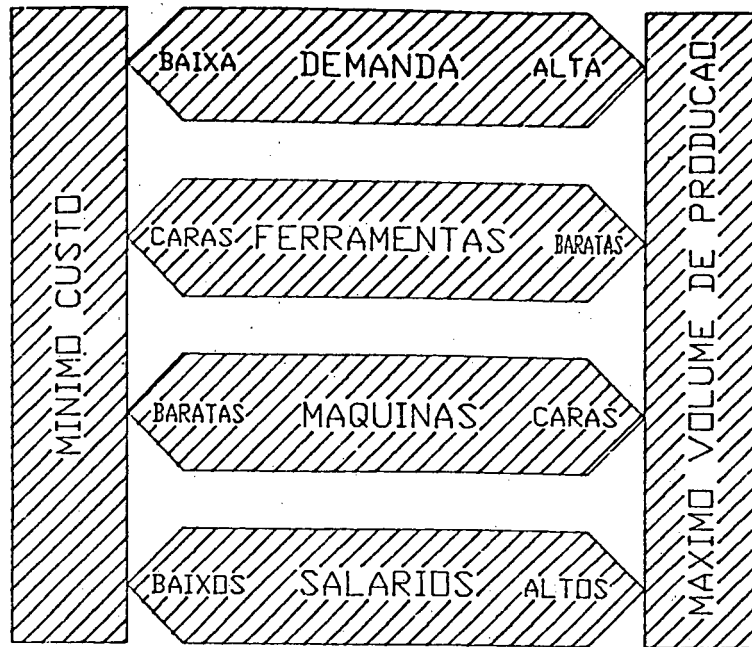


Figura 7 - Recomendações para escolha do critério de otimização.

O tempo total de usinagem por peça t_t , para um lote de Z peças, será:

$$t_t = t_c + t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} + \frac{n}{Z} \cdot (t_{ft} + t_{fa}), \text{ onde} \quad (18)$$

t_c : tempo de corte propriamente dito

t_s : tempo secundário de usinagem, correspondente a colocação e fixação da peça em bruto ou semi-acabada na máquina-ferramenta, bem como a inspeção (se necessária) e retirada da peça usinada.

t_a : tempo de aproximação e afastamento da ferramenta

t_p : tempo de preparação da máquina para um lote de Z peças.

t_{ft} : tempo de troca da ferramenta, correspondente a remoção de todas as pastilhas do cabeçote de fresar para troca do gume, bem como a recolocação e ajustagem das mesmas normalmente no cabeçote.

t_{fa} : tempo de afiação da ferramenta. Como ferramentas de metal duro ou cerâmica, normalmente, não são afiadas, considera-se

$t_{fa} = 0$.

n_t : número de trocas da ferramenta para a usinagem do lote Z .

Supondo-se que a máquina tenha sido preparada com pastilhas novas, o número de trocas da ferramenta, para a usinagem do lote Z, será:

$$n_t = Z \cdot \frac{t_c}{T} - 1 \quad (19)$$

Substituindo-se o valor de n_t da equação 19 na equação 18, vem:

$$t_t = t_c + \left(t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} \right) + \left(\frac{t_c}{T} - \frac{1}{Z} \right) \cdot t_{ft} \quad (20)$$

Como mostra a equação 20, o tempo de usinagem por peça pode ser constituído de 3 parcelas, ou seja:

$$t_t = t_c + t_1 + t_2 \quad , \text{ onde} \quad (21)$$

t_c : tempo de corte propriamente dito

t_1 : tempo improdutivo, correspondendo a colocação, fixação, inspeção e retirada da peça, aproximação e afastamento da ferramenta e preparo da máquina para usinagem do lote.

t_2 : tempo de troca da ferramenta

A variação dessas parcelas do tempo total de fabricação com a velocidade de corte pode ser vista na figura 8.

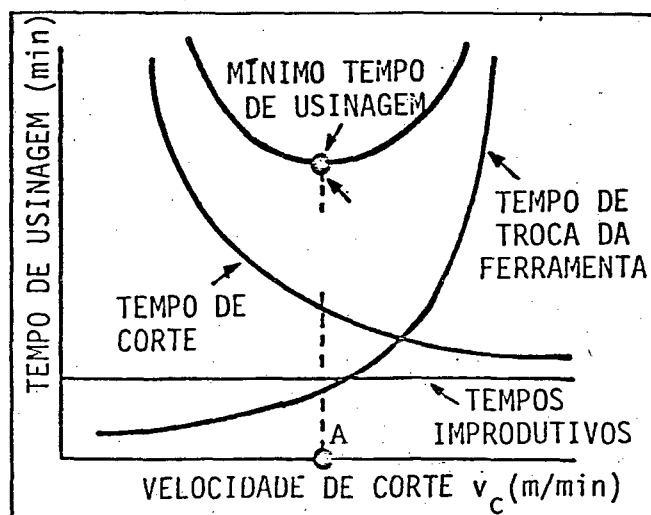


Figura 8 Variação das parcelas do tempo total de usinagem com a velocidade de corte.

Em operações de fresamento, o tempo de corte t_c é dado pela seguinte expressão:

$$t_c = \frac{\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot v_c \cdot z \cdot f_z} \quad (22)$$

Substituindo o valor de t_c , dado pela equação 22, na equação 20 obtém-se:

$$t_t = \frac{\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot v_c \cdot z \cdot f_z} + \left(t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} \right) + \left(\frac{\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot v_c \cdot z \cdot f_z \cdot T} - \frac{1}{Z} \right) t_{ft} \quad (23)$$

Da equação de Taylor expandida tem-se que:

$$T = \frac{v_c^{1/H}}{C^{1/H} \cdot a_p^{E/H} \cdot f_z^{F/H} \cdot V_k^{G/H} \cdot (a_e/D)^{I/H}} \quad (24)$$

Substituindo o valor de T, dado pela equação 24, na equação 23,

vem:

$$t_t = \frac{\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot v_c \cdot z \cdot f_z} + \left(t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} \right) + \dots$$

$$\dots + \left(\frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot C^{1/H} \cdot a_p^{E/H} \cdot f_z^{F/H} \cdot V_k^{G/H} \cdot (a_e/D)^{I/H} \cdot v_c^{-(1+1/H)}}{1000 \cdot z \cdot f_z} - \dots \right)$$

$$\dots - \frac{1}{Z} \cdot t_{ft} \quad (25)$$

Comparando-se a equação 25 com a equação 21, as três parcelas do tempo total de fabricação por peça tem os seguintes valores:

$$t_c = \frac{\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot v_c \cdot z \cdot f_z} \quad (26)$$

$$t_1 = t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} \quad (27)$$

$$t_2 = \left(\frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot C^{1/H} \cdot a_p^{E/H} \cdot f_z^{F/H} \cdot VK^{G/H} \cdot (a_e/D)^{I/H} \cdot v_c^{-(1+1/H)}}{1000 \cdot z \cdot f_z} \dots \right)^{17} \cdot t_{ft} \quad (28)$$

A velocidade de corte para o máximo volume de produção (ou para t_t mínimo), se dará quando a derivada de t_t , em relação a v_c for nula. Logo:

$$\frac{dt_t}{dv_c} = \frac{-\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot v_c^2 \cdot z \cdot f_z} - (1+1/H) \cdot$$

$$\left(\frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot C^{1/H} \cdot a_p^{E/H} \cdot f_z^{F/H} \cdot VK^{G/H} \cdot (a_e/D)^{I/H} \cdot v_c^{-(2+1/H)} \cdot t_{ft}}{1000 \cdot z \cdot f_z} \right) = 0 \quad (29)$$

ou ainda:

$$\frac{1}{v_c^2} + (1+1/H) \cdot C^{1/H} \cdot a_p^{E/H} \cdot f_z^{F/H} \cdot VK^{G/H} \cdot (a_e/D)^{I/H} \cdot v_c^{-(2+1/H)} \cdot t_{ft} = 0 \quad (30)$$

Portanto, a velocidade de corte para o máximo volume de produção será:

$$v_{c_{mxp}} = C \cdot a_p^E \cdot f_z^F \cdot VK^G \cdot (a_e/D)^I \cdot \left[-(1+1/H) \cdot t_{ft} \right]^H \quad (31)$$

Fazendo-se:

$$K = C \cdot a_p^E \cdot f_z^F \cdot VK^G \cdot (a_e/D)^I \quad (32)$$

a equação 31 fica:

$$v_{c_{mxp}} = K \cdot \left[-(1+1/H) \cdot t_{ft} \right]^H \quad (33)$$

O termo entre colchetes da equação 33 representa a vida ótima da ferramenta para o máximo volume de produção, ou seja:

$$T_{\text{mxp}} = -(1+1/H) \cdot t_{\text{ft}} \quad (34)$$

2.5.2 Otimização para Mínimo Custo de Usinagem

Com o aumento da velocidade de corte ou do avanço obtém-se uma redução do tempo de usinagem por peça. Dessa forma, a parte do custo total de fabricação relativa à máquina-ferramenta e mão-de-obra será também reduzida. Por outro lado, a parte do custo total relativa à ferramenta aumentará, já que esse aumento na velocidade de corte provocará, também, uma diminuição da vida da ferramenta.

Define-se "velocidade econômica de corte" como a velocidade de corte na qual o custo total de fabricação por peça é mínimo /9/.

Para o cálculo da velocidade econômica de corte necessita-se determinar, primeiramente, o custo total de produção. Para isso, define-se os seguintes custos por peça:

K_p : custo total de usinagem

K_m : custo total da matéria-prima

K_{us} : custo de mão-de-obra de usinagem

K_{uf} : custo das ferramentas

K_{um} : custo da máquina-ferramenta

K_{if} : custo indireto de fabricação, independente da velocidade de corte.

A equação do custo total de fabricação por peça será, portanto:

$$K_p = K_m + K_{us} + K_{uf} + K_{um} + K_{if} \quad (35)$$

Na equação 35, os custos K_{us} , K_{um} e K_{uf} são dependentes das condições de corte (velocidade de corte e avanço), ou seja, do tempo de usinagem. Para essas 3 grandezas pode-se estabelecer as seguintes equações:

a) Custo de mão-de-obra, por peça:

$$K_{us} = t_t \cdot \frac{S_h}{60} \quad (\$/peça) \quad , \text{ onde} \quad (36)$$

t_t : tempo total de fabricação, min/pç

S_h : salário mais sobretaxas, \$/h. As sobretaxas incluem encargos sociais, supervisão, serviços gerais, administração da fábrica, etc.)

b) Custo da máquina, por peça

Considerando-se a depreciação da máquina-ferramenta tem-se:

$$K_{um} = \frac{t_t}{H \cdot 60} \cdot \left[\left(V_{mi} - V_{mi} \cdot \frac{m}{M} \right) \cdot j + \frac{V_{mi}}{M} + K_{mc} + E_m \cdot K_e \cdot j \right] \quad (37)$$

H: número de horas de trabalho por ano

V_{mi} : valor inicial de aquisição da máquina, \$

m: idade da máquina, anos

M: vida prevista para a máquina, anos

j: taxa de juros por ano

K_{mc} : custo anual de conservação da máquina, \$/ano

E_m : espaço ocupado pela máquina, m^3

K_e : custo do espaço ocupado pela máquina, $\$/m^3$. Refere-se a

remuneração do capital investido na construção e manutenção das instalações onde estão os equipamentos.

O custo da máquina, por peça, pode também ser expresso pela seguinte equação:

$$K_{um} = \frac{t_t}{60} \cdot S_m, \quad \text{onde:} \quad (38)$$

S_m : custo total da máquina, \$/h

c) Custo da ferramenta, por peça:

$$K_{uf} = \frac{1}{Z_T} \cdot K_{fT}, \quad \text{onde:} \quad (39)$$

Z_T : número de peças usinadas durante a vida T da ferramenta.

K_{fT} : custo da ferramenta por vida T, \$

Porém, tem-se que:

$$Z_t = \frac{T}{t_c} \quad (40)$$

Logo, a equação do custo da ferramenta fica:

$$K_{uf} = \frac{t_c}{T} \cdot K_{fT} \quad (41)$$

Para o cálculo do custo da ferramenta por vida é válida a seguinte equação:

$$K_{fT} = \frac{1}{n_{fp}} \cdot V_{si} + \frac{K_s}{n_s}, \quad \text{onde} \quad (42)$$

n_{fp} : vida média do cabeçote de fresar, em quantidade de gumes, até sua possível inutilização (por exemplo: 500).

V_{si} : custo de aquisição do cabeçote de fresar, \$

K_s : custo de aquisição de cada pastilha, \$

n_s : número de gumes da pastilha

Substituindo-se os valores de K_{us} , K_{um} e K_{uf} dados pelas equações 36, 38 e 41, respectivamente, na equação 35, tem-se:

$$K_p = K_m + t_t \cdot \frac{S_h}{60} + \frac{t_c}{T} \cdot K_{fT} + \frac{t}{60} \cdot S_m + K_{if} \quad (43)$$

$$K_p = K_m + \frac{t}{60} \cdot (S_h + S_m) + \frac{t_c}{T} \cdot K_{fT} + K_{if} \quad (44)$$

A equação do tempo total de fabricação por peça t_t (equação 20) pode ser escrita da seguinte forma:

$$t_t = t_c + t_1 + \left(\frac{t_c}{T} - \frac{1}{Z} \right) \cdot t_{ft} \quad (45)$$

Substituindo-se o valor de t_t da equação 45 na equação 44 tem-se:

$$K_p = K_m + \frac{t}{60} \cdot (S_h + S_m) + \frac{t_c}{60} \cdot (S_h + S_m) + \frac{t_c}{T} \cdot \left[K_{fT} + \frac{t_{ft}}{60} \cdot (S_h + S_m) \right] + K_{if} \quad (46)$$

ou ainda:

$$K_p = C_1 + \frac{t_c}{60} \cdot C_2 + \frac{t_c}{T} \cdot C_3 \quad , \text{ onde:} \quad (47)$$

C_1 : parcela de custo independente da velocidade de corte, \$/peça.
Corresponde a manutenção da máquina, despesas administrativas, dispositivos, iluminação da fábrica, etc.

C_2 : soma das despesas totais de mão-de-obra e salário máquina, \$/h.

C_3 : parcela de custo relativa a ferramenta, \$

As 3 parcelas de custo da equação 47 podem ser representadas, em função da velocidade de corte, conforme figura 9.

O mínimo custo de usinagem por peça localiza-se no ponto em que a somatória das parcelas individuais de custos apresentar o

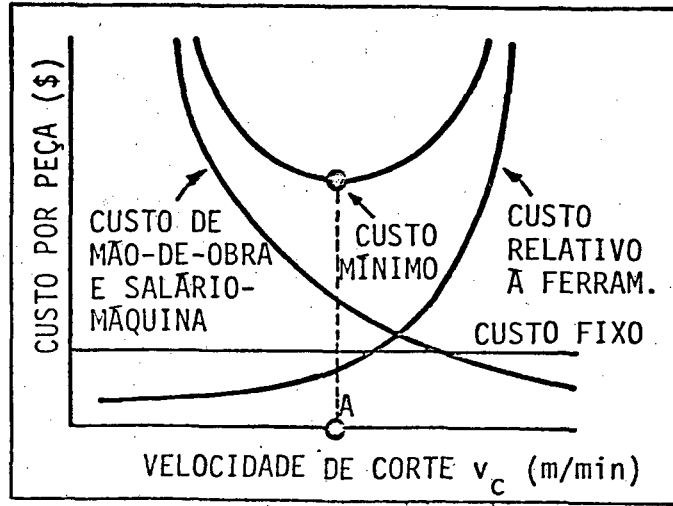


Figura 9 Variação das parcelas do custo por peça com a velocidade de corte.

seu menor valor.

Substituindo o valor de t_c , dado pela equação 22 e o valor de T dado pela equação 24 na equação 47 tem-se:

$$K_p = C_1 + \frac{\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot v_c \cdot z \cdot f_z \cdot 60} \cdot C_2 + \dots$$

$$\dots + \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot C_p^{1/H} \cdot a_p^{E/H} \cdot f_z^{F/H} \cdot V K^{G/H} \cdot (a_e/D)^{I/H} \cdot v_c^{-(1+1/H)}}{1000 \cdot z \cdot f_z} \cdot C_3$$

(48)

A velocidade de corte para o mínimo custo de usinagem, analogamente ao caso anterior, se dará quando a derivada de K_p em relação a v_c for nula. Dessa forma:

$$\frac{dK_p}{dv_c} = - \frac{\pi \cdot D \cdot L}{1000 \cdot f_z \cdot z \cdot 60 \cdot v_c^2} \cdot C_2 - \dots$$

$$\dots - (1+1/H) \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot C_p^{1/H} \cdot a_p^{E/H} \cdot f_z^{F/H} \cdot V K^{G/H} \cdot (a_e/D)^{I/H} \cdot v_c^{-(2+1/H)} \cdot C_3 = 0$$

(49)

(50)

ou ainda:

$$\frac{1}{60 \cdot v_c^2} \cdot C_2 + (1+1/H) \cdot C^{1/H} \cdot a_p^{E/H} \cdot f_z^{F/H} \cdot VK^{G/H} \cdot (a_e/D)^{I/H} \cdot v_c^{-(2+1/H)} \cdot C_3 = 0$$

Logo, a velocidade de corte para o minimo custo de usinagem será:

$$v_{c_{mc}} = C \cdot a_p^E \cdot f_z^F \cdot VK^G \cdot (a_e/D)^I \cdot \left[-60 \cdot (1+1/H) \cdot \frac{C_3}{C_2} \right]^H \quad (51)$$

Ou, pela equação 32:

$$v_{c_{mc}} = C \cdot K \cdot \left[-60 \cdot (1+1/H) \cdot \frac{C_3}{C_2} \right]^H \quad (52)$$

Nessa equação tem-se:

$$C_2 = S_h + S_m \quad (\$/hora) \quad (53)$$

$$C_3 = K_{fT} + \frac{t_{ft}}{60} \cdot (S_h + S_m) \quad (\$) \quad (54)$$

O termo entre colchetes da equação 52 representa a vida ótima da ferramenta para o minimo custo de usinagem (chamada vida econômica da ferramenta). Logo:

$$T_{mc} = -60 \cdot (1+1/H) \cdot \frac{C_3}{C_2} \quad (55)$$

Devido a variação escalonada de rotações de certas máquinas-ferramenta, nem sempre é possível se trabalhar na velocidade ótima de corte calculada. Entretanto, próximo aos pontos de minimo (pontos A nas figuras 8 e 9), pequenas variações da v_c tem pouca influência sobre o custo ou o tempo total de usinagem /7/.

2.5.3 Restrições Tecnológicas na Usinagem

A velocidade de corte é um fator de preponderante importância na usinagem, já que dela depende não só a produtividade, mas também é ela quem provoca acelerado desgaste nas ferramentas. Outros parâmetros de usinagem, como avanço e profundidade de corte, tem menor influência sobre o desgaste, porém aumentam linearmente a força e a potência de corte, exigindo maior rigidez da máquina e da ferramenta para evitar o aparecimento de vibrações. Ao contrário da velocidade, a otimização desses fatores não se faz por critérios de máximo e mínimo a partir de uma diferenciação, mas são otimizações de extremo, já que se prova que /15/:

- a) O ótimo avanço, para máximo volume de produção ou para mínimo custo de usinagem, é o máximo avanço.
- b) A ótima profundidade de corte também é sempre a máxima possível.
- c) O ótimo avanço, para a mínima rugosidade superficial, é o menor avanço.

De forma a se obter o maior volume de cavacos removidos durante a vida de uma ferramenta, deve-se escolher a maior profundidade de corte possível. A escolha de grandes profundidades de corte implica na redução do número de passes. Dessa forma, se conseguirá uma redução não somente do tempo total de corte mas também dos tempos de posicionamento da ferramenta para a execução do próximo passe. Isso, por fim, levará a uma diminuição do tempo total de usinagem por peça.

A máxima profundidade de corte é limitada pelo comprimento

do gume da pastilha. No máximo 75% do comprimento do gume (l_g) deve estar em contato com a peça durante o corte /16/. Logo, pelo triângulo retângulo ABC da figura 10, a máxima profundidade de corte, em relação ao comprimento do gume, será:

$$a_{p\text{máx}} = 0,75 \cdot l_g \cdot \text{sen } K_r \quad (56)$$

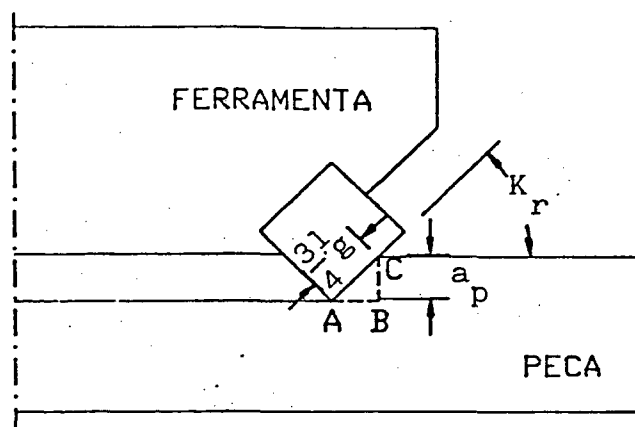


Figura 10
Relação entre a_p ,
 l_g e K_r

Em se tratando de pastilhas redondas, a máxima profundidade de corte não deve ultrapassar a metade do seu diâmetro /16/.

A diminuição do tempo total de fabricação por peça também é conseguida com a utilização de grandes avanços. Colabora para a escolha de maiores avanços o fato de que o mesmo não é o principal causador do desgaste da ferramenta. Além disso, aumentando-se o avanço consegue-se aumentar a espessura média do cavaco h_m e, por conseguinte, reduzir a pressão específica de corte K_{cm} /10/.

Em operações de desbaste, portanto, utiliza-se o avanço por gume máximo permitido pelas restrições tecnológicas da combinação ferramenta-material da peça.

Em operações de acabamento, entretanto, deve-se selecionar um avanço que possibilite a obtenção do acabamento superficial requerido pelo projetista da peça (item 2.5.4), ou seja:

$$R_t \leq R_{t\text{máx}}$$

Além disso, em ambos os casos, o avanço selecionado é restringido pelos avanços da mesa máximos e mínimos fornecidos pela máquina-ferramenta. Assim:

$$v_{f_{\text{mín}}} \leq v_f \leq v_{f_{\text{máx}}}$$

Uma vez definidos avanço e profundidade de corte, deve-se verificar se a força de corte (equação 14) não resulta superior a força admissível pela pastilha. A figura 11 /17/ apresenta as forças admissíveis nas pastilhas em função da sua forma, comprimento do gume e geometria. Logo:

$$F_{c_m} \leq F_{c_{\text{admissível pela pastilha}}}$$

A velocidade de corte, determinada segundo um dos critérios de otimização, assim como o avanço, deve estar dentro da faixa de rotações disponíveis na máquina-ferramenta, ou seja:

$$n_{\text{mín}} \leq n \leq n_{\text{máx}}$$

Após determinadas todas as condições de corte, ainda deve-se verificar se a potência necessária para o corte (equação 16) não é superior a potência máxima fornecida pela máquina (equação 17).

Assim:

$$P_{c_m} \leq P_a$$

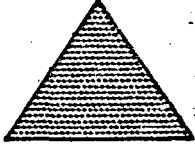

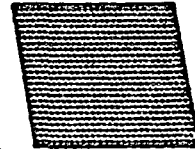
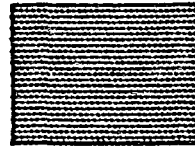
PASTILHA	COMPRIMENTO DO GUME (mm)	CARGA ADMISSIVEL (N)	
		NEGATIVA	POSITIVA
TN TP 	11 16 22 27	4500 10000 19000 27000	4000 9000 17000 24000
DN DP 	11 16 22 27	4000 8500 16000 23000	3500 7500 14000 20000
CN CP 	9 12 15 19 25	5000 9000 17500 23000 43000	4500 8000 14500 20000 37000
SN SP 	9 12 15 19 25	6500 12000 22000 28000 55000	6000 10000 19000 25000 48000

Figura 11 Cargas admissíveis nas pastilhas de metal duro /17/.

2.5.4 Determinação do Avanço para Operações de Acabamento

2.5.4.1 Rugosidade Superficial

Dependendo da função a que se destina, a rugosidade superficial de uma peça é um fator que deve ser devidamente considerado no projeto da mesma.

As propriedades ou características superficiais de uma peça usinada não dependem apenas do processo de usinagem realizado, mas também dos parâmetros envolvidos nesse processo, tais como: velocidade e profundidade de corte, avanço, geometria da ferramenta, material da peça, fluido de corte, etc... /18/.

Os erros geométricos nas superfícies das peças, provenientes da usinagem, podem ser classificados em desvios macro-geométricos, ondulações e desvios micro-geométricos. Os desvios micro-geométricos constituem a rugosidade superficial /9/.

A rugosidade superficial é, geralmente, classificada em transversal (ou cinemática) e longitudinal, como pode ser visto na figura 12. Na direção $S_1 S_2$ (direção do avanço) tem-se a rugosidade cinemática. Esta depende, em primeiro lugar, da geometria da ferramenta e do movimento relativo entre a peça e a ferramenta. A rugosidade longitudinal se sobrepõe a rugosidade cinemática, e é medida na direção $V_1 V_2$ (direção do movimento principal de corte). Ela depende do mecanismo de formação e separação do cavaco e, conseqüentemente, da velocidade de corte, temperatura de corte, tipo de estrutura e dureza do material da peça, material da ferramenta, etc... /18/.

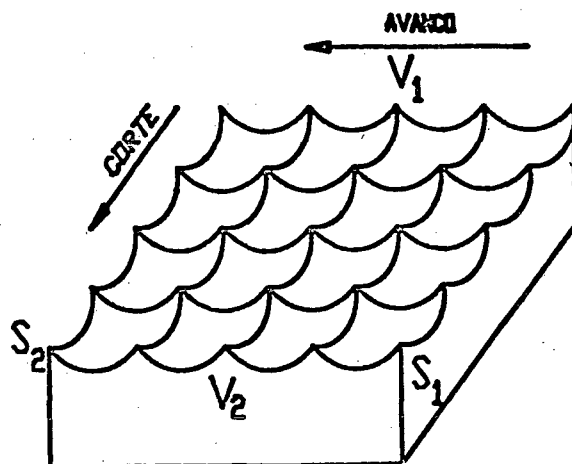


Figura 12 Rugosidades transversal e longitudinal.

Várias são as grandezas utilizadas para a caracterização de uma superfície. Dentre elas, entretanto, a profundidade da rugosidade máxima R_t é a que melhor expressa o grau de acabamento de uma superfície. Como pode ser visto na figura 13, R_t é a distância entre duas linhas paralelas à linha média e que tangenciam a saliência mais pronunciada e a reentrância mais profunda, no comprimento de amostragem l_m .

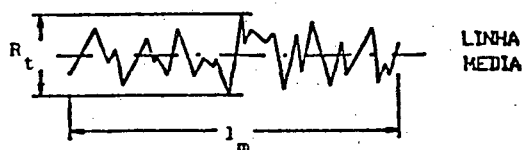


Figura 13 Determinação da rugosidade R_t .

2.5.4.2 Acabamento Superficial em Operações de Fresamento

A utilização de cabeçote de fresar em operações de acabamento é necessária como operação final de usinagem em grandes superfícies planas, onde uma operação final de retificação seria anti-econômica ou mesmo impossível.

Existem 3 casos de fresamento de acabamento, com cabeçote de

fresar, a serem considerados /19/:

- Caso A: Fresamento de acabamento com pastilhas convencionais (figura 14a). Deve-se trabalhar com pequenas profundidades de corte e pequeno avanço por gume. Para compensar esse pequeno avanço por gume, é recomendado que o cabeçote possua grande número de gumes. Como condições de corte são indicados:

$z = 10$ a 60 gumes

$a_p = 0,3$ a 1,0 mm

$f_z = 0,3$ a 0,5 mm

- Caso B: Fresamento de acabamento com pastilhas alisadoras (figura 14b). Utiliza-se pastilhas que tenham um grande comprimento do chanfro no gume secundário ($b_{fs} = 10$ a 15 mm). Esse chanfro, durante o corte, se encontra em uma posição paralela à superfície usinada da peça. Isso permite que se trabalhe com maiores avanços por gume e, conseqüentemente, pode-se utilizar ferramentas com pequeno número de gumes. As profundidades de corte, entretanto, devem ser extremamente pequenas. Recomenda-se:

$z = 1$ a 7 gumes

$a_p = 0,05$ a 0,2 mm

$f_z = 0,5$ a 6,0 mm

- Caso C: Fresamento de acabamento com ferramentas combinadas (figura 14c). O cabeçote possui apenas uma ou duas pastilhas alisadoras, enquanto que as demais são pastilhas convencionais de desbaste. Dessa forma, consegue-se excelente acabamento de forma bem mais econômica do que no caso anterior, já que as pastilhas convencionais de desbaste tem um custo menor que as pastilhas alisadoras. É de fundamental importância que as pastilhas

alisadoras estejam atrasadas no sentido radial e avançadas no sentido axial em relação às pastilhas convencionais de desbaste. Para a obtenção do melhor acabamento da superfície usinada recomenda-se:

- pastilhas de desbaste: $z = 20$ a 30 gumes

$$a_{p1} = 0,5 \text{ a } 2,0 \text{ mm}$$

$$f_{z1} = 0,1 \text{ a } 0,3 \text{ mm}$$

- pastilhas alisadoras: $z_2 = 1$ a 2 gumes

$$a_{p2} = 0,03 \text{ a } 0,05 \text{ mm}$$

$$f_{z2} = 2 \text{ a } 5 \text{ mm}$$

2.5.4.3 Cálculo da Rugosidade Cinemática

A rugosidade cinemática (ou transversal) é o tipo de desvio micro-geométrico que predomina em operações de fresamento /9/.

Para o cálculo da profundidade da rugosidade máxima R_t deve-se levar em consideração:

a) a medida h (figura 15), que é função da geometria da quina e do avanço por gume f_z , e

b) que por erros de ajustagem das pastilhas quando da colocação das mesmas no cabeçote de fresar, deve-se considerar uma distância no sentido axial, entre a pastilha mais alta e a mais baixa de, no máximo, $0,008 \text{ mm}$ /19/.

Logo, tem-se que:

$$R_t = h + 0,008 \quad (\text{mm}) \quad (57)$$

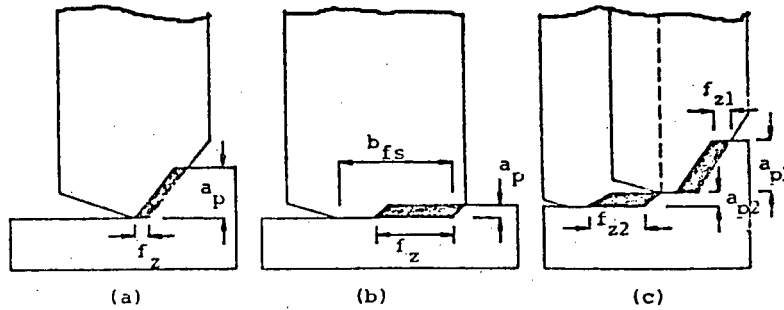


Figura 14 Fresamento de acabamento com cabeçote de fresar.

As várias condições geométricas de corte que irão determinar o valor de h foram agrupadas em 5 casos principais (tabela 1).

2.5.4.4 Determinação do Avanço por Gume f_z :

Para a determinação do avanço de acabamento considera-se que:

a) Se o cabeçote de fresar contém pastilha(s) alisadora(s) (casos B e C do item 2.5.4.2), o avanço de acabamento será o avanço máximo permitido pelas pastilhas. Para o caso B, como o chanfro do gume secundário das pastilhas alisadoras (paralelo à superfície usinada) é normalmente muito maior que os mesmos f_z permitidos pelas pastilhas convencionais de desbaste, o avanço por gume será restringido por este último valor. Como a pastilha alisadora deve estar deslocada no sentido axial de aproximadamente 0,04 mm para baixo em relação as pastilhas convencionais de desbaste, apenas o seu gume vai conformar a superfície da peça. Com isso, consegue-se acabamentos superficiais da ordem de 1,6 a 4 μm /16/.

b) Se o cabeçote de fresar não contém pastilha(s) alisadora(s) (caso A do item 2.5.4.2), o avanço por gume será determinado em função do R_t desejado. O valor do h desejado, portanto, será:

$$h = R_t - 0,008 \quad (\text{mm}) \quad (58)$$

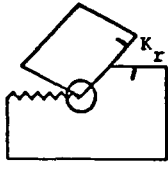
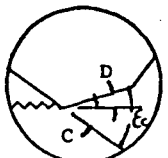
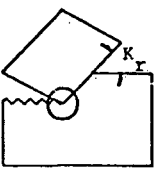
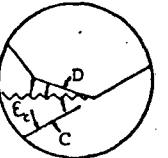
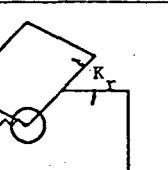
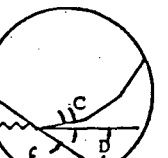
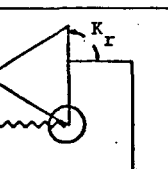
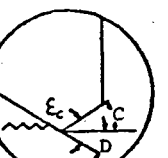
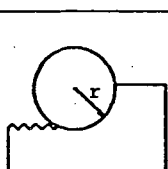

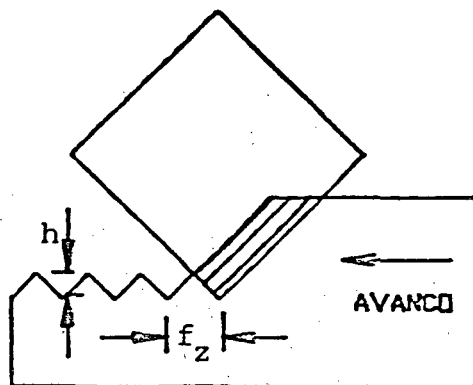
N		CONDICÕES	EQUAÇÕES
1	 	<ul style="list-style-type: none"> - Pastilha quadrada - Quina chanfrada - $K_R \geq 45^\circ$ - $\epsilon_C < K_R$ 	$h = \frac{f_z}{\cotg D + \cotg C}$ $C = 90^\circ - K_R$ $D = \epsilon_C + K_R - 90^\circ$
2	 	<ul style="list-style-type: none"> - Pastilha Quadrada - Quina chanfrada - $K < 45^\circ$ - $\epsilon_C^r > K_R$ 	$h = \frac{f_z \cdot \text{tg } C \cdot \text{Tg } D}{\text{tg } C + \text{tg } D}$ $C = K_R$ $D = \epsilon_C - K_R$
3	 	<ul style="list-style-type: none"> - Pastilha quadrada - Quina duplamente chanfrada ou duplamente chanfrada com ponta quebrada - $K_R > 60^\circ$ - $\epsilon_C > 90^\circ - K_R$ 	$h = f_z \cdot \frac{\text{tg } C \cdot \text{tg } D}{\text{tg } C + \text{tg } D}$ $C = \epsilon_C + K_R - 90^\circ$ $D = 90^\circ - K_R$
4	 	<ul style="list-style-type: none"> - Pastilha triangular ($\epsilon_C = 60^\circ$) - Quina chanfrada ou duplamente chanfrada - $K_R = 90^\circ$ 	$h = f_z \cdot \frac{\text{tg } C \cdot \text{tg } D}{\text{tg } C + \text{tg } D}$ $C = \epsilon_C - 30^\circ$ $D = 30^\circ$
5	 	<ul style="list-style-type: none"> - Pastilhas redondas ou qualquer forma com a quina arredondada 	$h = \frac{f_z^2}{8 \cdot r}$ <p>r: raio de quina da pastilha ou diâmetro da pastilha redonda</p>

Tabela 1 Determinação de h.

Figura 15
Valor de h.



O valor de f_z será, então, determinado a partir do h desejado em função do caso no qual se enquadra a geometria da ferramenta (tabela 1).

Se o chanfro for paralelo a superfície usinada, conforme figura 16, recomenda-se que /16/:

$$f_z = l_c - 0,762 \quad (\text{mm}) \quad (59)$$

Com isso, consegue-se acabamentos da ordem de 1,6 a 4 μm .

A figura 17 especifica os valores de rugosidade R_t , obtidos através do processo de fresamento frontal, segundo a DIN 4766 /20/.

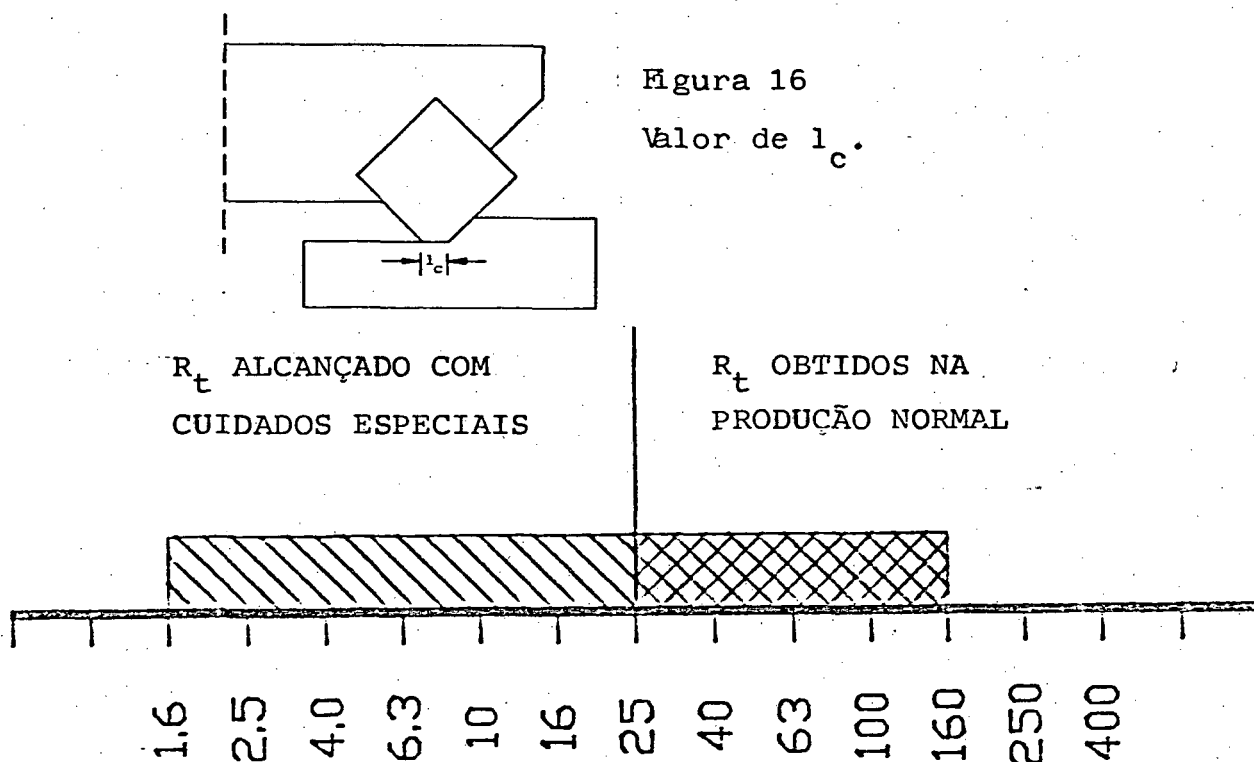


Figura 17 Rugosidades obtidas em fresamento frontal segundo a DIN 4766 /20/.

2.6 Recomendações para Seleção da Ferramenta

O desenvolvimento tecnológico na área de usinagem dos metais e as diferentes necessidades provindas dos diferentes tipos de material a usinar, fizeram com que surgisse no mercado uma grande variedade de ferramentas de corte. Ao planejador do processo de usinagem cabe, entretanto, selecionar a ferramenta mais adequada para a realização da operação desejada. Do sucesso dessa seleção dependerá o êxito da usinagem. Logo, deve-se levar em consideração uma série de fatores relativos a peça, a ferramenta e a operação a ser realizada. Além disso, todas as ferramentas disponíveis no arquivo devem ser consideradas na seleção quanto a sua possível utilização.

A seguir, serão abordados os principais aspectos que devem ser considerados para a seleção de uma ferramenta para fresamento (cabeçote de fresar e pastilhas intercambiáveis).

2.6.1 Seleção do Cabeçote de Fresar

Da correta seleção do cabeçote de fresar depende, muitas vezes, o sucesso da operação de fresamento. A geometria (ângulos e dimensões) é um fator que merece atenção especial quando da seleção do mesmo. Na prática, os fatores que devem ser considerados são:

a) Ângulos de Saida (Geometria)

Os ângulos de saída tem um efeito bastante significativo sobre a potência necessária para o corte, as forças de corte, a

direção do fluxo de cavacos e a vida da ferramenta /21/.

Para a descrição da forma como a pastilha ataca o material da peça são definidos dois ângulos com a ajuda de um plano de referência, que é o plano que contém o eixo do cabeçote de fresar e passa no ponto selecionado do gume (um ponto escolhido em qualquer parte do gume). Esses ângulos estão mostrados na figura 18 e são os seguintes:

- ângulo de saída radial (γ_f): é o ângulo formado pelo plano de referência e a face da pastilha, medido em um plano perpendicular ao eixo do cabeçote de fresar.

- ângulo de saída axial (γ_p): é o ângulo formado pelo plano de referência e a face da pastilha, medido em um plano perpendicular ao raio do cabeçote de fresar e que passa no ponto selecionado do gume.

Os ângulos de saída radial e axial podem ser positivos, negativos ou nulos. De acordo com esses ângulos são definidas as chamadas geometrias do cabeçote de fresar. As geometrias mais utilizadas são /22/:

- a) $\gamma_f < 0$ e $\gamma_p < 0$: geometria duplo-negativa (figura 18a)
- b) $\gamma_f > 0$ e $\gamma_p > 0$: geometria duplo-positiva (figura 18b)
- c) $\gamma_f < 0$ e $\gamma_p > 0$: geometria positiva-negativa (figura 18c)

Inicialmente, pode-se citar como vantagem dos cabeçotes de fresar duplo-negativos o fato de que as suas pastilhas (pastilhas negativas) tem o dobro do número de gumes das pastilhas para cabeçotes de outras geometrias (pastilhas positivas), conforme pode ser visto na figura 19. Isso se deve ao fato de que, quando usadas em cabeçotes duplo-positivos ou positivos-negativos, as pastilhas necessitam ter um ângulo de

incidência lateral da ferramenta (α_f) maior que zero, para que haja uma folga entre a pastilha e a superfície da peça após o corte. Esse ângulo pode ser igual a zero nas pastilhas negativas, pois a própria montagem das mesmas no cabeçote assegura essa folga. Assim, as pastilhas para cabeçotes duplo-negativos podem ter gumes nos seus dois lados, o que não é possível nas pastilhas para cabeçotes com outras geometrias.

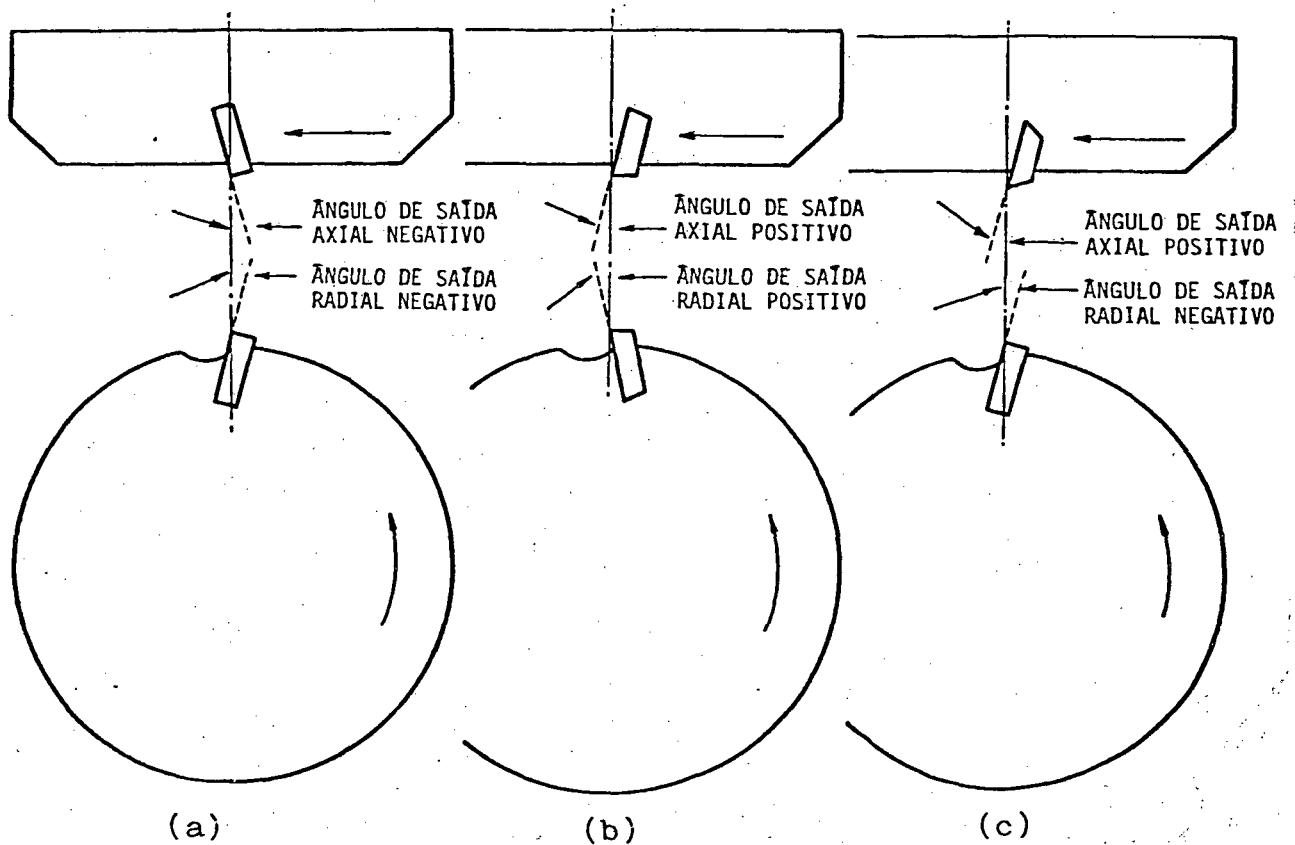


Figura 18 Ângulos de saída de um cabeçote de fresamento.

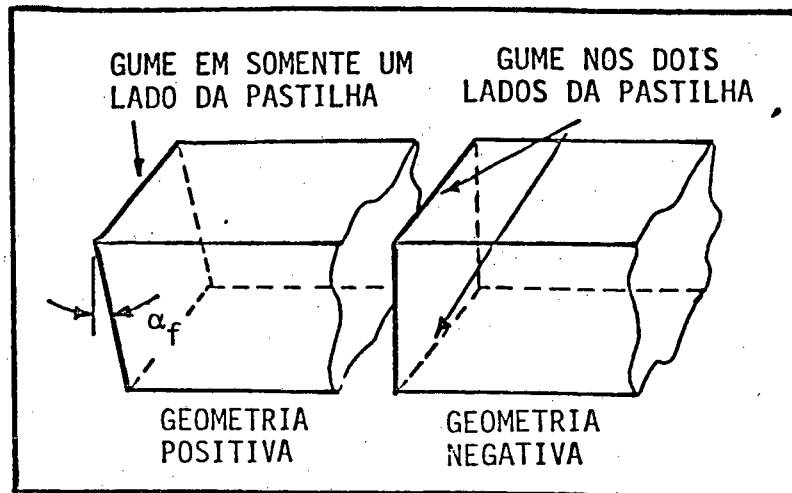


Figura 19 Número de gumes em função da geometria da pastilha.

O uso de cabeçotes de fresar com ângulos de saída negativos apresenta outra vantagem: as pastilhas negativas podem suportar maiores forças de corte que as pastilhas positivas /21/. Isso se deve as diferentes formas de atuação da força de corte. Enquanto nas pastilhas positivas prevalece a solicitação a ruptura transversal, as pastilhas negativas são solicitadas principalmente a compressão (figura 20). Essa é uma diferença importante, pois geralmente a tensão admissível de compressão de uma pastilha de metal duro, por exemplo, é, aproximadamente, 2,5 vezes maior que sua tensão admissível de ruptura transversal /22/.

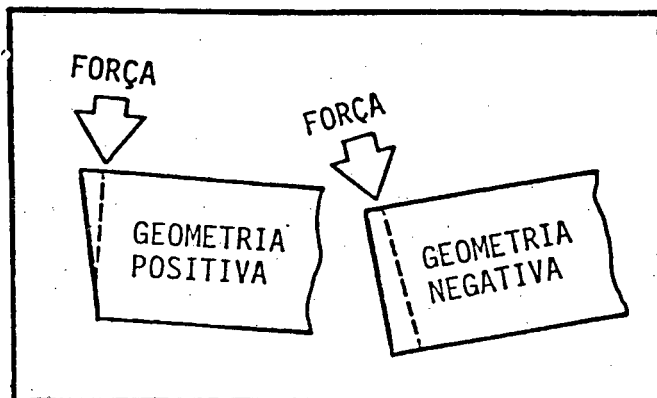


Figura 20
Força de corte em
função da geometria
da ferramenta.

Os cabeçotes de fresar com ângulos de saída positivos, por sua vez, geram menores forças de corte e, conseqüentemente, exigem menores potências das máquinas-ferramenta. Além disso, o fato de gerar menores forças de corte contribui para a redução das vibrações em fixações ou máquinas não muito rígidas /22/.

Uma outra vantagem dos cabeçotes de fresar duplo-positivos ou positivo-negativos é que eles direcionam os cavacos para cima, enquanto que os cabeçotes duplo-negativos direcionam os cavacos contra a superfície usinada /22/.

Para a escolha da geometria mais adequada a determinada operação de usinagem deve-se considerar, em primeiro lugar, o material da peça. Materiais macios, dúteis e metais não ferrosos tendem a ficar acumulados nos bolsões de armazenamento de cavacos de cabeçotes duplo-negativos, prejudicando seriamente o acabamento superficial da peça. Assim, cabeçotes com geometrias positivo-negativas ou duplo-positivas devem ser usados para usinar esses materiais. Quando se necessita usinar materiais fosfóricos (por ex.: zircônio), deve-se minimizar a geração de calor na região de corte. Para isso, deve-se utilizar cabeçotes com geometria altamente positiva, ou seja, com grandes ângulos positivos axial e radial. Sempre que o material da peça e as condições da máquina-ferramenta (potência e rigidez) permitirem,

deve-se usar cabeçotes com geometria duplo-negativa. Isso é devido ao maior número de gumes por pastilha e a maior resistência dos mesmos. Na usinagem de ferros fundidos, por exemplo, não se tem problemas com o fluxo de cavacos, nem tendência a formação de gume postiço. Logo, a usinagem desse tipo de material é feita, preferivelmente, com cabeçotes de geometria duplo-negativa.

b) Ângulo de Direção do Gume da Ferramenta (K_r)

É o ângulo entre o plano do gume da ferramenta P_s e o plano de trabalho convencional P_f , medido no plano de referência da ferramenta P_r (figura 21) /23/.

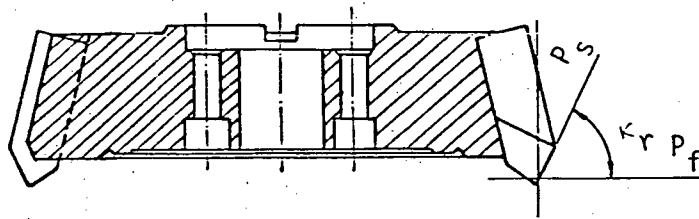


Figura 21 Determinação de K_r . Vista do plano de referência da ferramenta P_r .

O ângulo de direção do gume da ferramenta tem um considerável efeito sobre a direção das forças de corte, a vida da ferramenta, a profundidade máxima de corte admitida pela pastilha e outros fatores /22/.

Menores ângulos K_r são preferidos por diversos fatores. A maioria deles são decorrentes do seguinte: para uma mesma profundidade de corte a_p e mesmo avanço por gume f_z , a diminuição de K_r leva a uma diminuição da espessura média do cavaco h_m e a um aumento da largura do cavaco b , conforme mostrado na figura 22.

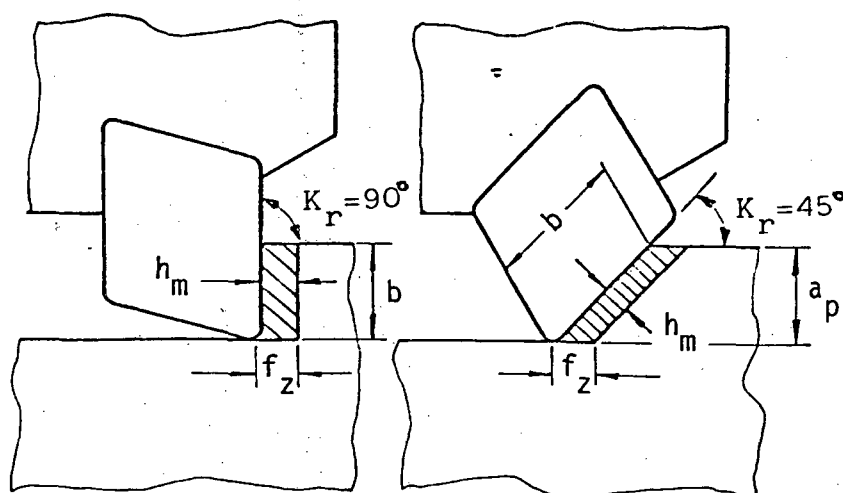


Figura 22 Influência da variação de K_r em h_m e b .

O aumento da largura do cavaco b faz com que as forças fiquem distribuídas sobre uma parte maior do comprimento total do gume. Isso leva a uma redução da carga por unidade de comprimento do gume. Conseqüentemente, maiores avanços podem ser utilizados quando se reduz o ângulo K_r , sem aumentar os riscos de quebra da ferramenta.

Uma outra consequência positiva do aumento da largura do cavaco é a facilidade para a dissipação do calor gerado pelo gume durante o corte. Esse calor provoca uma diminuição da dureza do material da pastilha e acelera o desgaste do gume. Assim, a utilização de menores ângulos K_r leva a um aumento da vida da ferramenta.

A distribuição das forças de corte nos sentidos axial e radial também não é adequada quando da utilização de grandes ângulos K_r . Um valor elevado de força radial em relação a uma pequena força axial resulta num esforço desfavorável sobre a árvore da máquina-ferramenta, que tem sua maior resistência no sentido axial /24/.

Existem, entretanto, algumas limitações ao uso de pequenos ângulos K_r . A configuração da peça é uma delas. Se for desejado um rebaixo quadrado deve-se utilizar um cabeçote de fresar com $K_r = 90^\circ$.

Outra limitação da utilização de pequenos ângulos K_r é a decorrente redução da máxima profundidade de corte a_p para uma mesma largura útil do gume b . Essa relação é dada por:

$$b = \frac{a_p}{\text{sen } K_r} \quad (60)$$

Logo, diminuindo-se o ângulo K_r (de 90° para 0°), necessita-se de uma maior largura útil do gume b para a usinagem com a mesma profundidade de corte a_p , conforme mostra a figura 22. Isso pode levar à necessidade de seleção de uma pastilha com gume demasiado grande, já que, do ponto de vista da economia da usinagem, deve-se trabalhar com as maiores profundidades de corte possíveis.

c) Número de Gumes

O número de gumes de um cabeçote de fresar influi diretamente na taxa de produção da ferramenta, ou seja, na taxa de remoção de cavacos, dada por:

$$V = a_p \cdot a_e \cdot f_z \cdot n \cdot z \quad (61)$$

O aumento do número de gumes de um cabeçote de fresar deve ser analisado sob dois aspectos:

- Mantendo-se o avanço por gume constante, um aumento do número de gumes possibilitará um aumento do avanço da mesa e, conseqüentemente, da taxa de remoção de cavacos.
- Por outro lado, o aumento do número de gumes exigirá um tempo

maior para a troca do conjunto de pastilhas do cabeçote de fresar (t_{ft}).

Cabe, portanto, uma verificação do benefício real do aumento do número de gumes sobre a taxa de remoção de cavacos. Inicialmente, deve-se verificar qual o efeito da variação do tempo de troca de ferramenta sobre a velocidade de corte ótima para o máximo volume da produção. Isso pode ser feito com o auxílio da seguinte equação:

$$v_{c_{mxp}} = \left[\frac{-C^{-1/H}}{(1+1/H) \cdot t_{ft}} \right]^{-H} \quad (62)$$

onde C e H representam, respectivamente, a constante e o expoente da variável T da equação de Taylor generalizada para fresamento (item 2.3).

Ao se dobrar o número de gumes de um cabeçote de fresar se dobrará, obrigatoriamente, o tempo necessário para a troca dessas pastilhas. Na equação acima, esse aumento de 100% em t_{ft} leva a uma redução de 20% na velocidade ótima de corte e, conseqüentemente, da rotação ótima n.

Para a presente análise, a equação da taxa de remoção de cavacos pode ser escrita da seguinte forma:

$$V = \text{Const.} \cdot n \cdot z$$

Como um exemplo numérico simples é possível, agora, verificar o efeito global, sobre a taxa de remoção de cavacos, de um aumento de 100% no número de gumes e de uma redução de 20% na rotação da máquina-ferramenta. Supõe-se, então:

a) Condição inicial: $z = 10$ e $n = 10$

$$V_i = \text{Const.} \cdot 10 \cdot 100 = \text{Const.} \cdot 1000$$

b) Condição resultante: $z = 20$ e $n = 80$

$$V_r = \text{Const.} \cdot 20 \cdot 80 = \text{Const.} \cdot 1600$$

Um aumento de 100% no número de gumes representa, portanto, um aumento de 60% na taxa de remoção de cavacos. Por isso deve-se preferir cabeçotes de fresar com o maior número de gumes possível.

As limitações mais comuns ao aumento do número de gumes são a potência da máquina-ferramenta e o material da peça. Cabeçotes de fresar com grande número de gumes possuem bolsões para armazenamento de cavacos pequenos, em relação a cabeçotes com menor número de gumes e mesmo diâmetro. Isso é um problema na usinagem de aços ou outros materiais que produzam cavacos longos, principalmente quando a largura de corte for grande. Já na usinagem de ferros fundidos, onde o cavaco é arrancado sob a forma de lascas, o espaço para a deposição não deve causar preocupação.

d) Diâmetro da fresa

O diâmetro de um cabeçote de fresar pode ser medido de duas formas. A primeira e mais importante é a que determina o chamado diâmetro efetivo D , que é a máxima largura de usinagem que pode ser usinada com uma única passada da ferramenta. É medido entre os pontos de tangência aos raios de quina de uma reta que une duas pastilhas diametralmente opostas. Em se tratando de pastilhas com quinas chanfradas, ao invés de raios de quina toma-se, como referência, os pontos mais inferiores dos chanfros das pastilhas. O outro diâmetro que pode ser determinado é o chamado diâmetro máximo D_m , correspondente ao diâmetro do corpo da fresa. A figura 23 indica as formas de medição dessas grandezas.

O diâmetro efetivo do cabeçote de fresar deve ser

aproximadamente 1,6 vezes a largura de corte /22/. Na usinagem de rasgos, obviamente o diâmetro efetivo do cabeçote de fresar deve ser, no máximo, igual à largura do rasgo.

2.6.2 Seleção das Pastilhas

Na seleção de pastilhas para operações de fresamento deve-se considerar os seguintes aspectos /21/:

- O corte é interrompido, o que faz com que cada pastilha esteja sujeita a fortes impactos ou choques mecânicos a cada rotação.
- As vibrações resultantes desses choques mecânicos podem lascas o gume e reduzir a vida da ferramenta.

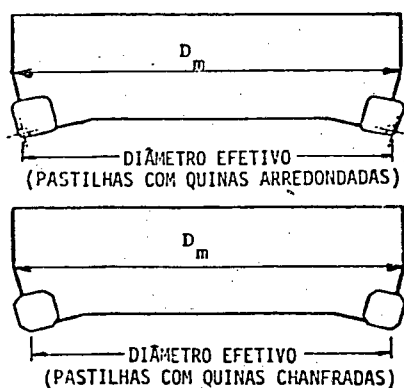


Figura 23 Medição de D e D_m .

c) Os sucessivos e bruscos aquecimentos e resfriamentos do gume dão origem a tensões térmicas que levam a trincas em forma de pente.

Logo, as pastilhas para fresamento não devem ser selecionadas mediante os mesmos critérios utilizados na seleção de pastilhas para operações de corte contínuo, como torneamento ou mandrilamento. A seguir, serão vistos alguns princípios para a seleção dessas pastilhas.

a) Forma

A forma de uma pastilha irá determinar sua resistência, custo por gume e a possibilidade ou não de produzir a desejada geometria de corte na peça /22/.

As quatro formas de pastilhas mais comumente usadas em fresamento (redonda, quadrada, paralelogrâmica e triangular) estão mostradas na figura 24, em ordem crescente de resistência mecânica. Deve-se observar que a resistência mecânica é diretamente proporcional ao ângulo de quina ϵ_r . Pastilhas redondas, na realidade, não tem ângulo de quina, mas na usinagem são tratadas como se tivessem $\epsilon_r > 90^\circ$.

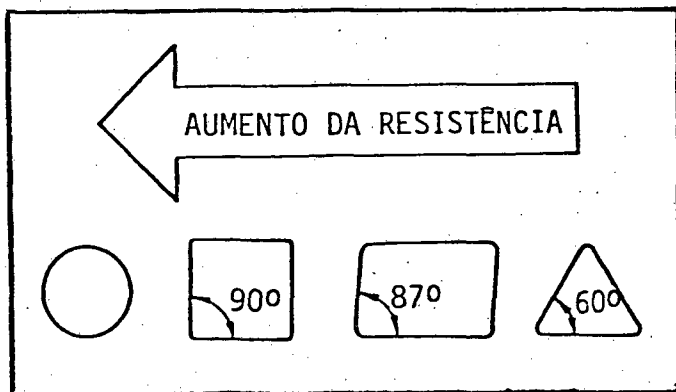


Figura 24

Formas de pastilhas mais utilizadas em fresamento e sua relação com a resistência das mesmas.

Define-se o tamanho de uma pastilha pelo diâmetro do círculo inscrito na mesma (tamanho IC). Pela figura 25 observa-se que, para um mesmo tamanho IC, quanto maior for o ângulo ϵ_r , menor será a quantidade de material necessária para fabricar a pastilha e, portanto, menor o seu custo. Logo, a pastilha mais resistente também é a de menor custo, e isto deve definir a sua preferência caso atenda as necessidades técnicas. As características e limitações de cada forma de pastilha serão descritas a seguir.

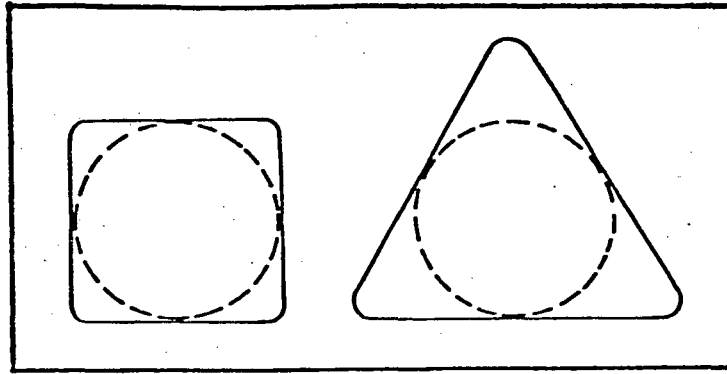


Figura 25 Relação entre o tamanho IC e a quantidade de material para a fabricação das pastilhas.

- Redondas

São as pastilhas mais resistentes, porque não possuem cantos vivos. Geralmente, são as que permitem o uso do maior número de gumes por lado. O número exato de gumes depende da profundidade de corte. Apresentam, no entanto, algumas limitações. Não podem ser utilizadas, por exemplo, para a usinagem de rebaixos quadrados. Além disso, a máxima profundidade de corte não pode ultrapassar a metade do seu diâmetro, o que representa uma profundidade de corte máxima menor do que com qualquer outra forma do mesmo tamanho IC.

O emprego de pastilhas redondas é indicado para operações de desbaste e em operações envolvendo materiais extremamente duros.

- Quadradas

São as mais utilizadas em fresamento devido à sua versatilidade, pois podem ser empregadas em cabeçotes de fresar de quase todos os ângulos K . Estão disponíveis 8 gumes nas pastilhas para cabeçotes de fresar duplo-negativos e 4 gumes nas pastilhas para cabeçotes de outras geometrias.

A única limitação ao seu uso é que elas não são adequadas à

usinagem de rebaiços quadrados, ou seja, não podem ser empregadas com $K_r = 90^\circ$. Nesse caso, o ângulo de direção do gume secundário da ferramenta K_r seria igual a zero, não havendo folga entre o gume secundário da pastilha e a superfície usinada, o que pode resultar em vibrações.

- Paralelogrâmicas

Indicadas para a usinagem de rebaiços quadrados, estas possuem ângulos de quina ϵ_r pouco menores que 90° . São disponíveis quatro gumes nas pastilhas para cabeçotes de fresar com geometria duplo-negativa e 2 gumes nas pastilhas para cabeçotes com outras geometrias.

- Triangulares

Também são indicadas para a usinagem de rebaiços quadrados. Comparadas com as pastilhas paralelogrâmicas, as triangulares apresentam maior número de gumes disponíveis (6 em cabeçotes de fresar duplo-negativos e 3 em outros cabeçotes), mas são menos resistentes.

Para um mesmo tamanho IC, o comprimento do gume de uma pastilha triangular é maior que o comprimento do gume de uma pastilha com qualquer outra forma.

b) Geometria da Quina

Para a seleção da geometria mais adequada deve-se levar em conta dois fatores principais: o acabamento superficial desejado e o custo da pastilha. As diferentes geometrias disponíveis não têm significativa influência na vida da ferramenta ou na potência exigida da máquina. Os dois tipos de geometria de quina usados mais frequentemente são a quina arredondada e a quina chanfrada.

- Quina Arredondada

Pastilhas com quinas arredondadas têm menor custo do que as similares com outras geometrias de quina. Além disso, as quinas arredondadas são as mais resistentes devido à ausência de cantos vivos.

A maior desvantagem de uma pastilha com quina arredondada é que o acabamento superficial resultante é inferior ao produzido por outras geometrias. Por isso, são mais adequadas a operações de desbaste e a operações onde uma pastilha alisadora performa a superfície da peça.

- Quina chanfrada

Existem diferentes formas de chanframento da quina. As principais estão mostradas na figura 26.

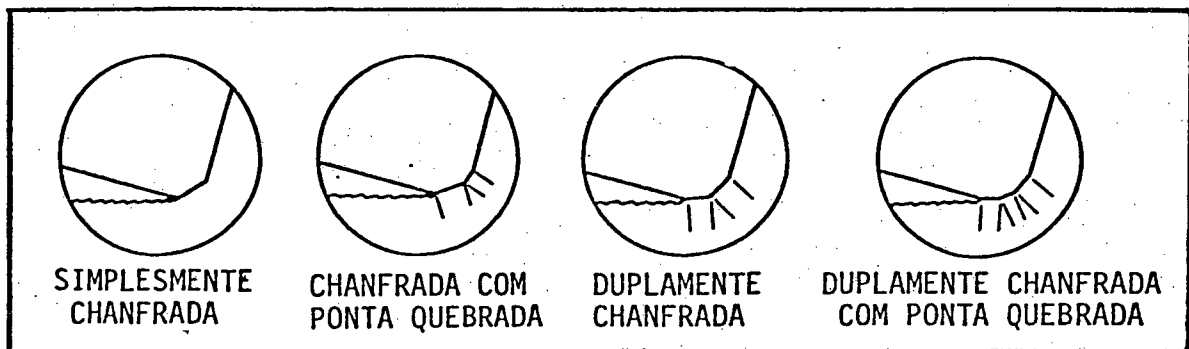


Figura 26 Formas de chanframento da quina.

A resistência de uma quina chanfrada não é tão grande quanto a de uma quina arredondada. Além disso, o custo de uma pastilha é proporcional ao número de chanfros, devido ao trabalho adicional de retificação das superfícies dos mesmos.

A posição do chanfro em relação à superfície usinada pode ser angular ou paralela. Quando o chanfro é posicionado

paralelamente à superfície usinada é possível se obter excelentes acabamentos superficiais, desde que o seu comprimento seja aproximadamente 0,7 mm maior que o avanço por gume /22/.

Em operações de desbaste, se o chanfro estiver paralelo à superfície usinada, seu comprimento deve ser o mínimo possível para reduzir o atrito.

c) Material da Pastilha

A área de materiais para ferramentas de corte tem apresentado um grande avanço tecnológico nos últimos anos. Atualmente, é possível a usinagem de materiais de elevada dureza com altas velocidades de corte e, além disso, com garantia de uma vida prolongada da ferramenta.

O metal duro é o mais utilizado na fabricação de pastilhas no mundo inteiro. São compostos, basicamente, por WC, TiC e TaC /9/. Na década de 60 iniciou-se a fabricação de ferramentas de metal duro revestido /25/. O revestimento é uma fina película de 3 a 10 μm , composta por elementos muito duros e bastante estáveis quimicamente, que aumenta a resistência a abrasão e diminui a difusão entre ferramenta-peça-cavaco. Uma ou mais camadas podem ser aplicadas sobre o substrato. Os revestimentos mais usuais são à base de carbonetos e nitretos de titânio (TiC, TiN), carbonitretos de titânio (TiCN) e óxido de alumínio (Al_2O_3).

O desenvolvimento das ferramentas cerâmicas iniciou-se durante a II Guerra Mundial, em face da escassez de matéria-prima para a fabricação do metal duro. Estas ferramentas podem ser divididas em várias classes, de acordo com sua composição.

As cerâmicas oxidas são constituídas, basicamente, por óxido de alumínio. Nesta classe encontram-se as chamadas cerâmicas

brancas, constituídas por alumina pura ou com pequenas quantidades de óxido de zircônio (ZrO_2). São usadas, principalmente, na usinagem de ferros fundidos com dureza inferior a 235 HB e de aços com dureza inferior a 34 HRC, com ou sem elementos de liga, em médias e altas velocidades de corte /26/.

As cerâmicas pretas resultam da introdução de TiC à alumina. São adequadas para a usinagem de ferros fundidos com dureza superior a 235 HB e de aços com dureza entre 34 e 66 HRC /26/.

Da combinação da alumina com TiN obtêm-se as cerâmicas mistas. Estas são indicadas para usinagem de materiais duros ou quando há necessidade de uma ferramenta mais tenaz /27/.

As ferramentas cerâmicas à base de nitreto de silício (Si_3N_4) foram desenvolvidas a partir da necessidade de se conseguir um material com maior resistência à flexão do que as cerâmicas óxidas. Nesta classe está o SIALON ($Si_3N_4 + Al_2O_3$). Uma segunda variante, denominada nitreto de silício, caracteriza-se por um elevado percentual de Si_3N_4 com adição de pequenas quantidades de Al_2O_3 e óxido de itrio (Y_2O_3). Atualmente, a principal aplicação das ferramentas à base de Si_3N_4 é no torneamento e fresamento de ferro fundido cinzento, na faixa de 300 a 1200 m/min /28/.

O nitreto cúbico de boro (CBN) tornou-se comercialmente disponível, como ferramenta de corte, em 1975 /29/. Pode ser utilizado na usinagem de ferros fundidos coquilhados e brancos com alto teor de Ni e Cr (50 - 65 HRC), de aços endurecidos e aços rápidos (50 - 66 HRC), de algumas ligas duras (38 HRC) e de ferros fundidos cinzentos (200 - 220 HB) /30/.

A utilização de diamantes policristalinos (PCD) como ferramentas de corte teve início em 1973 /29/. Sua dureza Knoop é da ordem de 50 GPa, inferior apenas à dureza dos diamantes monocristalinos.

Ferramentas de diamantes policristalinos são indicadas para cortes pesados de desbaste ou cortes interrompidos das seguintes classes de materiais /28/: a) metais não ferrosos, como alumínio, babite, latão, cobre, prata, zinco, magnésio e platina; b) não-metais, incluindo baquelita, vidro, grafite, plásticos e epoxy; c) compostos, tais como asbesto, fibra de vidro, PVC, sílica e Teflon.

CAPITULO 3

METODOLOGIA DE ENSAIOS SISTEMATICOS DE USINAGEM PARA GERAÇÃO
DE DADOS DO ARQUIVO DE CONDIÇÕES TECNOLÓGICAS DE USINAGEM

Ensaios de usinabilidade tem sido realizados desde o início do século, cada vez com maior intensidade, porém com grande variedade de métodos e, com isso, os resultados obtidos tem sido confusos e até contraditórios /21/.

A presente metodologia surge da necessidade de uma padronização no procedimento de ensaios de usinagem. Refere-se ao processo de fresamento com cabeçotes de fresar, utilizando-se pastilhas intercambiáveis.

A principal finalidade desta padronização é assegurar que, nos diferentes locais de realização dos ensaios, sejam utilizados os mesmos critérios. Isso torna possível a comparação dos valores obtidos por diferentes fontes de ensaios, reduz a dispersão dos resultados e garante a obtenção de um número de informações suficientemente grande, visando a determinação de dados de corte para condições diferentes daquelas usadas nos ensaios.

Os materiais devem ser ensaiados, quanto a usinabilidade, nas condições que melhor representem as aplicações práticas de usinagem. Devido a isso, o ensaio de vida de gume de longa duração é mais representativo, uma vez que os ensaios de curta duração empregam condições de usinagem forçadas /23/.

Serão apresentadas, a seguir, informações a respeito do material a usinar (corpo de prova), da ferramenta, da máquina-ferramenta, do fluido de corte, do procedimento do ensaio e

condições de usinagem, bem como do procedimento e análise dos resultados.

3.1. Corpo-de-Prova

O material para o ensaio (corpo-de-prova) deve estar sob a forma de uma barra retangular, com largura mínima que permita a usinagem com as relações a_e/D especificadas no item 3.4. É recomendável um comprimento mínimo de 500 mm, com a finalidade de se reduzir o tempo de ensaio.

Deve-se identificar o tipo de material do corpo-de-prova e classificá-lo segundo a norma ABNT. Somente em casos especiais é que poderão ser usadas normas estrangeiras de classificação, optando-se, de preferência, pelas normas internacionais ISO.

Todas as etapas de fabricação e os tratamentos térmicos pelos quais passou o corpo de prova deverão ser identificados e registrados.

A composição química do material dos corpos-de-prova deverá ser determinada. As variações admitidas estão previstas nas normas específicas para cada tipo de material em estudo.

A dureza do material deve ser determinada sobre a secção transversal de uma extremidade de cada barra e ao longo do seu comprimento, após ter sido removida a superfície bruta de fusão ou tratamento térmico. Para isso, deve-se seguir as normas ABNT NBR 6394/80, NBR 6671/81 e NBR 6672/81, referentes a realização de ensaios de dureza.

O corpo-de-prova para o ensaio de resistência à tração deve ser retirado da própria barra de teste ou obtido à parte,

conforme previsto na norma ABNT NBR 6512/80.

A microestrutura do material deve ser examinada sobre toda a secção transversal da barra. Ampliações de 100 a 500 X são recomendadas para se examinar e determinar os percentuais dos componentes microestruturais /22/. O tamanho de grão do material deve ser determinado conforme prescreve a norma ABNT NBR 6000/80.

O material a ser usinado deve ser proveniente de uma única corrida. Devem ser feitos cortes de limpeza para remoção das superfícies bruta de fusão, carepas de laminação ou forjamento, etc. Isso não implica na necessidade de remoção da camada endurecida pela pré-usinagem /24/.

O corpo-de-prova deve estar rigidamente preso a mesa da máquina-ferramenta, seja diretamente (através de sargentos ou bridas), parafusado a uma base ou, ainda, preso através de morsas. Periodicamente, deve-se verificar se está sendo mantida a máxima força de sujeição sobre o corpo-de-prova.

3.2 Ferramenta

São preferidas as ferramentas com pastilhas intercambiáveis, devido a maior facilidade para realizar-se as medições de desgaste do gume.

Cada gume, durante o ensaio, deve ser examinado ao microscópio. Recomenda-se um aumento de 10 X. Essa inspeção visual tem a finalidade de detectar defeitos no gume, tais como lascamentos ou trincas /24/.

O cabeçote de fresar deve ser rígido e possuir espaço suficiente para o armazenamento de cavacos. Admite-se, para o

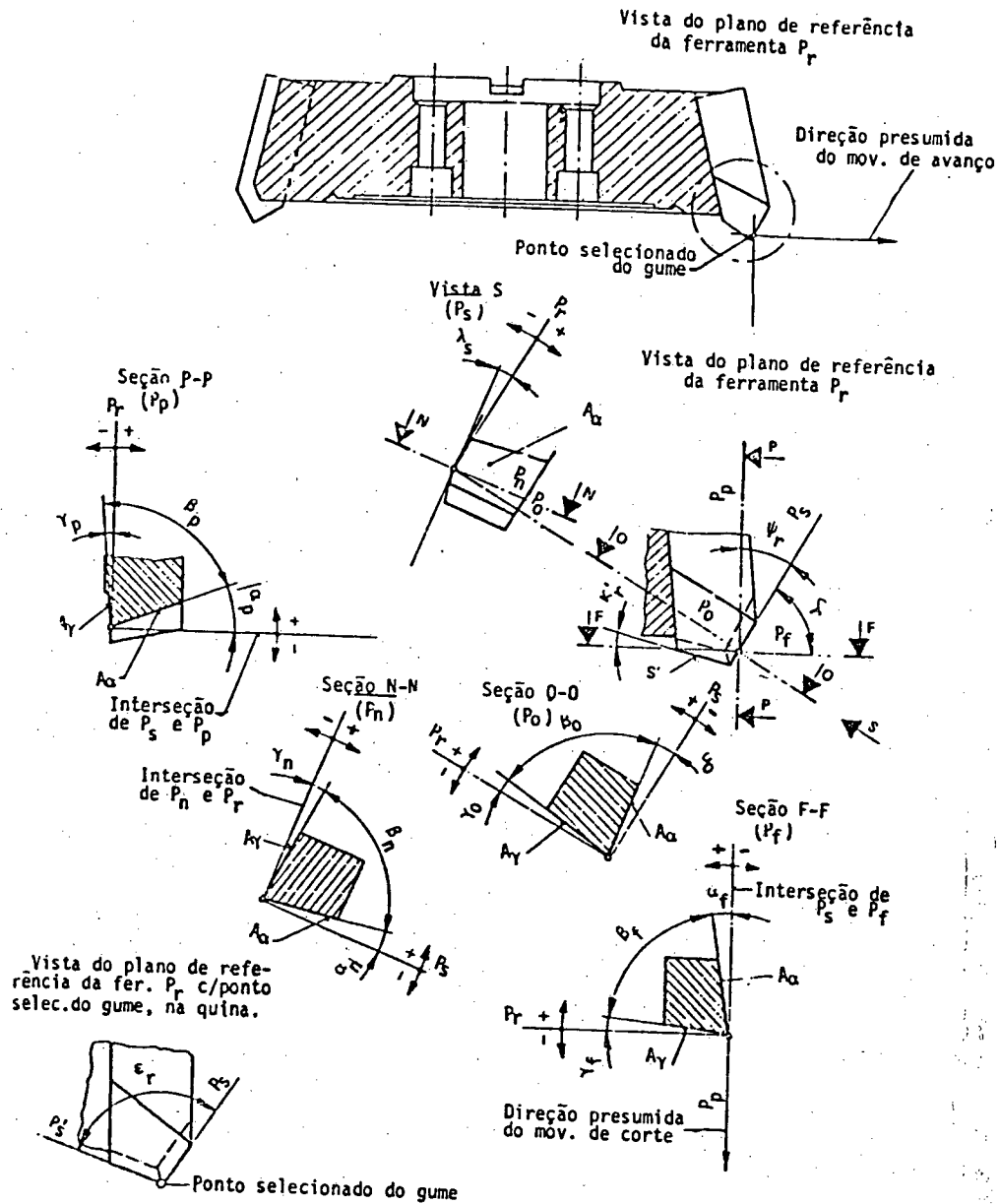


Figura 27 Ângulos de um cabeçote de fresar segundo a norma ISO.

cabeçote de fresar, uma oscilação máxima de 0,02 mm, tanto no sentido radial quanto no sentido axial /22/.

A figura 27 mostra os ângulos principais de um cabeçote de fresar. A simbologia está de acordo com a norma ISO /31/.

Como regra geral, deve-se utilizar ferramentas com geometria duplo-positiva ($\gamma_f > 0$ e $\gamma_p > 0$) para a usinagem de aços e geometria duplo-negativa ($\gamma_f < 0$ e $\gamma_p < 0$) para usinagem de ferros fundidos /32/.

Recomenda-se o emprego de pastilhas convencionais das classes P10, P30 ou, ainda, P25, para usinagem de aços, e as classes K10 ou K20 na usinagem de ferros fundidos (ISO/R 513) /24/. Se forem usadas ferramentas revestidas, deve-se registrar as características do revestimento e do substrato.

Com a finalidade de economizar material, os ensaios devem ser realizados com apenas um gume no cabeçote de fresar.

Os ensaios com ferramentas de metal duro e materiais cerâmicos devem ser realizados sem o emprego de fluido de corte /24/.

3.3 Máquina-Ferramenta

A máquina-ferramenta deve estar em bom estado de conservação, não devendo apresentar qualquer tendência a vibrações ou deformações anormais, sob as condições de ensaio. Deve ser dada preferência às máquinas com variação contínua de avanços e rotações.

A máquina deve ser aferida antes dos ensaios, e as seguintes tolerâncias devem ser respeitadas /21,33/:

- Sistema de acionamento de avanços: -2% a +3%

- Sistema de acionamento de rotações: 2%
- Sistema de acionamento da profundidade de corte: 5%

3.4 Condições de Usinagem

A equação de Taylor expandida é um modelo matemático que representa, satisfatoriamente, um ensaio de vida de gume por considerar, através de seus expoentes, a influência da variação das condições de corte na usinagem do material /23/. Através dela, pode-se determinar valores de corte para condições de usinagem diferentes daquelas usadas nos ensaios.

Para a determinação da constante C e dos expoentes E, F, G, H e I da equação de Taylor expandida, é necessário utilizar-se diferentes combinações de condições de corte. Recomenda-se utilizar /22/:

- 3 a 4 velocidades de corte
- 3 avanços
- 2 profundidades de corte
- 2 relações a_e/D

Para os aços e ferros fundidos, a menor velocidade de corte deve ser tal que, para um desgaste de flanco VB de 0,5 a 0,6 mm tenha-se uma vida da ferramenta por gume de 2,5 a 5 m (comprimento de fresamento medido na direção do avanço) /22/. Para a determinação dessa velocidade é necessária a realização de um pré-ensaio.

Para se obter pontos igualmente espaçados no gráfico logaritmico vida da ferramenta versus velocidade de corte, recomenda-se que as velocidades variem segundo uma razão "r"

constante. Isso é conseguido escolhendo-se as velocidades de corte a partir de séries de números normalizados, conforme valores a seguir /24/:

- Metal duro: série R20 ($r= 1,12$)

- Cerâmica: série R10 ($r= 1,25$)

Recomenda-se que os avanços por gume f_z sejam escolhidos com base na série de números normalizados apresentada a seguir /22/:

$$f_z = 0,16/0,20/0,25/0,315/0,40/0,63$$

Como avanço de referência deve-se tomar um valor próximo de 0,3 ($f_z = 0,3$ mm). A escolha dos demais avanços deve ser feita de forma que um valor seja superior e o outro inferior a 0,3 mm. Logo, os valores sublinhados na série mostrada acima são os preferidos.

O avanço por gume não deve, em caso algum, ultrapassar a 1 mm ($f_{z_{\text{máx}}} = 1$ mm) /24/.

Como profundidade de corte padrão utiliza-se $a_p = 2,5$ mm. Para as demais profundidades de corte deve-se utilizar, preferencialmente, os valores de 6,25 e 12,5 mm /22/.

Em qualquer caso, entretanto, as profundidades de corte escolhidas devem obedecer a seguinte relação /24/:

$$0,75 \text{ mm} \leq a_p \leq 25 \cdot f_z$$

Para se estudar a influência da relação a_e/D na vida da ferramenta, deve-se realizar ensaios com diferentes larguras de corte. Essas larguras de corte devem ser escolhidas de forma que se obtenha relações a_e/D iguais a 0,75 e 0,5 /22/.

A escolha das combinações dos parâmetros de corte pode ser realizada com o auxílio da tabela 2 /22/. Nela, as combinações sublinhadas com linhas cheias representam o número mínimo de

combinações distintas de parâmetros de usinagem que devem ser executadas nos ensaios.

$v_{c1,fz1,a_{p1},a_{e1}}$	$v_{c1,fz2,a_{p1},a_{e1}}$	$v_{c1,fz3,a_{p1},a_{e1}}$	$v_{c2,fz2,a_{p2},a_{e1}}$
$v_{c2,fz1,a_{p1},a_{e1}}$	$v_{c2,fz2,a_{p1},a_{e1}}$	$v_{c2,fz3,a_{p1},a_{e1}}$	$v_{c2,fz2,a_{p1},a_{e2}}$
$v_{c3,fz1,a_{p1},a_{e1}}$	$v_{c3,fz2,a_{p1},a_{e1}}$	$v_{c3,fz3,a_{p1},a_{e1}}$	
CONSTANTES		CONSTANTES	
$a_{p1} = 2,5 \text{ mm}$		$a_{p2} = 2,5 \text{ mm}$	
$a_{e1}/D = 0,75$		$a_{e2}/D = 0,5$	
DIÂMETRO DA FRESA PADRÃO $D = 125 \text{ mm}$			

Tabela 2 Escolha das combinações de condições de corte.

Entretanto, sempre que se dispuser de material suficiente, bem como para atender ao modelo proposto, recomenda-se realizar ensaios com, no mínimo, duas diferentes profundidades e duas diferentes larguras de corte, conforme indicado pelas combinações sublinhadas com linhas tracejadas na tabela 2.

3.5 Condições de Contato Entre Ferramenta e Corpo-de-Prova

Em operações de corte interrompido, a maneira exata pela qual a ferramenta entra e sai da região de corte tem um efeito significativo na vida da mesma /22/.

Nas operações de fresamento, diferentes pontos da face da ferramenta podem ser pontos de contato inicial entre ferramenta e peça. O paralelograma STUV da figura 28 mostra o material removido por um gume. O mesmo paralelograma STUV pode ser marcado sobre a face da ferramenta /25/.

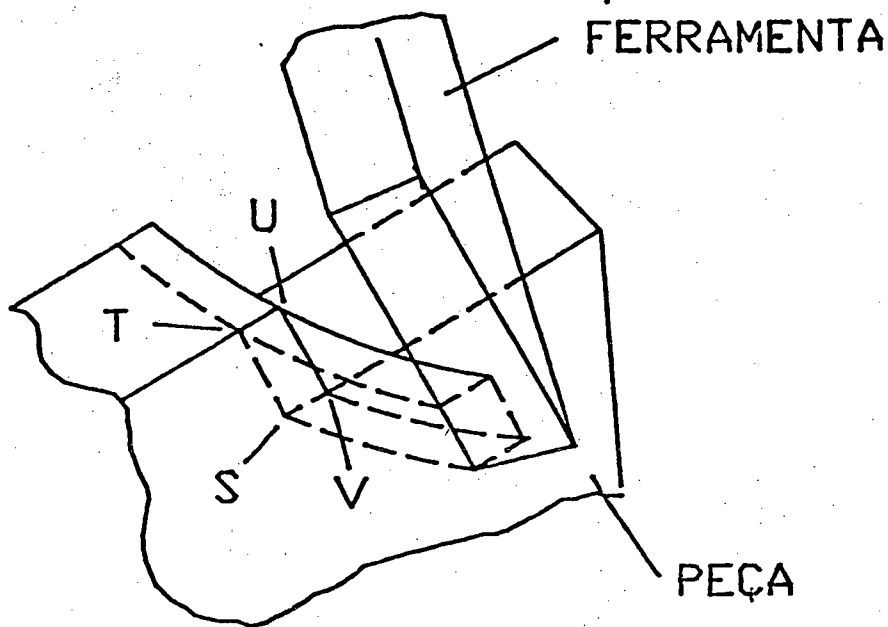


Figura 28

Contato entre
ferramenta e peça.

O ponto U, sobre a face da ferramenta, por ser o mais afastado dos gumes principal e secundário, é o mais resistente ao impacto e sobre ele é desejado o contato inicial. Já o ponto S, localizado na quina da ferramenta, é o ponto mais sensível ao impacto /26/. Além disso, pode-se obter contatos iniciais sobre as linhas ST, SV, TU e UV.

Para se obter contato inicial no ponto U, o ângulo de saída axial da ferramenta deve ser negativo ($\gamma_p < 0^\circ$). Haverá contato inicial no ponto S se o ângulo de saída axial for positivo ($\gamma_p > 0^\circ$). Quando $\gamma_p = 0^\circ$, não haverá contato inicial em S nem em U e, dependendo da posição relativa entre peça e ferramenta, o contato inicial se dará sobre toda a secção STUV /25/.

A influência da posição relativa entre peça e ferramenta (caracterizada pelo ângulo de entrada ϵ_E) está mostrada na figura 29. Em ambos os casos, as ferramentas representadas tem ϵ_E igual a zero. Observa-se que, quando o centro da fresa não está sobre a peça ($\epsilon_E < 0^\circ$), o contato inicial se dá sobre o gume da pastilha, situação esta bastante desfavorável (figura 29a). Já quando o centro da fresa está sobre a peça ($\epsilon_E > 0^\circ$), o contato

inicial se dá sobre a face da pastilha (figura 29b).

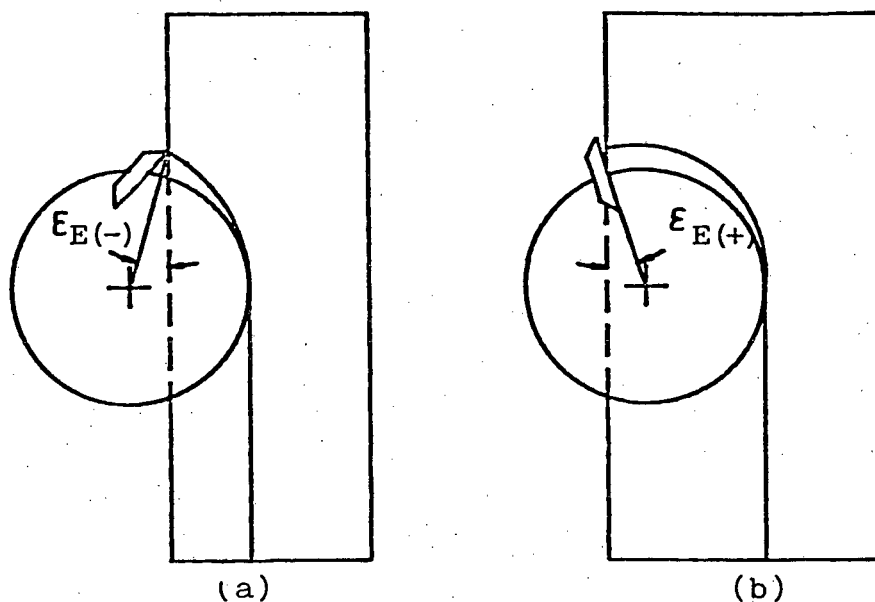


Figura 29 Influência da posição relativa entre peça e ferramenta.

Em geral, quando o centro da fresa estiver sobre o eixo de simetria da peça (no caso em que $a_e < D$), se terá condições favoráveis de contato inicial entre peça e ferramenta /16/. Além disso, nesse caso, cada pastilha irá percorrer uma distância menor em contato com a peça do que se o centro da fresa estiver deslocado em relação ao eixo de simetria da peça. Isso pode ser visto na figura 30, onde $S_1 < S_2$.

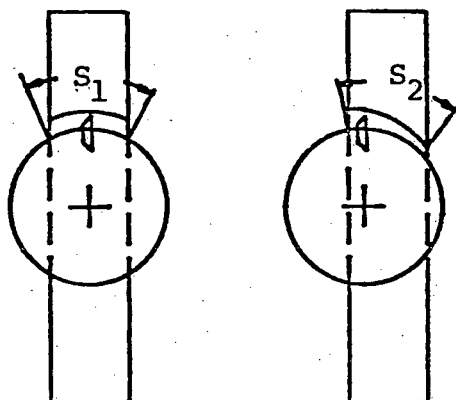


Figura 30 Influência da posição do centro da fresa sobre o arco de contato.

Recomenda-se que $2/3$ do diâmetro da fresa estejam sobre a peça (figura 31a) /16/. Dessa forma tem-se, no início do percurso da pastilha sobre a peça, uma espessura do cavaco h próxima da espessura máxima ($h_{m\acute{a}x} = f_z$). Deve-se evitar que o corte do material se inicie pela parte do cavaco que, teoricamente, tem $h=0$ (figura 31b), já que haverá grande atrito do gume na peça antes que se inicie, efetivamente, o arrancamento de material.

Nos ensaios, o centro de rotação da fresa deve coincidir com o eixo de simetria da peça (fresamento central) /24/.

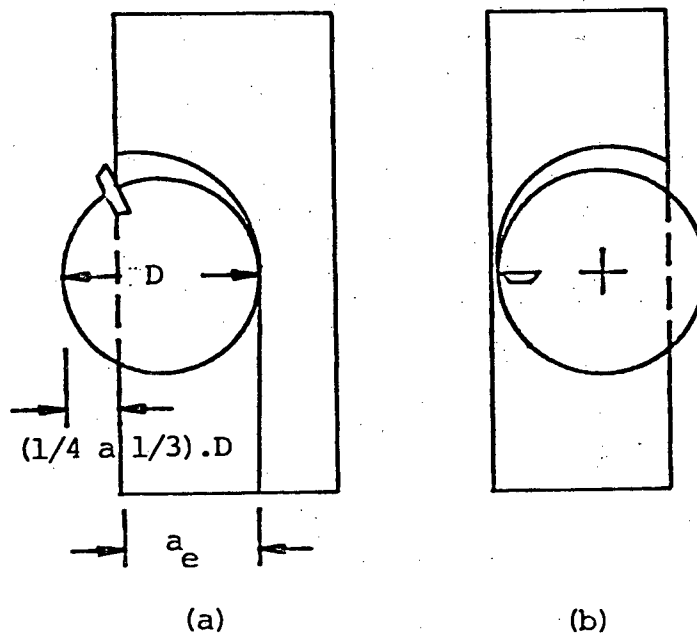


Figura 31 Condições de contato entre peça e ferramenta
(a) situação recomendada e (b) desfavorável.

3.6 Tipos de Desgastes

Os tipos principais de desgaste do gume verificados em ferramentas de metal duro ou cerâmica são o desgaste de flanco, desgaste de cratera, trincas em forma de pente e trincas transversais.

3.6.1 Desgaste de Flanco

O desgaste de flanco é causado, principalmente, por abrasão mecânica. Resulta do forte atrito e da elevada pressão entre peça, ferramenta e cavaco. Partículas muito pequenas são arrancadas do material da ferramenta por ação de forças externas. Os principais responsáveis pelo arrancamento dessas partículas são constituintes muito duros que se encontram presentes no material da peça, tais como óxidos e carbonetos /27/. É comum em usinagens com baixas velocidades de corte.

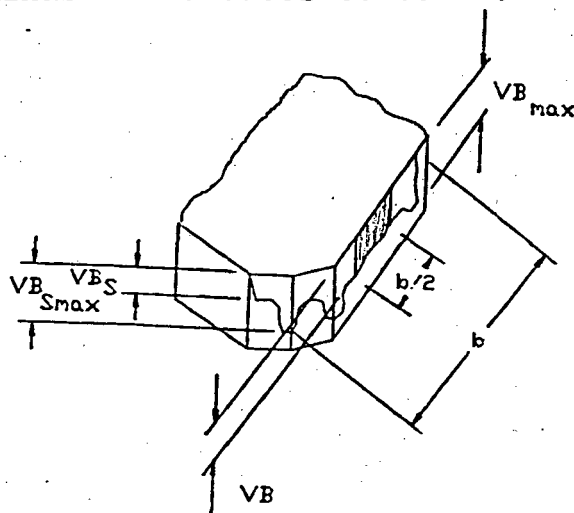


Figura 32 Medição do desgaste de flanco.

Para a medição do desgaste de flanco recomenda-se o uso de um microscópio com um aumento de 10 a 50 X. Mesmo quando houver deformação plástica do gume, a marca de desgaste no flanco deve ser medida em relação a posição original do gume considerado.

Devem ser medidos os desgastes VB e VB_{\max} do gume principal e os desgastes VB_S e $VB_{S\max}$ do gume secundário da ferramenta, conforme figura 32. Para a medição da largura da marca de desgaste VB , considera-se um comprimento b do gume principal equivalente ao comprimento da faixa de desgaste do flanco da pastilha. Esse comprimento b deve ser dividido em 3 zonas, de forma que a zona central tenha comprimento $b/2$ e cada zona lateral tenha comprimento $b/4$. O desgaste de flanco VB deve ser medido na zona de comprimento $b/2$ (parte hachurada da figura 32).

3.6.2 Desgaste de Cratera

Corresponde a formação de uma cratera na face da ferramenta, devido as altas tensões de contato e as altas temperaturas na interface ferramenta-cavaco /28/. O desgaste de cratera é um típico desgaste provocado pelo mecanismo de difusão, portanto, predomina em altas velocidades de corte, onde a temperatura de contato é maior /23/.

Deve-se medir a profundidade da cratera KT , a distância do gume ao centro da cratera KM e a distância do gume ao final da cratera KB , conforme mostrado na figura 33. Esses valores devem ser tomados em relação a posição original dos gumes principal e secundário. O valor de KT pode ser medido com um rugosímetro ou, então, com um microscópio, através da medição da distância entre os focos da superfície da pastilha e do fundo da cratera.

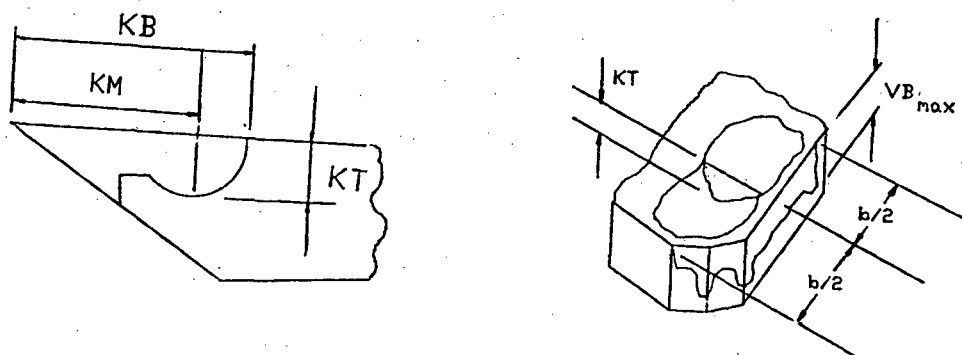


Figura 33 Desgaste de cratera.

3.6.3 Trincas em Forma de Pente e Trincas Transversais

Trincas em forma de pente e trincas transversais (paralelas ao gume) são avarias típicas de ferramentas de metal duro em operações de fresamento. As primeiras são resultantes da fadiga térmica, enquanto as últimas são causadas pela fadiga mecânica produzida pelas solicitações dinâmicas próprias do corte interrompido /27/.

Trincas transversais ocorrem, principalmente, sobre o flanco da ferramenta, dentro dos setores resultantes da formação das trincas em forma de pente, conforme mostrado na figura 34 /24/. As trincas transversais estão distribuídas em planos sobrepostos.

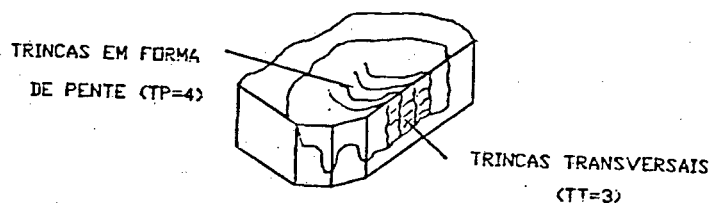


Figura 34 Trincas em forma de pente e transversais.

Os números de trincas em forma de pente (TP) e de trincas transversais (TT) devem ser determinados com auxílio de um microscópio de ferramentaria, com um aumento de 10 a 50 X. O número de trincas TT indica o maior número de planos de trincas transversais que existem em qualquer dos setores. Como exemplo, na figura 34 tem-se TP=4 e TT=3.

3.7 Critérios de Fim de Vida do Gume

Através de pré-ensaios pode-se determinar qual tipo de desgaste mais contribui para a redução da vida da ferramenta. Em caso de dúvida, pode-se utilizar dois critérios (o que resulta em duas curvas $v_c \times T$) ou uma combinação de dois critérios (resultando em uma curva $v_c \times T$ "quebrada"). Na figura 35 está representada essa última situação para os critérios de desgaste de flanco VB e profundidade da cratera KT /24/.

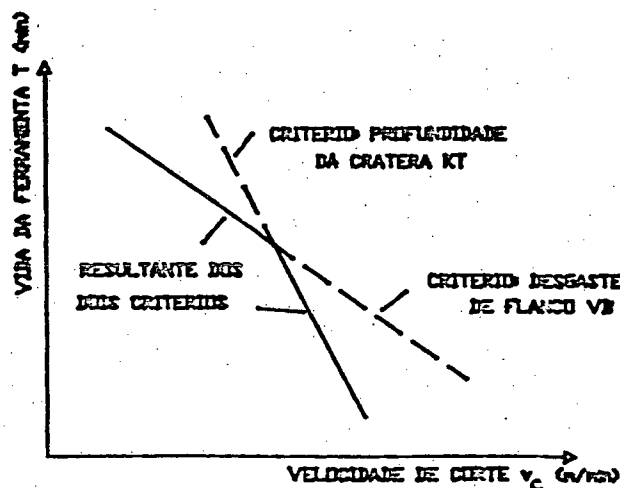


Figura 35 Critérios de fim de vida do gume.

Os valores recomendados para critérios de fim de vida de ferramentas cerâmicas e de metal duro estão mostrados na tabela 3 /24/.

MATERIAL	TIPO DE DESGASTE	VALORES
METAL DURO	VB (mm)	0,3 a 0,5
	VB (mm)	0,5 a 0,7
	KT ^{max} (mm)	0,1 a 0,2
CERÂMICA	VB (mm)	0,15 a 0,30
	KT (mm)	0,1

Tabela 3 Critérios de fim de vida do gume.

3.8 Procedimento de Ensaio

Uma vez definidas as condições de corte (v_c , a_p , f_z e a_e), as ferramentas e os corpos-de-prova, devem ser preparados todos os componentes que farão parte do ensaio.

Devem-se calibrar os componentes da máquina-ferramenta onde são acionados avanço, profundidade de corte e rotação. A calibração determinará se os equipamentos estão operando corretamente na faixa de tolerâncias especificadas para o ensaio e, em caso de erros, possam ser feitas as devidas correções a fim de se obter os valores reais desejados.

Periodicamente, recomenda-se verificar se todos os componentes permanecem em perfeitas condições (fixações da ferramenta e corpo-de-prova, cabos elétricos, etc.).

Os corpos-de-prova, assim como os gumes das pastilhas, devem ser devidamente identificados por marcas, para facilitar o controle do ensaio.

Antes do início dos ensaios devem ser preparadas as folhas

de registro de dados. Cada folha deve ser exclusiva para um gume da pastilha e para uma combinação de condições de usinagem.

Como em fresamento o gume não está em permanente contato com o corpo-de-prova, o tempo de usinagem não representa o tempo de contato peça-ferramenta. Uma medição simples de se efetuar, entretanto, é o comprimento de corte total L , que é a trajetória total percorrida pela ferramenta na direção do avanço, a partir do ponto em que a mesma inicia a remoção de cavacos.

Para cada combinação de condições de corte deverão ser efetuadas, no mínimo, 5 medições de desgaste, de preferência espaçadas igualmente ao longo da vida da ferramenta /24/. Por exemplo, se o fim de vida esperado (com base no pré-ensaio) for de $L = 400$ mm, deve-se efetuar as medições de desgaste a 80, 160, 240, 320 e 400 mm de usinagem, medidos na direção do avanço.

3.9 Análise e Processamento dos Resultados

De posse dos valores de desgaste da ferramenta, com seus respectivos comprimentos de fresamento, podem ser traçadas curvas conforme figura 36, para cada combinação de condições de corte ensaiada. A principal finalidade do traçado dessas curvas é se fazer uma verificação da qualidade dos resultados das medições realizadas. Com isso, pode-se evitar que uma medida afetada por um erro aleatório, que a coloca fora da faixa de incerteza de medição, seja considerada no resultado do ensaio (por exemplo, o ponto D na figura 36).

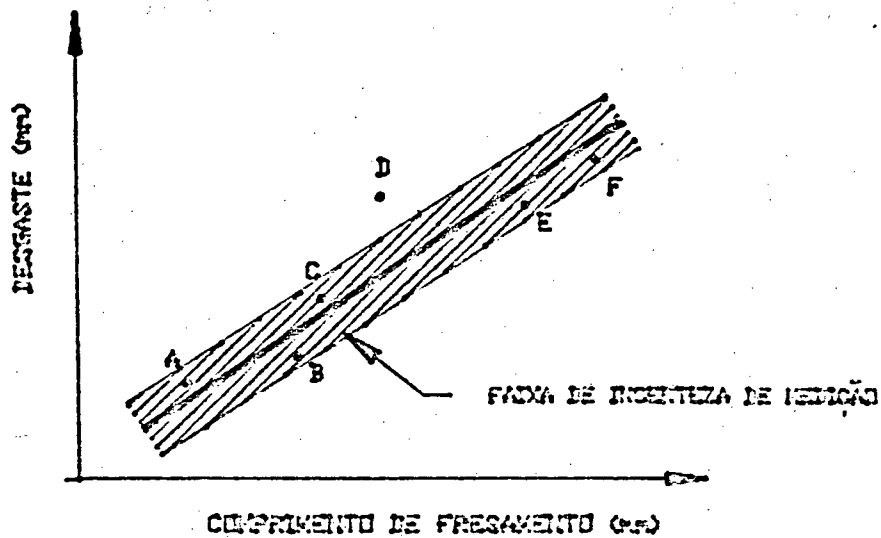


Figura 36 Verificação da qualidade das medições.

O conjunto de dados obtidos nos ensaios de vida do gume deve ser processado para a obtenção da constante C e dos expoentes E , F , G , H e I da equação expandida de Taylor. Isso é feito por programas de computador /29/, através da análise de regressão linear múltipla.

CAPITULO 4

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL ENSAIADO

4.1 Aferições da Máquina-Ferramenta

4.1.1 Aferição do Sistema de Acionamento de Avanços

Na fresadora universal utilizada, o sistema de acionamento de avanços é independente do sistema de acionamento da árvore.

Para a calibração do sistema de acionamento de avanços foi utilizado o colar graduado da própria máquina e um cronômetro. A escala do colar graduado era zerada e acionava-se o avanço no mesmo instante em que era acionado o cronômetro. Após 1 minuto era desligado o avanço e feita a leitura da medida indicada no colar graduado. Para se reduzir a incerteza, repetia-se as medições por 3 vezes.

Como os valores obtidos foram bastante diferentes dos valores indicados no seletor de avanços da máquina-ferramenta (Apêndice I), não foi feito um cálculo do erro relativo apresentado por esses valores. Ao invés disso, foram utilizados, como dados dos ensaios, os valores reais obtidos na calibração, enquanto os valores indicados no seletor foram desprezados.

Para verificar se, ao longo do percurso longitudinal de usinagem, o avanço se mantinha constante, as medições foram realizadas em 3 posições: P1, P2 e P3. Essas posições correspondem, respectivamente, ao início, meio e fim desse percurso.

4.1.2 Aferição do Sistema de Acionamento da Profundidade de Corte

Para a calibração do sistema de acionamento da profundidade de corte foi utilizado um relógio comparador. O relógio comparador era fixado magneticamente a uma parte fixa da máquina, enquanto o seu apalpador registrava o deslocamento da mesa. O valor lido no apalpador era comparado, posteriormente, ao valor lido no colar graduado da máquina-ferramenta. Para diminuir a incerteza, repetiu-se as medições por 3 vezes.

O erro relativo foi definido pela seguinte equação /23/:

$$ER = \frac{VM - VT}{VT} \cdot 100 \quad (64)$$

ER: erro relativo, %

VM: valor medido

VT: valor teórico

O maior erro relativo encontrado, para a faixa de valores de profundidade de corte utilizada nos ensaios, foi de -0,4% (Apêndice I), estando, portanto, dentro das tolerâncias do item 3.3.

4.1.3 Aferição do Sistema de Acionamento da Arvore

A fresadora utilizada nos ensaios possui variação escalonada de rotações. Para a calibração foi utilizado um tacômetro posicionado diretamente sobre a extremidade da árvore. Em cada posição da alavanca seletora de rotações foram realizadas 3 medições.

Também neste caso verificou-se grande diferença entre os

valores indicados no seletor de rotações e os valores obtidos nas medições com o tacômetro (Apêndice I). Logo, estes últimos valores foram considerados como dados dos ensaios e os valores indicados no seletor de rotações foram desprezados.

4.2 Ferramenta Utilizada Nos Ensaios

Foi utilizado um cabeçote de fresar de 160 mm de diâmetro, com geometria duplo-negativa ($\gamma_f = -5^\circ$ e $\gamma_p = -7^\circ$), como é indicado para a usinagem de ferros fundidos /32/. O ângulo de posição do gume (K_r) era de 75° . Esses ângulos estão mostrados na figura 27 do item 3.2.

Foram escolhidas pastilhas de metal duro da classe ISO K15, as quais foram fornecidas pela Sandvik-Coromant. Segundo o fabricante, o tipo HM foi desenvolvido para o fresamento de ferro fundido de baixa liga, apresentando resistência muito alta ao desgaste e a deformação plástica. Além disso, podem usinar com velocidades de corte compreendidas entre 85 e 155 m/min e com um avanço por gume na faixa de 0,1 a 0,4 mm /34/. Esse tipo foi, portanto, considerado adequado para a realização dos ensaios.

4.3 Ensaio de Vida de Gume

Os corpos-de-prova, após a pré-usinagem, eram fixados na máquina-ferramenta por meio de um dispositivo especialmente projetado para esse fim, garantindo a necessária estabilidade e rigidez. A figura 37 mostra o conjunto preparado para o ensaio.

Após determinadas as condições de corte, foram definidos os

critérios de fim de vida do gume. De acordo com o item 3.7, adotou-se, como critério de fim de vida, um desgaste médio de flanco $VB= 0,3$ mm ou uma profundidade máxima da cratera $KT= 0,1$ mm, dependendo do tipo preponderante de desgaste verificado na pastilha.

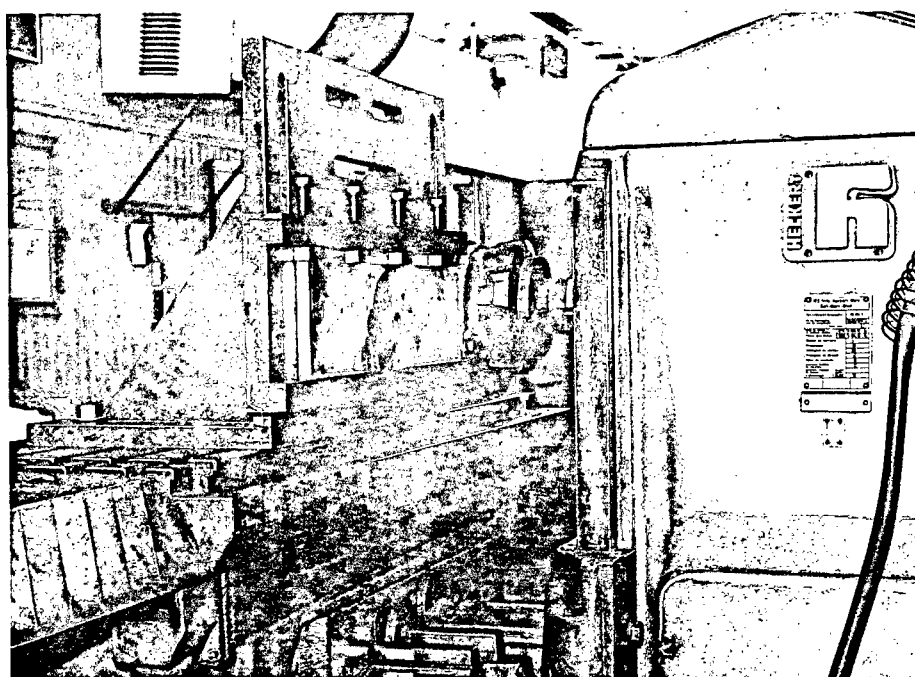


Figura 37 Montagem do conjunto para ensaio de vida do gume.

Os ensaios foram realizados sem emprego de fluido de corte, como é indicado para a usinagem de ferros fundidos /24/.

Foi utilizado o fresamento central, ou seja, a fresa era posicionada de forma que seu centro movimentava-se ao longo do eixo de simetria da barra.

Sempre que se iniciava os ensaios com uma nova combinação de

condições de corte, a rotação e o avanço eram checados para se verificar se correspondiam aos valores desejados.

As medições de desgaste do gume eram realizadas após cada passe ou, quando a evolução do desgaste era lenta, a cada 2 passes ao longo do comprimento do corpo-de-prova.

As medições do desgaste de flanco eram realizadas com um microscópio de ferramentaria com um aumento de 10 X e resolução de 0,001 mm. Para as medições do desgaste de cratera utilizou-se um microscópio ótico. O deslocamento do foco entre o fundo da cratera e a superfície da pastilha era medido através de uma escala com 50 divisões, cada uma correspondendo a 0,002 mm. O resultado da medição era considerado como sendo a média de 3 medidas.

Cada vez que a pastilha era retirada do cabeçote de fresar para uma medição de desgaste, fazia-se a limpeza de sua sede com ar comprimido. Isso evitava acúmulo de partículas na sede, o que poderia provocar variações nos ângulos de trabalho da ferramenta por assentamento indevido da pastilha.

Considerava-se encerrado o ensaio, para cada combinação de condições de usinagem, quando o desgaste atingisse o valor do critério estabelecido para fim de vida do gume.

4.4 Material dos Corpos-de-Prova

Foram utilizados corpos-de-prova de ferro fundido cinzento FC-250, fornecidos pela Indústria de Fundição Tupy Ltda. na forma de barras retangulares com secção transversal de 130x30 mm e 500 mm de comprimento.

4.4.1 Dureza

As medições de dureza foram realizadas em uma das extremidades de 5 barras escolhidas ao acaso, após a pré-usinagem das mesmas.

O método de medição de dureza mais recomendado para ferros fundidos cinzentos é o Brinell /35/. Para a determinação da dureza Brinell do material, foi utilizada uma esfera de 2,5 mm de diâmetro, com carga de 1837,5 N (187,5 kgf), aplicada durante 30 segundos.

Os locais de medições estão indicados na figura 38 e os resultados estão na tabela 4.

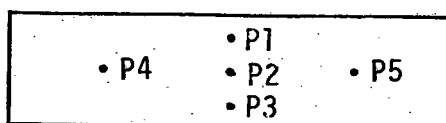


Figura 38 Locais de medição de dureza na seção transversal dos corpos-de-prova.

BARRA	DUREZA BRINNEL (HB)					MÉDIA	D.P.
	P1	P2	P3	P4	P5		
1	184	180	191	184	180	183,8	4,0
2	170	177	177	170	177	174,2	3,4
3	184	180	184	170	177	179,0	5,2
4	177	170	184	170	184	177,0	6,2
5	180	177	184	184	180	181,0	2,6
Resultado da medição das 5 barras						179,0	3,2

Tabela 4 Resultados das medições de dureza.

4.4.2 Composição Química

A análise química foi feita pelo fabricante do material. Os valores médios e os desvios-padrão estão na tabela 5.

	% EM PESO				
	C	Si	Mn	S	Cr
MÉDIA	3,34	2,37	0,43	0,065	0,18
D.P.	0,08	0,04	0,04	0,001	0,00

Tabela 5 Composição química do material ensaiado.

4.4.3 Análise Metalográfica

O material utilizado no ensaio de vida do gume foi analisado, quanto a microestrutura, através de 8 corpos-de-prova extraídos de 4 barras escolhidas ao acaso. Esses corpos-de-prova foram retirados da extremidade e do centro das barras, após a usinagem das mesmas.

Os resultados das análises metalográficas e as figuras 39, 40 e 41 permitiram fazer as seguintes constatações:



Figura 39 Micrografia do material.
Região com grafita A (95%) e C,
tamanhos 2 e 3, matriz constituída
por perlita (96 a 99%) e ferrita
(1 a 4%). Aumento: 100X. Reativo: Nital 2%.



Figura 40 Micrografia do material.
Região com grafita A (70%) e D,
tamanhos 4 e 5, matriz constituída
por perlita (98 a 100%) e ferrita
(0 a 2%). Aumento: 100X. Reativo: Nital 2%.

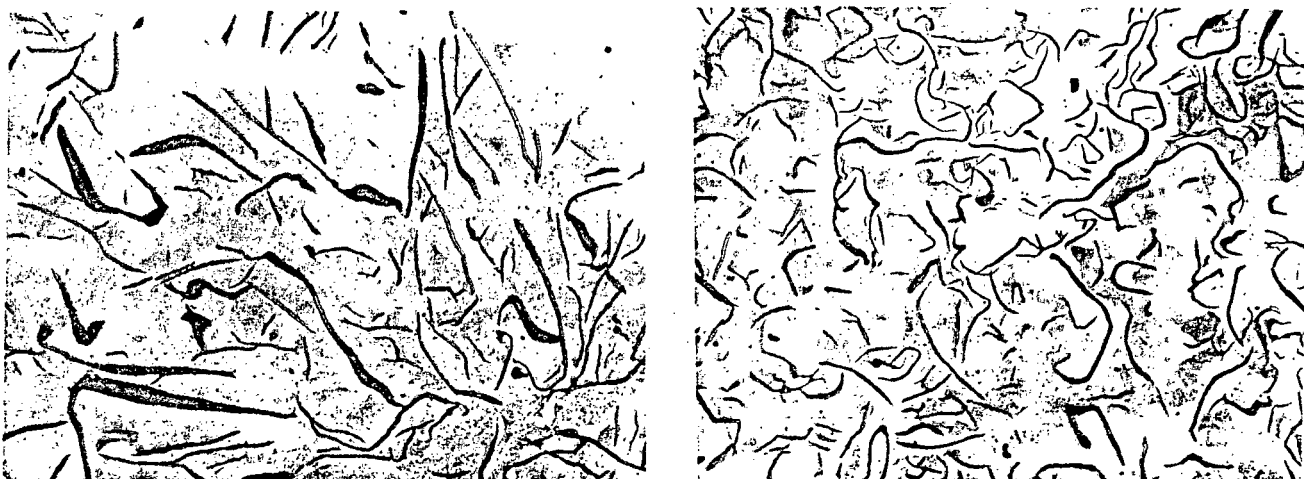


Figura 41 Regiões com grafita A (95%) e C, tamanhos 2 e 3, matriz constituída por perlita (70 a 97%) e ferrita (3 a 30%). A foto da direita mostra uma região próxima a superfície da barra, com grande presença de ferrita e grafita. Aumento: 100X com Nital 2%.

- A microestrutura do material é constituída por veios de grafita na forma I.
- A disposição da grafita é, predominantemente, do tipo A. Existem regiões com grafita tipo C e, ainda, com tipo D.
- Os tamanhos da grafita variam entre os números 2 e 5, predominando os números 2 e 3.
- A matriz é predominantemente perlítica, com regiões ferríticas próximas às superfícies metal/molde ou próximas aos cantos das barras.

Considerando-se a homogeneidade da microestrutura do material, e sabendo-se que todos os corpos de prova foram fabricados sob as mesmas condições, não se julgou necessária a análise de todas as barras ensaiadas.

4.4.4 Resistência Mecânica

A resistência mecânica do material foi verificada através do

limite de resistência à tração.

Os corpos-de-prova, para esse ensaio, foram extraídos de barras restantes dos ensaios de vida do gume. A forma e dimensões (em mm) destes corpos-de-prova estão indicadas na figura 42 /35/.

O valor médio do limite de resistência à tração, para 2 corpos-de-prova, foi de $204,91 \text{ N/mm}^2$, com desvio-padrão de $7,96 \text{ N/mm}^2$.

Pela norma ABNT NBR 6589/81, o valor mínimo de resistência à tração para o FC-250 deve ser 330 N/mm^2 , superior, portanto, ao valor encontrado no ensaio. A diferença pode ser justificada, entretanto, pelo fato de que os corpos-de-prova para o ensaio de resistência à tração foram extraídos das barras fundidas para o ensaio de vida do gume, e não obtidos diretamente na fundição do material, conforme norma ISO-R-377.

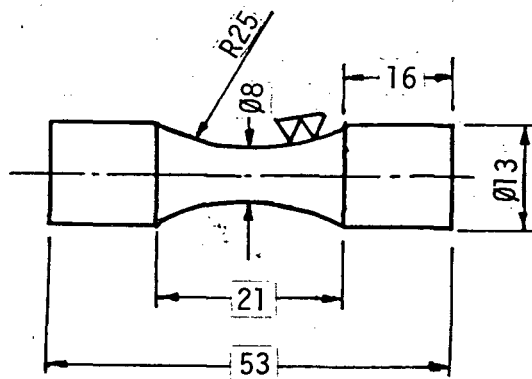


Figura 42 Corpo-de-prova para ensaio de tração.

4.4.5 Determinação de $K_{c1.1}$ e $(1-m_c)$.

Por não se dispor de um dinamômetro para operações de fresamento, os valores de $K_{c1.1}$ e de $(1-m_c)$ foram retirados da literatura /13,14/. Assim, utilizou-se:

$$K_{c1.1} = 1160 \text{ N/mm}^2$$

$$(1-m_c) = 0,74$$

4.5 Equipamentos Utilizados

4.5.1 Equipamentos Utilizados no Ensaio de Vida do Gume

- Máquina-ferramenta: fresadora universal

Fabricante: Heckert - RDA

Modelo: FSS 400-VI

Faixa de velocidades: 28 a 1400 rpm (variação escalonada)

Potência máxima: 10 kW

- Microscópio de ferramentaria

Fabricante: Nikon - Japão

Modelo: Mesuriscopo

Campo de medição da mesa micrométrica: 50x100 mm

Resolução: 0,001 mm

- Microscópio

Fabricante: Carl Zeiss Jena - RDA

Modelo: ausJena

Resolução: 0,002 mm

- Cabeçote de fresar

Fabricante: Sandvik Coromant

Modelo: R-265.1-160M-20

Diâmetro: 160 mm

Número de dentes: 8

- Pastilhas de metal duro

Fabricante: Sandvik-Coromant

Tipo: SNKN 12 04 EN N (ISO) - classe K15

4.5.2 Equipamentos Utilizados para a Caracterização do Material

- Microscópio

Fabricante: Carl Zeiss Jena - RDA

Modelo: Neophot-21

- Máquina universal de ensaios

Fabricante: Wolpert - RFA

Modelo: Testatron

Capacidade: 100 kW

- Durômetro

Fabricante: Heckert - RDA

Resolução: 0,01 mm

4.5.3 Equipamentos Utilizados nas Aferições

- Relógio comparador

Fabricante: Carl Zeiss Jena - RDA

Modelo: I/TGL 7682

Resolução: 0,01 mm

- Tacômetro

Fabricante: Hanhart - RFA

Modelo: DBG 7016 145

Resolução: 0,2 segundos

CAPITULO 5

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE USINABILIDADE

Com base no catálogo do fabricante das pastilhas /34/, nos dados do pré-ensaio e nas considerações do item 3.4, foram escolhidas 7 combinações de condições de usinagem. Essas combinações estão descritas na tabela 6.

COMBINAÇÃO	1	2	3	4	5	6	7
v_c (m/min)	98,5	98,5	98,5	78,9	122,08	98,5	98,5
f_z (mm)	0,28	0,10	0,35	0,28	0,28	0,28	0,28
a_p (mm)	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	3,99	2,49
a_e (mm)	120	120	120	120	120	120	80

Tabela 6 Determinação de condições de usinagem.

Na tabela 6 estão mostrados os valores reais das condições de corte, resultantes das calibrações descritas no item 3.1.

A combinação 1 é considerada a combinação de corte padrão. As demais combinações são resultantes da modificação de uma condição de corte da combinação 1 e tem a finalidade de se analisar o efeito dessa modificação sobre a vida da ferramenta. Assim, as combinações 1, 2 e 3 permitem a análise da influência do avanço no desgaste da ferramenta. As combinações 1, 4 e 5 servem para um estudo da influência da velocidade de corte na vida da ferramenta. As combinações 6 e 7 são usadas, respectivamente, para uma avaliação da influência da profundidade de corte na vida da ferramenta.

Os dois tipos observados de desgaste do gume foram o desgaste de flanco e o desgaste de cratera. As figuras 43 e 44 são fotos de pastilhas utilizadas nos ensaios, mostrando aspectos típicos dos desgastes verificados.

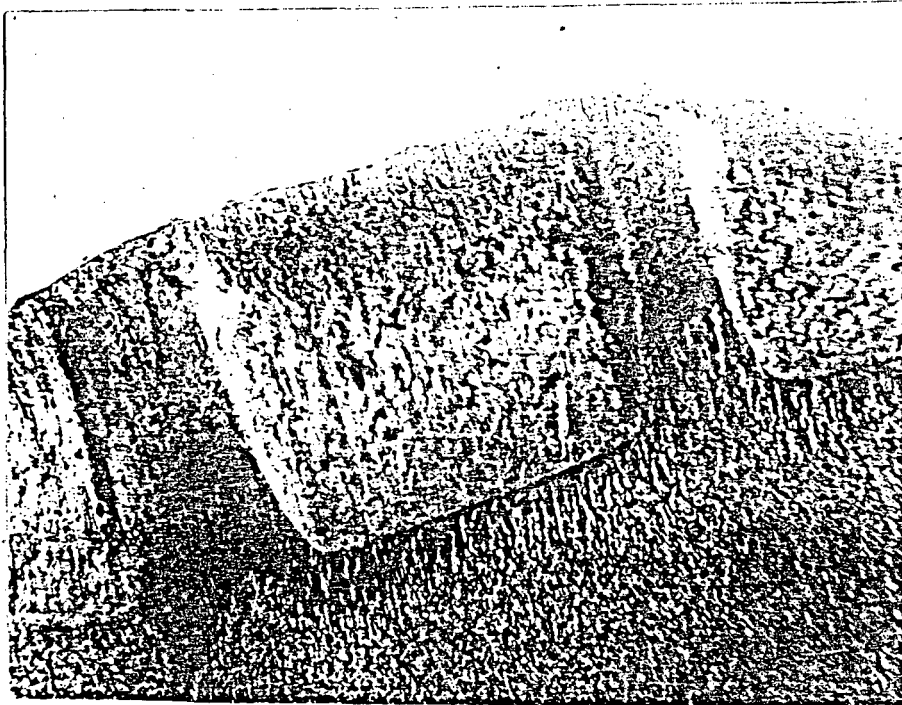


FIGURA 43 Típico desgaste de cratera. Condições de corte: $v_c = 98,5$ m/min, $f_z = 0,35$ mm, $a_p = 2,5$ mm. Na foto vê-se o desgaste $KT = 0,1$ mm após 8,5 m de fresamento. Aumento: 12,5 X.

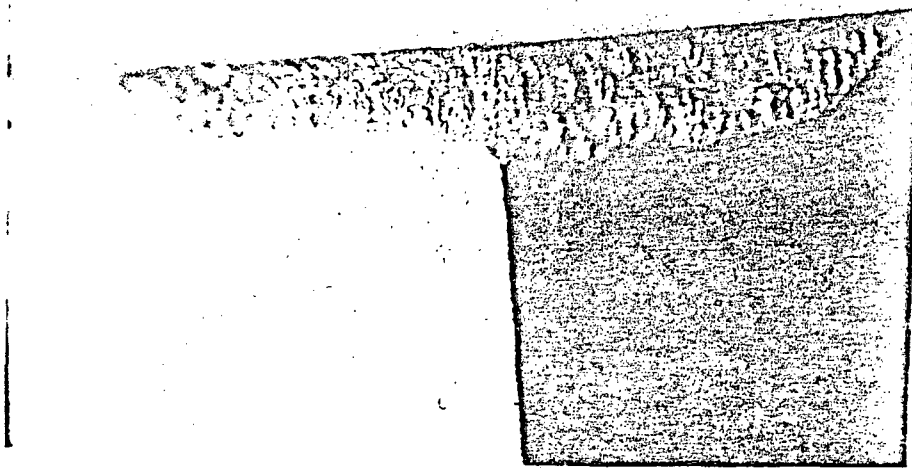


FIGURA 44 Típico desgaste de flanco. Condições de corte: $v_c = 98,5$ m/min, $f_z = 0,28$ mm, $a_p = 2,5$ mm. Na foto vê-se o desgaste $VB = 0,3$ após 12 m de fresamento. Aumento: 12,5 X.

Os gráficos das figuras 45, 46, 47 e 48 mostram o comportamento do desgaste de cratera em função dos tempos de usinagem, para as diversas combinações de condições de corte utilizadas. Nesses gráficos, é possível ajustar a evolução do desgaste a uma reta definida por:

$$y = A \cdot x^B$$

onde o coeficiente A e o expoente B são determinados utilizando-se um programa para regressão linear/11/. A equação de cada reta apresentada nos gráficos está mostrada no Apêndice II.

A figura 45 mostra a influência do avanço na vida da ferramenta. Observa-se que um aumento por gume f_z , de 0,28 para 0,35 mm, provoca uma diminuição da vida da ferramenta em aproximadamente 3 m de comprimento de fresamento (de 12 para 9 m).

A influência da profundidade de corte na vida da ferramenta pode ser verificada na figura 46. Como era de se esperar, uma maior profundidade de corte resulta em uma redução da vida da ferramenta. Essa redução foi de 4 m (de 11,5 para 7,5 m) para um aumento de 2,5 para 4 mm na profundidade de corte.

A relação entre a largura de corte a_e e o diâmetro da fresa D também foi analisada (figura 47). Para um mesmo diâmetro da fresa, observa-se que um aumento na largura de corte provoca uma diminuição da vida da ferramenta, já que é maior o tempo de contato peça-ferramenta. Nos ensaios, verificou-se que um aumento da largura de corte de 80 para 120 mm (a_e/D de 0,5 a 0,75) acarretou uma diminuição da vida da ferramenta de 15,2 para 11,7 m.

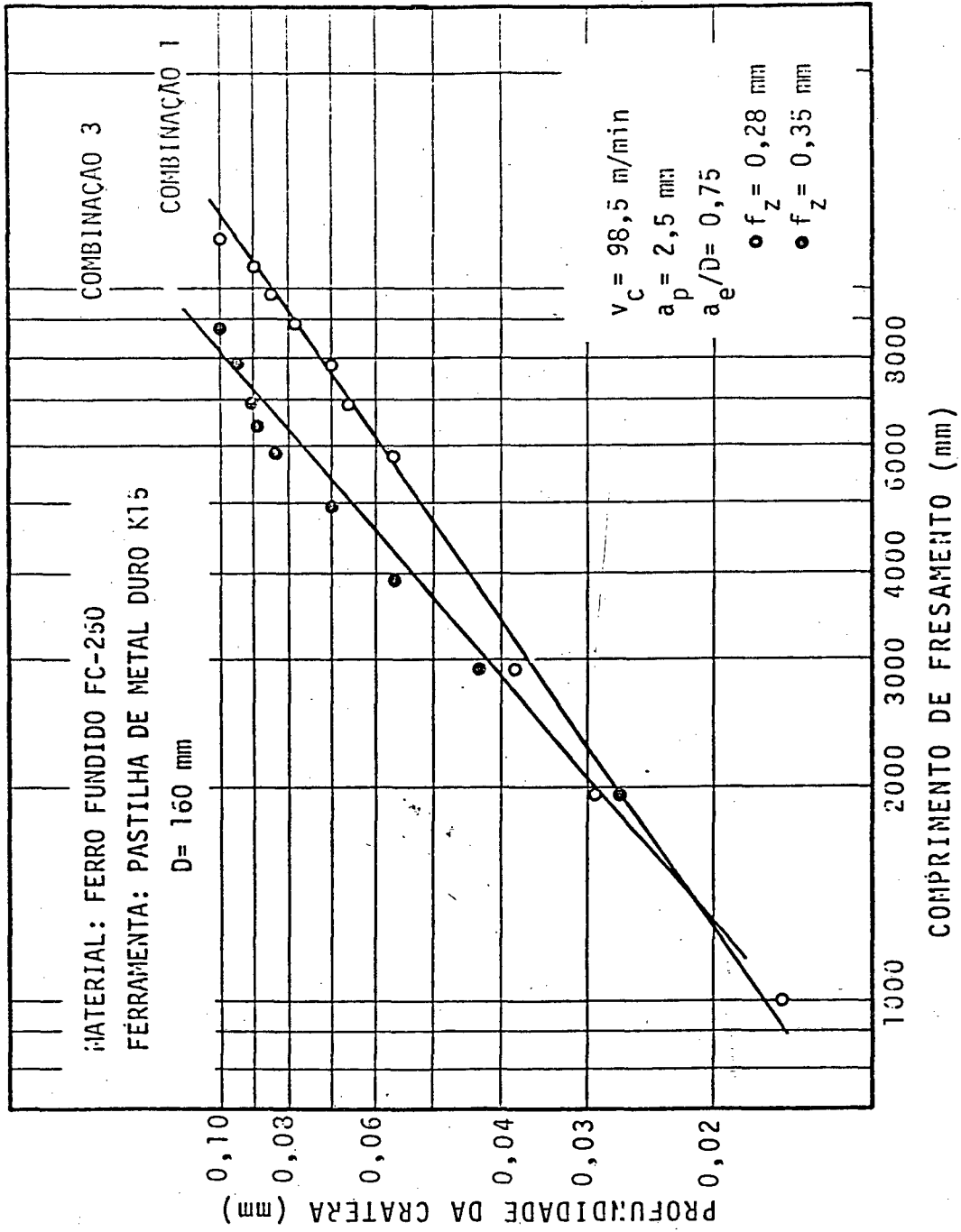


Figura 45 Influência do avanço por gume f_z na vida da ferramenta.

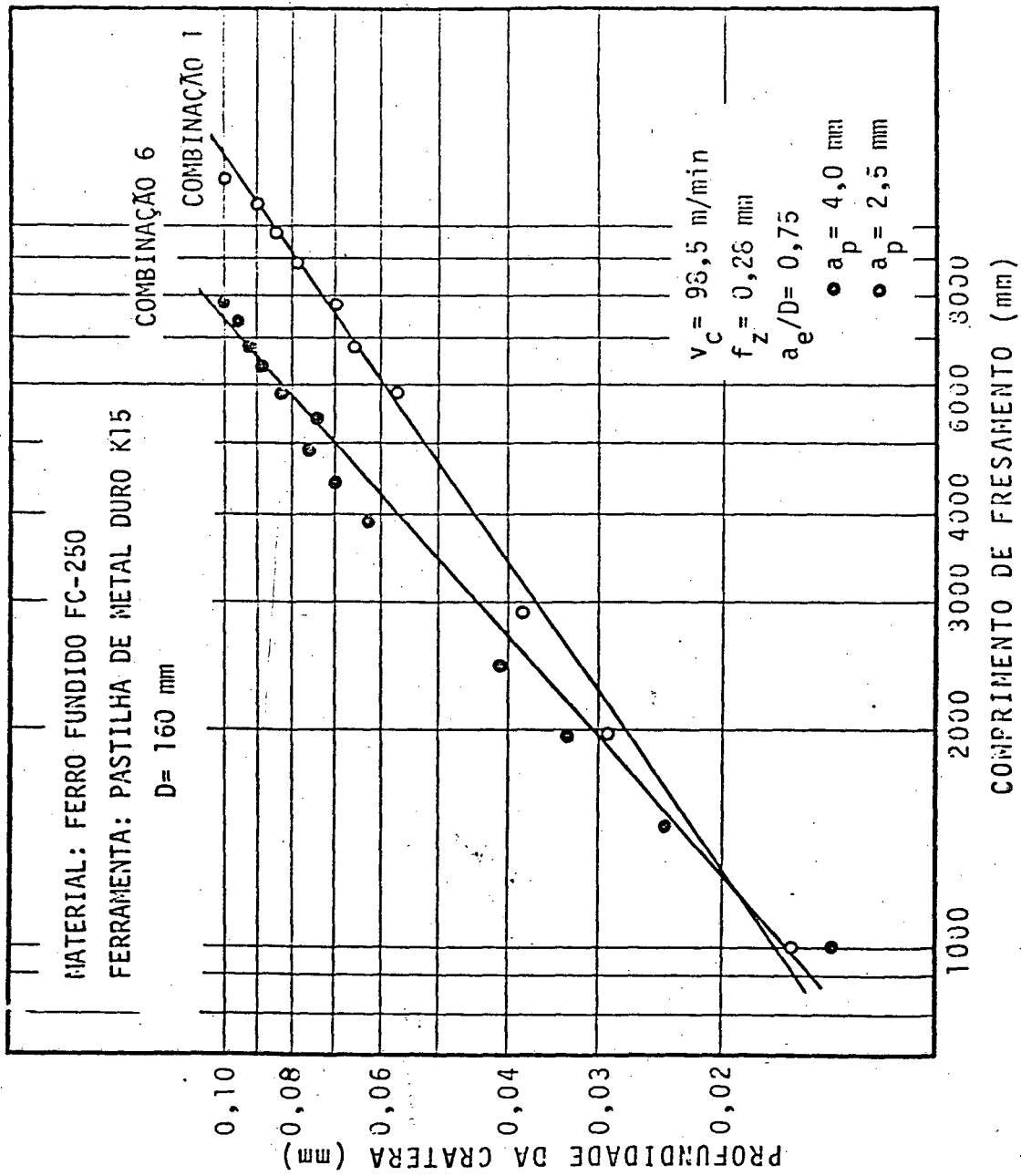


Figura 46 Influência da profundidade de corte a_p na vida da ferramenta.

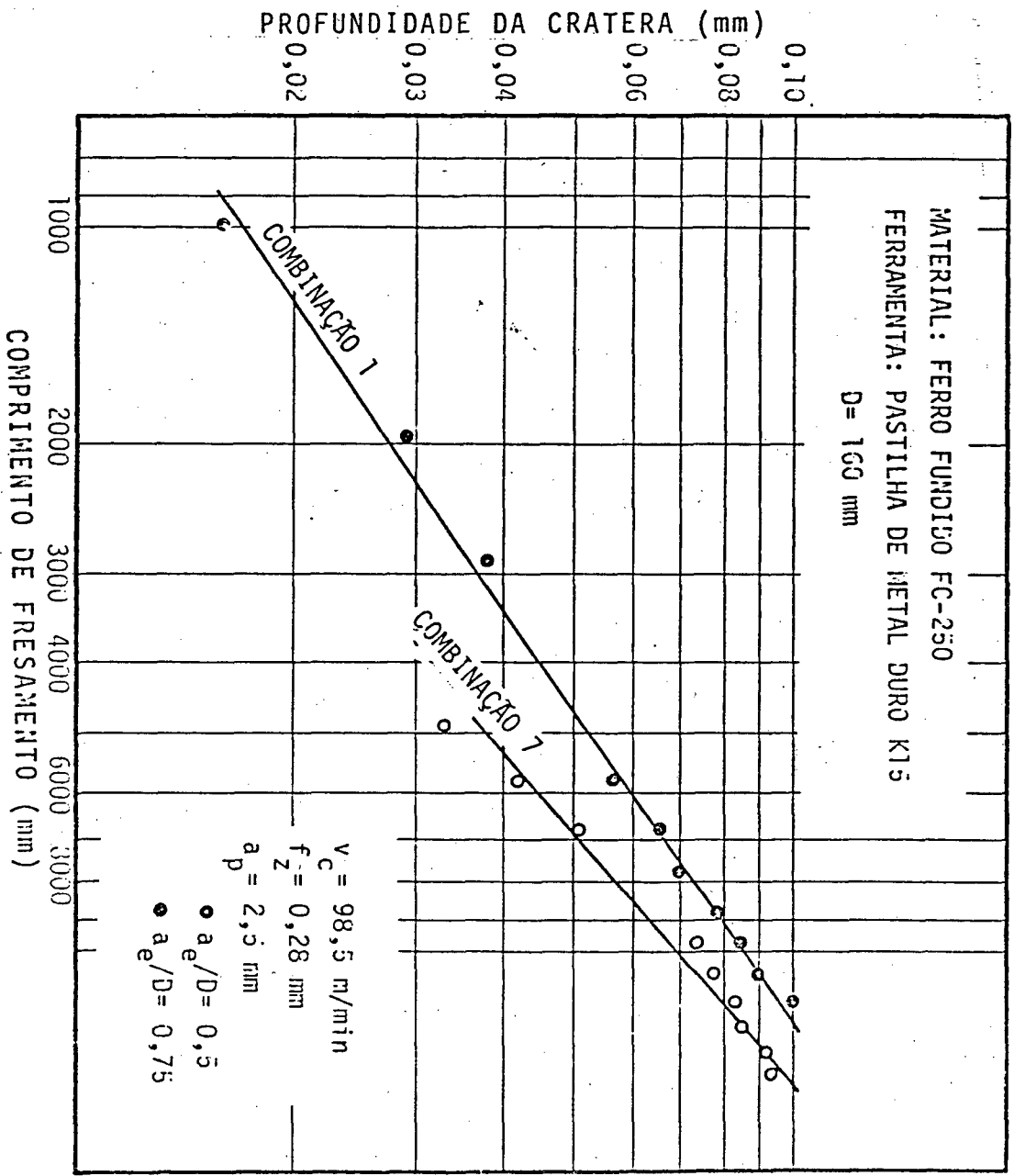


Figura 47 Influência da relação a_g/D na vida da ferramenta.

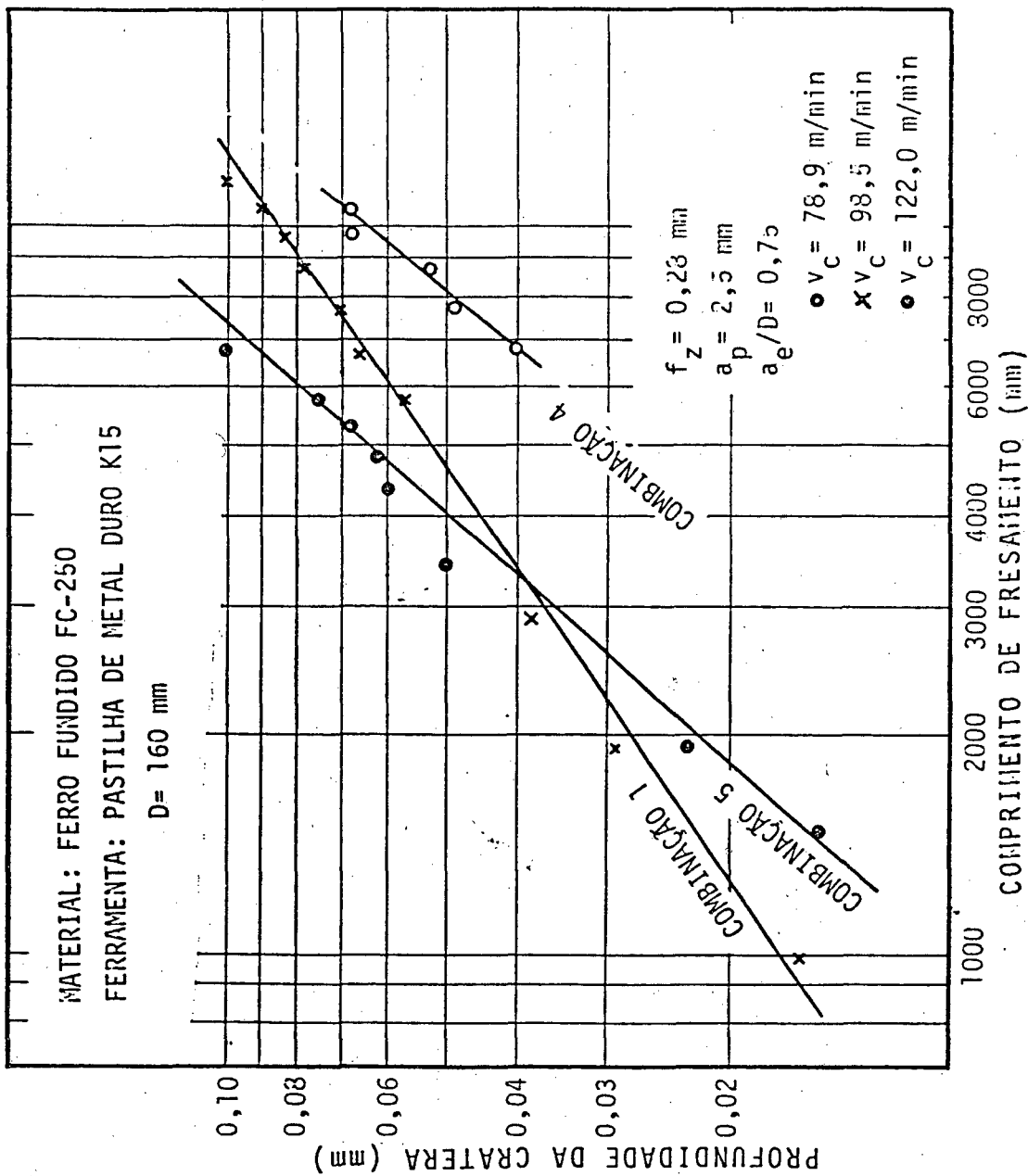


Figura 48 Influência da velocidade de corte na vida da ferramenta.

A velocidade de 98,5 m/min provocou, até o comprimento de 3 m de fresamento, maior desgaste do que a maior velocidade utilizada (122 m/min), como pode ser visto na figura 48. A partir daí, as maiores velocidades apresentaram os maiores desgastes. Com 122 m/min a vida da ferramenta foi de aproximadamente 7,4 m, enquanto com 98,5 m/min foi de 11,7 m. Com a menor velocidade de corte utilizada (78,9 m/min) não se atingiu nenhum critério de fim de vida. Neste caso, interrompeu-se o ensaio com 11 m de fresamento, registrando-se um desgaste de flanco $VB = 0,19$ mm e uma profundidade da cratera $KT = 0,068$ mm.

A figura 49 mostra que uma mudança no avanço pode alterar o mecanismo de desgaste da ferramenta. Observa-se, nesse gráfico, que para o menor avanço utilizado ($f_z = 0,10$ mm) atinge-se o fim de vida pelo critério de desgaste de flanco ($VB = 0,3$ mm) sem praticamente nenhum desgaste de cratera. Já para o maior avanço utilizado ($f_z = 0,35$ mm), o fim de vida foi atingido primeiro devido ao desgaste de cratera ($KT = 0,1$ mm). Para um valor intermediário do avanço ($f_z = 0,28$ mm), o fim de vida da ferramenta foi atingido em um mesmo comprimento de usinagem ($L = 11$ m) pelos dois critérios.

Na figura 50 está mostrada a mudança do mecanismo de desgaste da ferramenta pela variação da velocidade de corte. Com uma velocidade de 98,5 m/min, o fim de vida foi atingido, simultaneamente, pelos dois critérios, para um comprimento de fresamento de 12 m. Aumentando-se a velocidade de corte para 122 m/min, o fim de vida foi atingido com 7 m de comprimento de fresamento, devido ao desgaste de cratera. Pode-se prever que com a menor velocidade de corte ($v_c = 78,9$ m/min), o fim de vida

seria devido ao desgaste de flanco, embora o mesmo não tivesse sido atingido para evitar consumo excessivo de material.

O conjunto de valores de desgaste da pastilha (Apêndice III), processados por um programa estatístico /29/, possibilita a determinação da constante C e dos expoentes E, F, G, H e I da equação de Taylor expandida para fresamento. A equação a seguir, é válida para qualquer combinação de condições de corte, dentro dos limites usados nos ensaios.

$$v_c = 486,30 \cdot a_p^{-0,3190} \cdot f_z^{-0,8664} \cdot V_k^{0,3470} \cdot T^{-0,3126} \cdot (a_e/D)^{-0,2091}$$

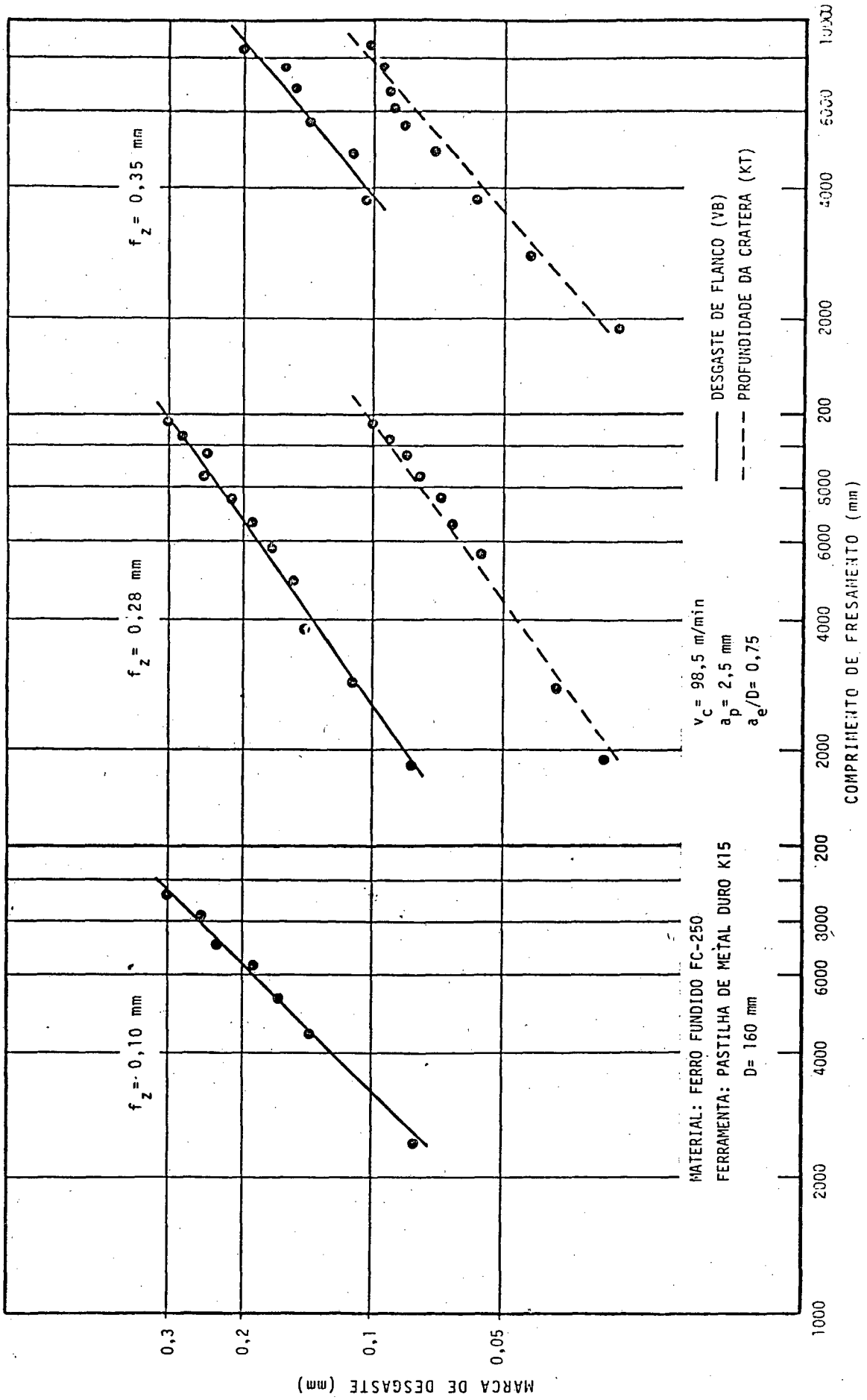


Figura 49 Influência do avanço no mecanismo de desgaste da ferramenta.

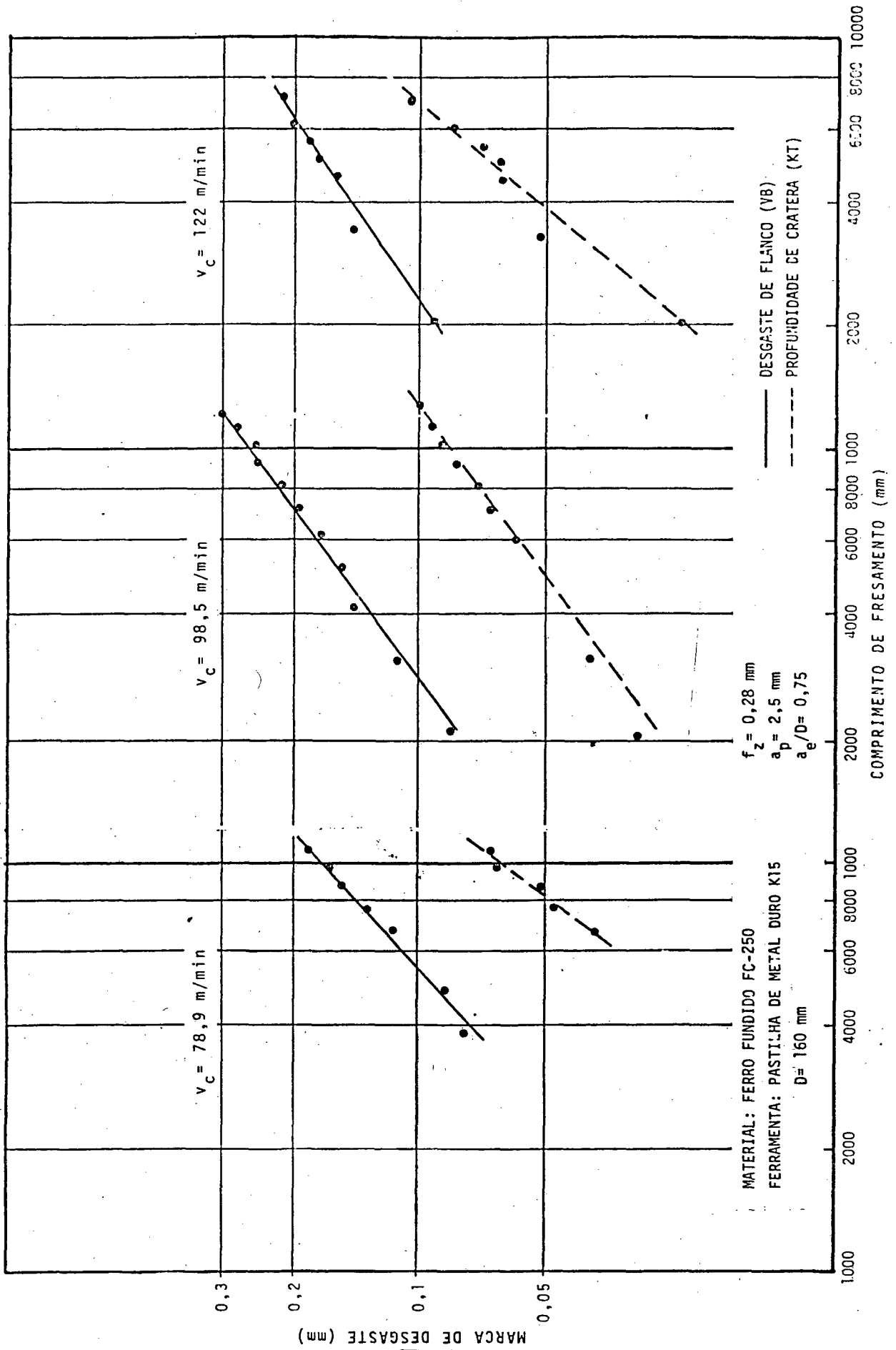


Figura 50 Influência da velocidade de corte no mecanismo de desgaste da ferramenta

CAPITULO 6

SISTEMA DE DETERMINAÇÃO AUTOMÁTICA DE CONDIÇÕES OTIMIZADAS DE USINAGEM (DETAUT) NA PROGRAMAÇÃO APT

O sistema DETAUT é um software que realiza a integração entre um banco de dados de usinagem e a programação de máquinas de comando numérico em linguagem APT.

Através dele, a determinação de velocidades otimizadas de corte e de avanço, a escolha da ferramenta adequada, a distribuição dos passes e a movimentação da ferramenta para a execução da usinagem são feitos automaticamente.

6.1 Descrição

Na figura 51 está esquematizado o sistema DETAUT (no quadro limitado pelas linhas tracejadas) incluído no fluxo normal de qualquer programa em linguagem APT. Tal sistema é constituído, basicamente, pelos seguintes módulos:

a) PROGRAMA DA PEÇA

É o programa escrito pelo usuário. Constitui-se de um programa com quaisquer instruções APT, onde são incluídos comandos especialmente elaborados, através dos quais o programador fornece os dados necessários para a seleção da ferramenta, otimização das condições de usinagem e determinação da trajetória a ser percorrida pela ferramenta. Esses comandos e

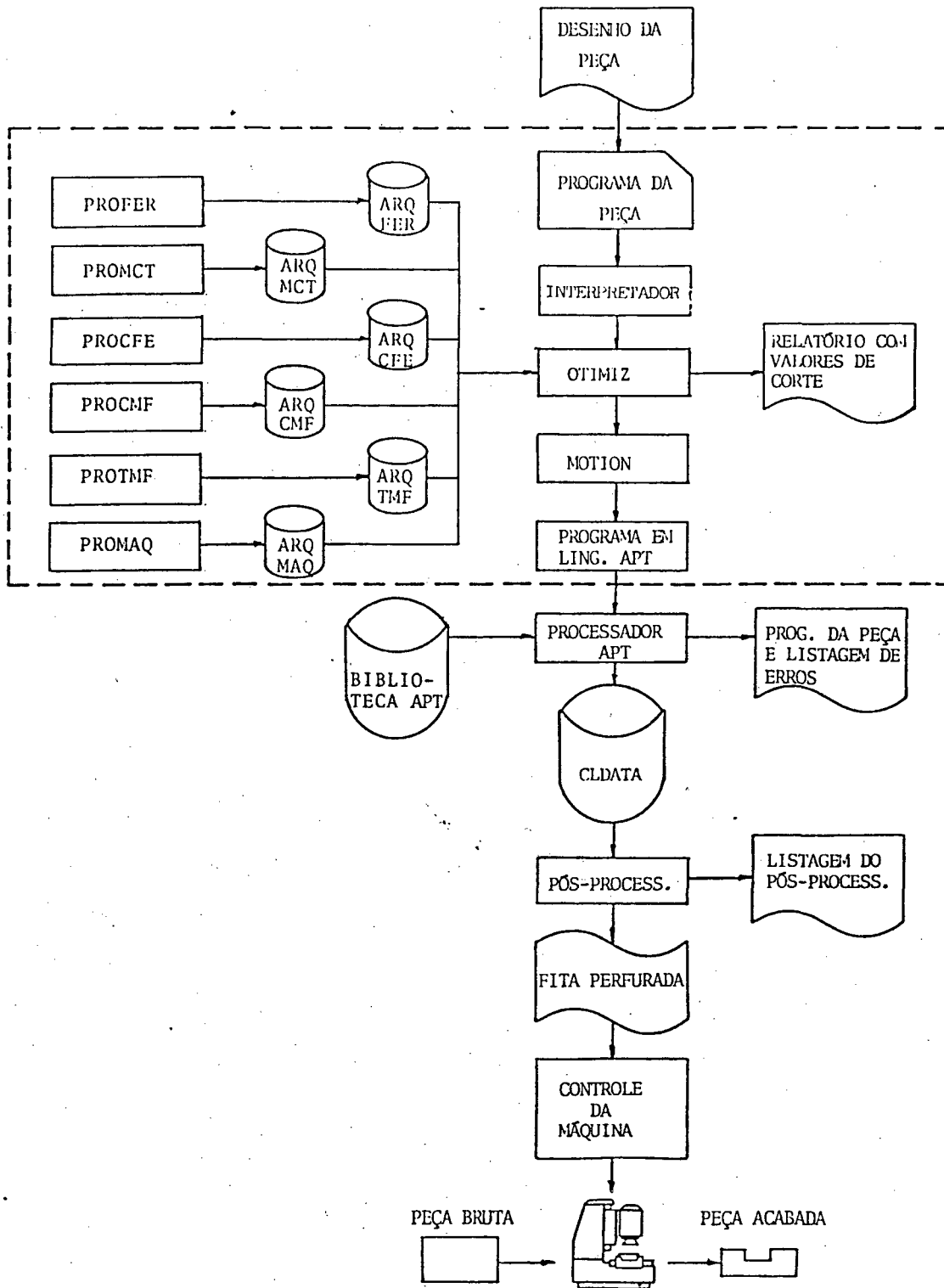


Figura 51 Representação esquemática do sistema DETAUT.

seus respectivos parâmetros são:

*MACHIN/nome

Identificação da máquina-ferramenta.

*MATL/número

Código do material da peça.

*OTIMIZ/A,B,C,D,E onde:

A - Processo de otimização escolhido:

0 - mínimo custo

1- máxima produção

B - Tempo de troca da ferramenta (min).

C - Tempo de preparação da máquina (min).

D - (Vida mínima da ferramenta) (min).

E - (Desgaste máximo da ferramenta) (mm).

*AREA/F,G,H,I,J onde:

F - Número de identificação da região a ser usinada (figura 52).

G - Nome da linha LINHA1.

H - Nome da linha LINHA2.

I - Nome da linha LINHA3.

J - Nome da linha LINHA4.

*PART/K,L,M,N,O,P,Q,R onde:

K - Número de identificação da região a ser usinada (figura 52).

L - Tipo de operação desejada na peça:

1- rebaixo quadrado

2- rebaixo qualquer

3- usinagem plana

M - Rugosidade R_t máxima para acabamento (μm).

N - Redução desejada no avanço de acabamento (%).

O - Dimensão z da peça bruta p_b (mm).

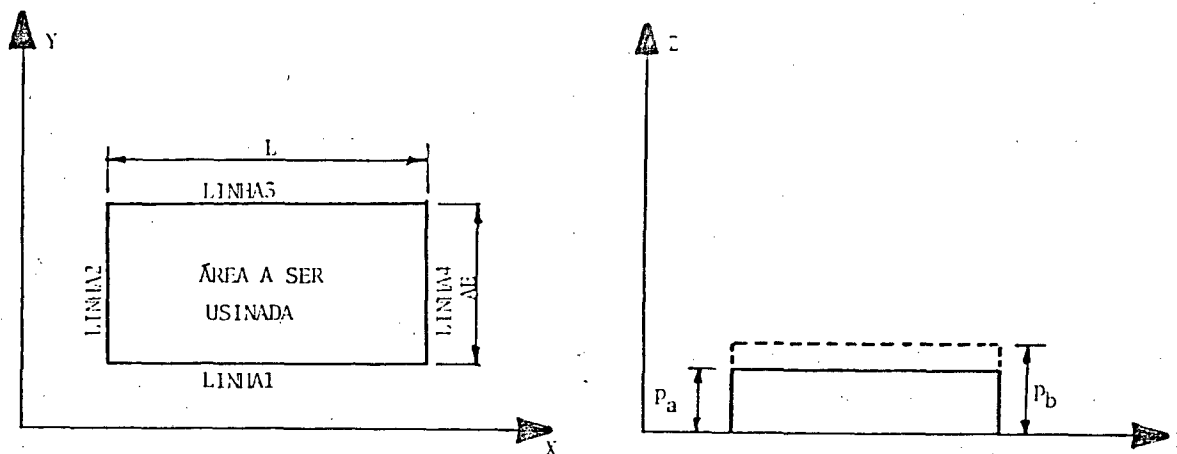


Figura 52 Definição da área a ser usinada.

P - Dimensão z da peça acabada p_a (mm).

Q - Largura da região a ser usinada AE (mm).

R - Comprimento de corte L (mm).

b) PROGRAMA INTERPRETADOR

O programa interpretador tem a finalidade de identificar os comandos especialmente criados para o sistema DETAUT, bem como os parâmetros a eles associados. Além disso, emite mensagens se esses comandos contiverem erros de sintaxe, erro na declaração dos parâmetros ou forem omitidos, interrompendo o processamento.

Esse programa foi desenvolvido em Pascal VS.

c) PROGRAMA OTIMIZ

O programa OTIMIZ utiliza, como dados de entrada, os parâmetros identificados pelo programa pré-processador.

Inicialmente, é feita a seleção da ferramenta mais indicada, dentre as disponíveis no arquivo ARQFER, para a realização da operação desejada. Para isso, são levados em consideração os aspectos abordados no Capítulo 2.

Uma vez definida a ferramenta a ser utilizada, bem como o material da peça (no comando *MATL) e a máquina-ferramenta (no

comando *MACHIN), é feita a pesquisa nos arquivos ARQMCT, ARQCFE, ARQCMF, ARQTMF e ARQMAQ. Deles sairão os dados para a determinação dos valores ótimos da profundidade de corte, velocidade de corte e avanço, em função dos critérios de otimização considerados no item 2.5.

Caso não exista ferramenta adequada a usinagem desejada ou não exista, nos arquivos apropriados, o registro da máquina-ferramenta, do material da peça ou da combinação ferramenta-material, o programa OTIMIZ emite uma mensagem e o processamento é interrompido.

Esse programa foi desenvolvido em FORTRAN IV.

d) PROGRAMA MOTION

O programa MOTION, também escrito em FORTRAN IV, gera uma sequência de instruções APT com as seguintes funções:

- Definição das linhas e planos auxiliares, sobre os quais se movimentará a ferramenta para a usinagem. Isso é feito a partir da definição da região no plano X-Y a ser usinada (identificada por quatro linhas definidas no comando *PART), além do diâmetro da ferramenta selecionada e das profundidades de corte definidas no programa OTIMIZ.

- Movimentação da ferramenta com auxílio das linhas e planos auxiliares definidos. Para isso, são utilizados os comandos de posicionamento e movimentação da linguagem APT, bem como os comandos SPINDL e FEDRAT que conterão, respectivamente, os valores das velocidades de corte e avanços determinados no programa OTIMIZ.

Os programas OTIMIZ e MOTION são executados, automaticamente, cada vez que o programa INTERPRETADOR

identifica, no programa da peça, um comando *PART.

d) PROGRAMA FONTE EM LINGUAGEM APT

E formado pelas linhas do programa da peça que não contenham algum dos comandos especialmente criados para o sistema DETAUT, além das linhas geradas pelo programa MOTION. Estas, são inseridas onde, no programa da peça, existe o comando *PART.

Tem-se, assim, um programa APT puro, que será submetido ao processador APT.

e) PROGRAMAS PROFER, PROMCT, PROCFE, PROCMF, PROTTF e PROMAQ

Geram, respectivamente, os arquivos ARQFER, ARQMCT, ARQCFE, ARQCMF, ARQTMF e ARQMAQ. São programas conversacionais, pelos quais o usuário introduz, via teclado, os dados solicitados. Esses dados são relativos a ferramentas, materiais e condições tecnológicas de usinagem, máquinas-ferramenta e a custos e tempos de usinagem

f) ARQUIVOS ARQFER, ARQMCT, ARQCFE, ARQCMF, ARQTMF e ARQMAQ

O conjunto de arquivos do sistema DETAUT contém informações de entrada para o programa OTIMIZ. Existem os seguintes arquivos:

- ARQFER: Arquivo de Ferramentas
- ARQMCT: Arquivo de Materiais e Condições Tecnológicas de Usinagem
- ARQCFE: Arquivo de Custos de Ferramentas
- ARQCMF: Arquivo de Custos de Máquinas-Ferramenta
- ARQTMF: Arquivo de Tempos de Máquinas-Ferramenta
- ARQMAQ: Arquivo de Máquinas-Ferramenta

Os arquivos relativos a custos e tempos foram criados, separadamente, para tornar mais fácil e rápida a atualização desses dados.

6.2 Movimentação da Ferramenta

Para a determinação das linhas auxiliares, por meio das quais será movimentada a ferramenta, o sistema distingue 3 casos:

- a) $a_e < D$ (figura 52)
- b) $a_e \geq D$ (figura 53)
- c) Rasgo (figura 54)

As linhas LSEG(1) e LSEG(2) limitam o movimento da ferramenta ao longo do eixo X. São definidas paralelamente as linhas LINHA2 e LINHA4, respectivamente, de forma que a ferramenta fique afastada 2 mm da peça. Sobre LSEG(1) e LSEG(2) a ferramenta move-se com avanço rápido.

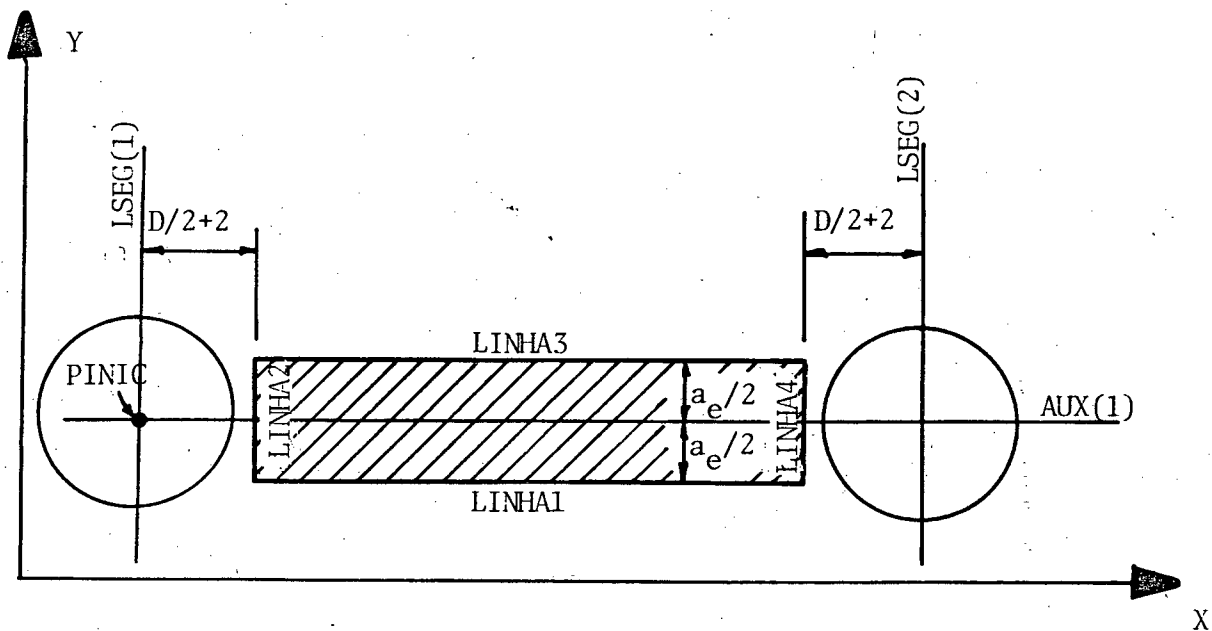


Figura 53 Movimentação da ferramenta quando $a_e < D$.

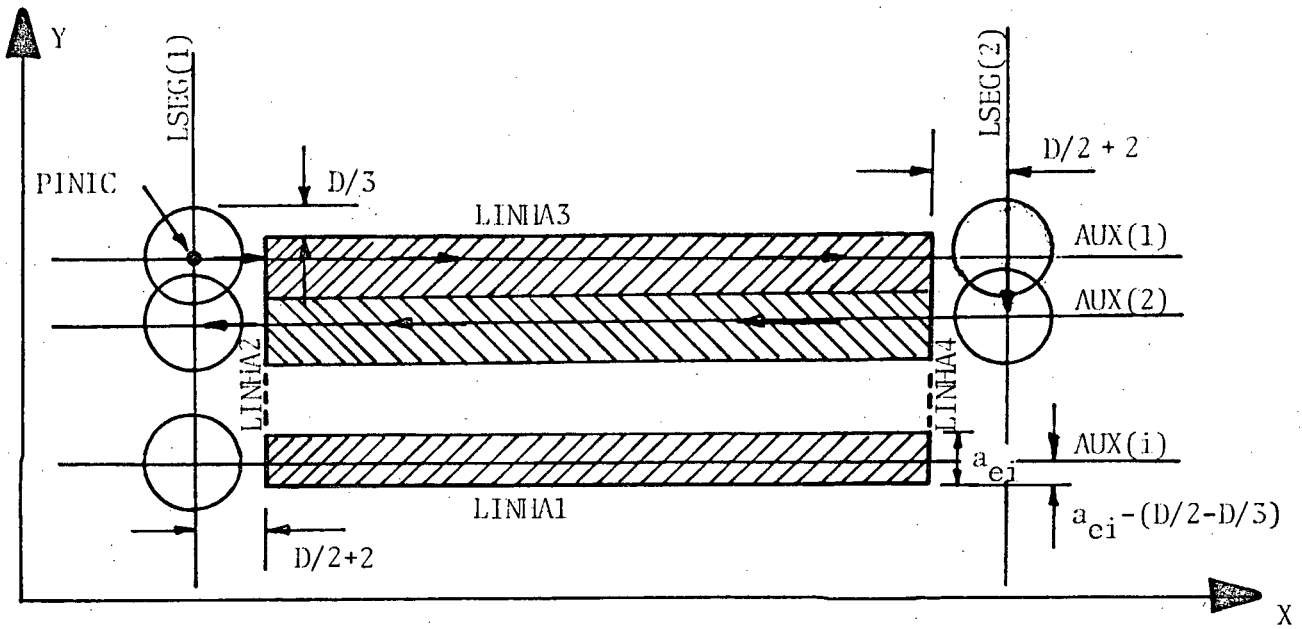


Figura 54 Movimentação da ferramenta quando $a_{ei} \geq D$.

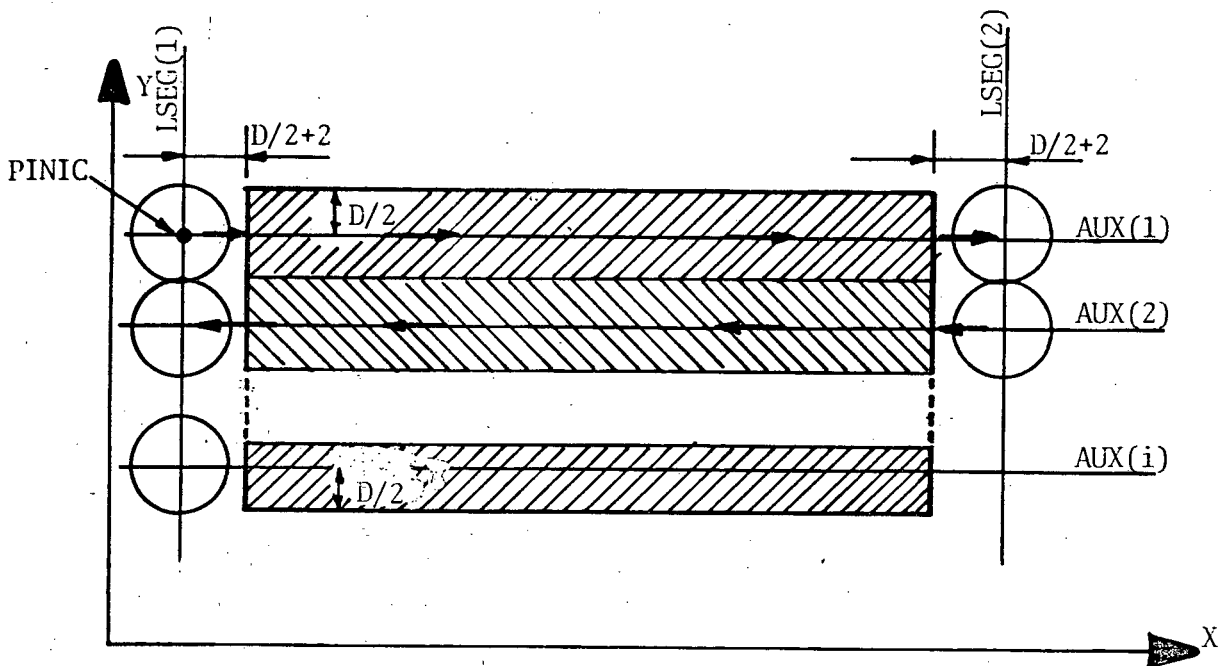


Figura 55 Movimentação da ferramenta para usinagem de rasgos.

As linhas AUX(i) são definidas paralelamente as linhas LINHA1 e LINHA3. Sobre elas a ferramenta executa o movimento com o avanço calculado para a usinagem da peça. No caso b ($a_e \geq D$), a linha AUX(1) é definida de forma que $1/3$ do diâmetro da ferramenta esteja fora da peça. A linha AUX(2), da mesma forma, é definida de maneira que $1/3$ do diâmetro da ferramenta esteja sobre a região anteriormente usinada, e assim por diante. No caso a ($a_e < D$), apenas AUX(1) é necessária, e é definida a uma distância $a_e/2$ da linha LINHA1. No caso c (usinagem de rasgo), a linha AUX(1) localiza-se a uma distância $D/2$ da linha LINHA3. A última linha AUX(i) localiza-se a mesma distância $D/2$ da linha LINHA1. O ponto PINIC localiza-se na intersecção das linhas LSEG(1) e AUX(1). Sobre ele é posicionada a ferramenta para o início da usinagem.

A posição da ferramenta em Z é determinada pelos planos PL(i). O plano PL(1) é o plano da superfície da peça bruta. Os planos para os passes seguintes são definidos paralelos a este, a uma distância correspondente a profundidade de corte a_p para cada passe. O último plano corresponde a superfície da peça acabada.

CAPITULO 7

CONCLUSÕES

O presente trabalho abrange, basicamente, três tópicos, a saber: a elaboração de uma metodologia de ensaios sistemáticos de usinagem para fresamento, a coleta de dados de usinagem para uma determinada combinação material da ferramenta - material da peça e a elaboração de um software para determinação automática de condições de usinagem na programação APT de máquinas NC.

A metodologia de ensaios de usinagem elaborada mostrou-se abrangente e facilmente posta em prática. Deve-se considerar, antes de tudo, que sem uma metodologia definida não se pode reunir dados de diferentes fontes de coleta em um mesmo centro de informações.

A coleta de dados de usinagem seguiu, rigorosamente, a metodologia previamente definida. Através desses dados, foram determinados a constante e os expoentes da equação de Taylor para a combinação material da ferramenta - material da peça ensaiada, conforme o modelo proposto. Ensaios sistemáticos de usinagem de longa duração mostraram-se eficientes na definição das condições de usinagem, embora seu alto custo faça com que dificilmente possam ser implantados a nível nacional.

A linguagem de programação APT, a par de sua grande eficiência quanto a capacidade de descrição geométrica de perfis complexos, carece, ainda, de recursos para a solução de problemas tecnológicos relacionados a usinagem como, por exemplo, a determinação de valores de corte.

O presente trabalho apresenta um sistema que objetiva suprir, em parte, essas deficiências. Através de um software e de dados armazenados no Centro de Informações de Usinagem (CINFUS), obtém-se uma solução adequada para a seleção da ferramenta para determinada operação, bem como a seleção dos valores de velocidade de corte, avanço e profundidade de corte.

A interação entre o sistema de programação e um banco de dados de usinagem nacional faz com que se obtenha, rapidamente, valores de corte atualizados e adequados às condições reais de trabalho.

A seleção automática de condições otimizadas de usinagem, além de evitar perdas de tempo com consultas a tabelas, permite que se tire o máximo rendimento das ferramentas e das máquinas NC.

A automatização da seleção da ferramenta e da geração de comandos de movimentação da mesma para a usinagem da peça, faz com que sejam evitados os tempos gastos em consultas a listas de ferramentas e verificação de suas características, assim como em cálculos para a definição de sua trajetória.

O sistema DETAUT é de fácil utilização, não exigindo, do programador NC, outros conhecimentos que não a própria linguagem APT.

O sistema DETAUT não altera as características da programação APT. Sua utilização pode ser desejada, por exemplo, apenas em um trecho de um programa para centro de usinagem. As demais operações (por exemplo: furação, roscamento, etc...) podem ser programadas normalmente.

Os resultados gerados pelo sistema DETAUT serão, posteriormente, pós-processados. Com isso, a utilização do sistema fica completamente independente do comando numérico ou da máquina que está sendo programada.

O sistema DETAUT é um software modular, completamente independente do pacote APT. Logo, para sua utilização, não se necessita nenhuma alteração no APT.

A sequência de obtenção de um programa pós-processado é pouco modificada. Apenas, antes de se submeter o programa da peça ao processador APT e ao pós-processador utilizado, deve-se transformá-lo em um programa APT puro. Isso é feito com a chamada do programa interpretador de comandos do sistema DETAUT. Os demais programas são, então, executados automaticamente. O tempo adicional para essa operação é, entretanto, pequeno.

O software pode ser otimizado, tornando-se a sua execução mais rápida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- /1/ SOHLENIUS, G., Workshop Technology, Especially Turning, Proceedings of the 1st International IFIP/IFAC Conference, Roma, 1969.
- /2/ N. N., System/370 Automatically Programmed Tool Advanced Contouring (APT-AC) Program Reference Manual, IBM.
- /3/ HITOMI, K., Manufacturing Systems Engineering, Ed. Taylor & Francis Ltd., Londres, 1979.
- /4/ NUSSEY, I. D., The Purpose and Future of Part Programming, Proceedings of the 1st International IFIP/IFAC PROLAMAT Conference, Roma, 1969.
- /5/ SOHLENIUS, G., Background and Motive for Workshop Technology in APT, Annals of the CIRP, vol. XVIII, pp. 527-530, 1970.
- /6/ OPITZ, H., BERGER, H., BUDDE, W. e ENGELSKIRCHEN, H., Calculation of Technological Data for the Computer Assisted Programming of NC Machine Tools, Proceedings of the 1st International IFIP/IFAC PROLAMAT Conference, Roma, 1969.
- /7/ LOW, A. H., An Introduction to Metal-Cutting Technology in NC Languages, Proceedings of the 1st International IFIP/IFAC PROLAMAT Conference, Roma, 1969.
- /8/ BOEHS, L., Influência do Sulfeto de Manganês na Usinabilidade do Ferro Fundido Maleável Preto Ferrítico, Dissertação de Mestrado, UFSC, 1979.
- /9/ FERRARESI, D., Fundamentos da Usinagem dos Metais, vol. 1, Ed. Edgar Blücher Ltda., 1982.
- /10/ N. N., NC Machinability Data Systems, Society of Manufacturing Engineers, Noel R. Parsons Editor, Dearborn, 1971.

- /11/ FIELD, M., Relation of Microestructure to the Machinability of Wrought Steel and Cast Iron, Metcut Research Associates Inc., Cincinnati.
- /12/ HIRSCH, B., Ein System Zur Ermittlung von Zerspanungsvorgabewerten, insbesondere bei recnergestuetzer Programmierung von NC-Drehmaschinen, Diss. TH Aachen, 1969.
- /13/ MICHELETTI, G. F., Mecanizado por Arranque de Viruta, Ed. Blume, 1 edição, Barcelona, 1980.
- /14/ TSCHATSCH, H., Taschenbuch spanende Formgebung: Verfahren und Werkzeuge, Brechnung und Richtwerte, Ed. Hanser, Munique, 1980.
- /15/ QUEIROZ, A. A., BOEHS, L., COUTINHO, S., A Seleção de Condições Otimizadas de Corte: Software Apoiado por Banco de Dados, Anais do 6 SCNB, pp. 1-17, 1986.
- /16/ N. N., Milling Handbook of High-Efficiency Metal Cutting, General Eletric, USA, 1980.
- /17/ HOFF, M., DAMMER, L., WESCH, H., BROKAMP, R., Anleitung zur firmenspezifischen Schnittwertermittlung mit Hilfe von Korrekturfaktoren, publicação do Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre (WZL), Aachen.
- /18/ WELDAY, J., Picking the Right Milling Insert, Tooling&Production, janeiro 1987, pp. 55-59.
- /19/ N. N., Pastilhas Intercambiáveis, Suportes e Cabeçotes para Fresar, Seco Tools do Brasil, 1980.
- /20/ MUÑOZ, G., MARQUES, S. C., Estudo Sobre Acabamento Superficial, INMETRO, 1984.

- /21/ N. N., Specification for Tool-Life Testing with Single Point Turning Tools, ISO 3685, British Standards Institution, 1977.
- /22/ DAMMER, L. J., Ein Beitrag zur Prozessanalyse und Schnittwertvorgabe beim Messerkopfstrichfräsen, Aachen, 1984.
- /23/ CONSALTER, L. A., Arquivo de Dados Tecnológicos de Usinagem para a Determinação Automática de Condições de Corte em Tornos com Comando Numérico, Dissertação de Mestrado, UFSC, 1985.
- /24/ N. N., Testing for Face Milling, Annals of the CIRP, 1977.
- /25/ OPITZ, H., BECKAUS, H., Influence of Initial Contact on Tool Life when Face Milling High Strength Materials, Annals of the CIRP, vol. XVIII, pp. 257-264, 1970.
- /26/ KRONENBERG, M., Analysis of Initial Contact of Milling Cutter and Work in Relation to Tool Life, Transactions of the ASME, vol. 68, pp. 217-228, 1946.
- /27/ BOEHS, L., Tecnologia de Usinagem no Ambiente CN, SOBRACON, São Paulo, 1986.
- /28/ COOK, N. H., Tool Wear and Tool Life, Transactions of the ASME, novembro de 1973.
- /29/ POOLE, L., BORCHERS, M., CASTLEWITZ, D., Programas Usuais em Basic para Apple II e Compatíveis, Ed. McGraw-Hill, São Paulo, 1984.
- /30/ CHIAVERINI, V., Aços e Ferros Fundidos, 4 ed., ABM, 1981.
- /31/ Norma ISO 3002/1, 2 ed., 1982.
- /32/ Manual de Fresamento, Sandvik-Coromant, São Paulo, 1980.
- /33/ PFAU, D., WERNER, G., WINKLER, H. H., Informationszentrum

für Schnittwert, Industrie Anzeiger Nr. 105, Ausgabe
Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, Aachen, dezembro
de 1971.

/34/ N. N., Ferramentas para Fresar, Sandvik-Coromant, catálogo
Pt-8200:3, 1978.

/35/ PIESKE, A., CHAVES, L., REIMER, J., Ferros Fundidos
Cinzentos de Alta Qualidade, Soc. Educ. Tupy, 1974.

/36/ Norma ABNT NBR 6589/81.

APÊNDICE I

TABELA DE AFERIÇÕES DO AVANÇO DA MESA

VT (mm)	VM EM 1 MINUTO (mm)					
	P1		P2		P3	
	MEDIDAS	VM	MEDIDAS	VM	MEDIDAS	VM
25	127,30	127,40	127,45	127,43	127,50	127,50
31	134,55	134,55	134,75	134,70	134,75	134,75
40	143,25	143,55	143,25	143,20	143,70	143,55
50	155,65	155,80	155,05	155,50	155,65	155,60
63	168,80	168,80	168,70	168,40	169,35	169,20
80	186,15	186,10	186,65	186,80	186,70	186,75

TABELA DE AFERIÇÕES DA PROFUNDIDADE DE CORTE

VT (mm)	VM (mm)						IMED.	ER	
	P1 MEDIDAS	VM	P2 MEDIDAS	VM	P3 MEDIDAS	VM			IGER.
1,50	1,50	1,90	1,50	1,49	1,50	1,49	1,50	1,49	-0,6
2,00	2,00	2,00	2,00	1,99	1,99	2,00	2,01	2,00	-0,5
2,50	2,49	2,50	2,48	2,49	2,48	2,50	2,50	2,50	-0,4
3,00	3,00	2,99	2,99	2,99	2,99	3,00	3,00	3,00	-0,3
3,50	3,49	3,48	3,48	3,48	3,48	3,48	3,50	3,49	-0,5
4,00	3,99	4,00	3,99	3,99	4,00	3,99	4,00	3,99	-0,2
4,50	4,49	4,51	4,49	4,49	4,50	4,49	4,50	4,49	-0,2

TABELA DE AFERIÇÕES DA ROTAÇÃO DA ÁRVORE

VT	VM (rpm)			
rpm	MEDIDAS			VM
28	66	67	66	66,33
35,5	81	82	82	81,66
45	101	102	102	101,66
56	127	127	127	127,00
71	157	157	157	157,00
90	196	197	196	196,33
112	244	244	243	243,66
140	302	303	304	303,00
180	384	383	383	383,33
224	484	484	484	484,00
280	640	640	640	640,00
355	800	800	800	800,00
450	1010	1020	1020	1016,66
560	1240	1240	1240	1240,00
710	1540	1540	1540	1540,00
900	1880	1880	1880	1880,00

APÊNDICE II

EQUAÇÕES DAS RETAS DOS ENSAIOS DE USINABILIDADE

COMBINAÇÃO	EQUAÇÃO	COEF. CORR. LINEAR
1	$KT = 1,313279 \cdot 10^{-4} \cdot L^{0,704302}$	0,9980
2*	$VB = 5,788038 \cdot 10^{-5} \cdot L^{0,927630}$	0,9991
3	$KT = 3,570880 \cdot 10^{-5} \cdot L^{0,885946}$	0,9887
4	$KT = 7,218355 \cdot 10^{-7} \cdot L^{1,238041}$	0,9750
5	$KT = 3,453575 \cdot 10^{-6} \cdot L^{1,158193}$	0,9921
6	$KT = 3,088497 \cdot 10^{-5} \cdot L^{0,910816}$	0,9922
7	$KT = 2,063559 \cdot 10^{-5} \cdot L^{0,882511}$	0,9869

* A combinação 2 apresentou apenas desgaste de flanco, chegando-se ao critério de fim de vida ($VB = 0,3$ mm) para um comprimento de usinagem de 10.290 mm.

APÊNDICE III

DESGASTES VERIFICADOS PARA AS CONDIÇÕES DE CORTE ENSAIADAS

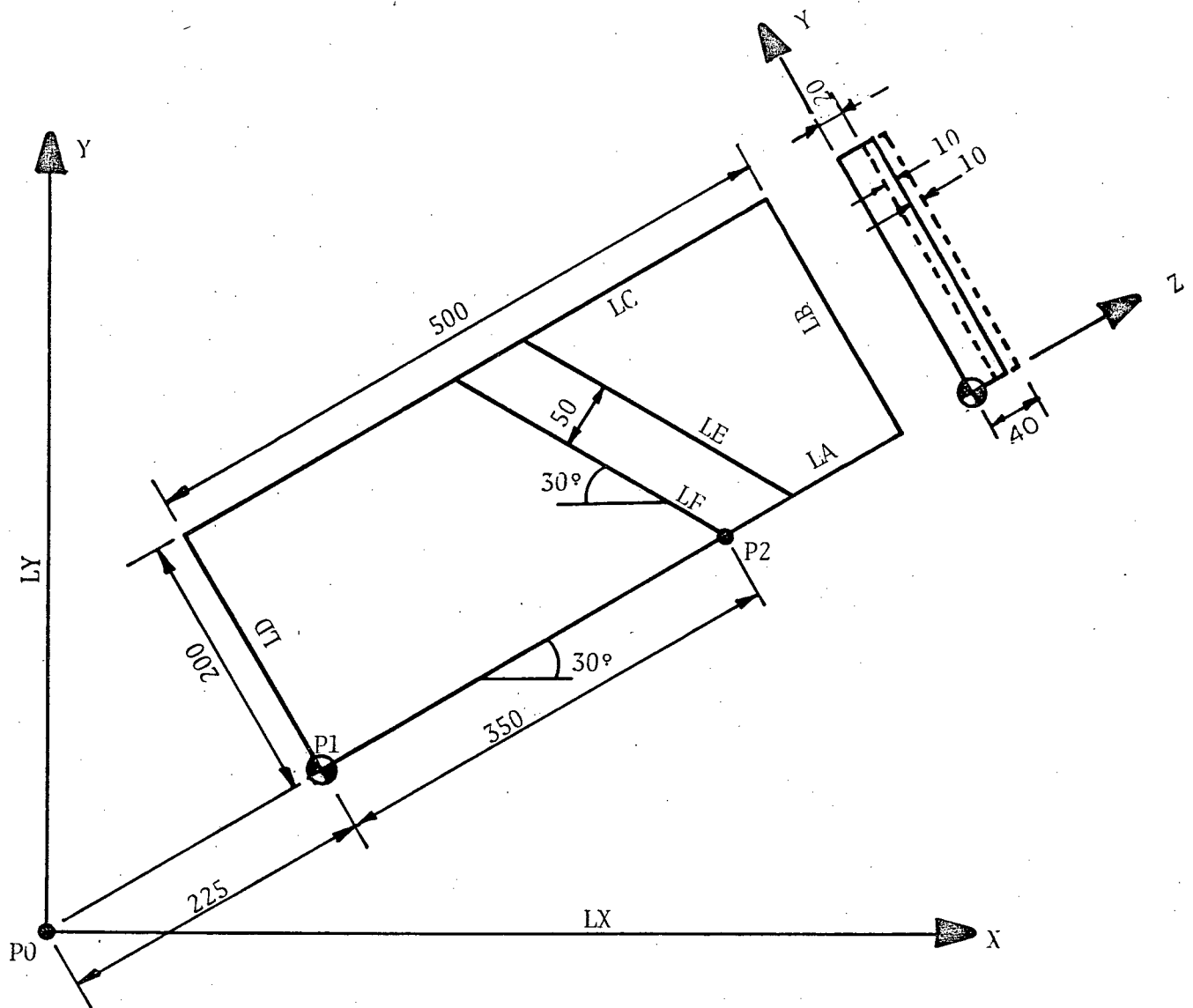
COMB.	v_c	f_z	a_p	a_e/D	L	T	VB	KT
	m/min	mm	mm		mm	min	mm	mm
1	98,5	0,28	2,5	0,75	980	17,81		0,016
					1960	35,63		0,029
					2940	53,45		0,038
					5880	106,90		0,057
					6860	124,72		0,066
					7840	142,54		0,070
					8820	160,36		0,079
					9800	178,18		0,085
					10780	196,00		0,090
11760	213,81		0,100					
2	98,5	0,10	2,5	0,75	2450	116,66	0,08	
					4410	210,00	0,14	
					5390	256,66	0,17	
					6370	303,33	0,19	
					7350	350,00	0,23	
					8330	396,66	0,25	
					9310	443,33	0,28	
10290	490,00	0,30						
3	98,5	0,35	2,5	0,75	1960	28,40		0,027
					2940	42,60		0,043
					3920	56,81		0,057
					4900	71,01		0,070
					5880	85,21		0,084
					6370	92,31		0,089
					6860	99,42		0,090
					7840	113,62		0,095
8820	127,82		0,100					
4	78,9	0,28	2,5	0,75	3920	91,16		
					4900	113,95		
					6860	159,53		0,040
					7840	182,32		0,049
					8820	205,11		0,053
					9800	227,90		0,068
10780	250,69		0,068					

COMB.	v_c	f_z	a_p	a_e/D	L	T	VB	KT
	m/min	mm	mm		mm	min	mm	mm
5	122,0	0,28	2,5	0,75	1470	21,18		0,015
					1960	28,24	0,09	0,023
					3430	49,42	0,14	0,050
					4410	63,54	0,15	0,060
					4900	70,60	0,17	0,061
					5390	77,66	0,18	0,068
					5880	84,72	0,19	0,075
					6860	98,84	0,21	0,100
6	98,5	0,28	4,0	0,75	980			0,014
					1470	26,72	0,06	0,024
					1960	35,63	0,08	0,033
					2450	44,54	0,10	0,041
					3920	71,27	0,13	0,062
					4410	80,18	0,15	0,070
					4900	89,09	0,15	0,076
					5880	106,90	0,17	0,083
					6370	115,81	0,19	0,089
					6860	124,72	0,19	0,092
7350	133,63	0,21	0,095					
7840	142,54	0,22	0,100					
7	98,5	0,28	2,5	0,5	1960		0,08	
					2940		0,09	
					3920		0,10	
					4900	89,09	0,12	0,033
					5880	106,90	0,14	0,042
					6860	124,72	0,15	0,051
					9800	178,18	0,21	0,074
					10780	196,00	0,22	0,078
					11760	213,81	0,23	0,083
					12740	231,63	0,26	0,085
13720	249,45	0,27	0,092					
14700	267,27	0,28	0,094					

APÊNDICE IV

EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DETAUT

Serão apresentados o programa e os resultados obtidos para a usinagem da peça desenhada abaixo.



Material: FC 250

PROGRAMA DA PEÇA

FILE0 PECA03 TESTE A1 VM/SP R4 PUT8602+ SLU40E - NPD - UFSC

```
//MFCPECA3 JOB EMC21PSQ,'EMC12.ESTAGIO',MSGLEVEL=(1,1),
//          MSGCLASS=V,CLASS=3,TIME=3
//*****
//*****
//*****          PROCESSAMENTO DE PROGRAMAS APT          *****
//*****
//*****
//GO          EXEC PGM=DKW0
//*          (BIBLIOTECA ONDE SE ENCONTRA O PROCESSADOR APT)
//STEPLIB DD DSN=PO.EMCLMVS.B20.SYS1.DKWLMVS,UNIT=3350,DISP=SHR
//*          (BIBLIOTECA ONDE SE ENCONTRA O MODULO DC
//*          PROCESSADOR PARA FORTRAN VS)
//ALINKLIB DD DSN=PO.EMCLMVS.B20.SYS1.DKWLMVS,UNIT=3350,DISP=SHR
//*          (BIBLIOTECA ONDE SE ENCONTRA O ARQUIVO LIBRARY)
//LIBDPOOL DD DSN=PO.EMCLIED.B10.APTAC.LIBDPOOL,UNIT=3350,DISP=SHR
//*****
//*****          AREAS DE TRAEALHO TEMPORARIAS          *****
//*****
//FT01F001 DD UNIT=3350,SPACE=(TRK,(60,30),RLSE),VCL=SER=UFSC03
//FT02F001 DD DSN=EMCLFILE,UNIT=3350,SPACE=(TRK,(120,30)),
//          DCB=(RECFM=F,LRECL=3228,BLKSIZE=3228),
//          VOL=SER=UFSC03,DISP=(NEW,PASS)
//DPOOL DD UNIT=3350,SPACE=(TRK,(90,30)),VOL=SER=UFSC03
//*****
//*****          SYSIN E SYSOUT'S          *****
//*****
//FT06F001 DD SYSOUT=V,DCB=(RECFM=VBA,LRECL=133,BLKSIZE=1995)
//ERRFILE DD SYSCUT=V
//SYSPUNCH DD SYSOUT=V
//PGSPUNCH DD SYSOUT=V
//FT07F001 DD SYSCUT=V
//FT05F001 DD *
```

```
$$*****
$$
$$ PCS-PROCESSADOR NB-H65 APT
$$
$$*****
$$*****
```

\$\$ LISTA DE PPWORD ATUALIZADA EM 25/09/87

- ```
$$*****
PPWORD/MAJOR,PPFUN ,1079,PALLET,1085
PPWORD/MINOR,GAMA1 ,2201,GAMA2 ,2202,$
 POSITV,2207,NEGATIV,2208,INTERM,2211,REIGRN,2212,$
 PRFITA,2213,FITA ,2232,BSIMUT,2233,PGSI ,2234,$
 CABEC ,2254,DESLUC,2243,AVAN ,2244,RC1 ,2246,$
 MIN ,2245,CROQUI,2253,REDUZ ,2209,MANCRI,2230,$
 SUPERF,2247,PROF ,2248,TEALIS,2250,FASSC ,2237,$
 RADPOS,2255,RADNEG,2256,CILIND,2229,GISNEG,2252,$
 G18NEG,2257,STINDX,2203,PA ,2218,PB ,2219
$$ *****
```

```
PARTNO/TESTE DO PREPROCESSADOR PECA03
$$
$$
```

FILED PECA03 TESTE A1 VM/SP R4 PUT8602+ SLU40E - NPD - UFSC

```

$$
CLPNT/OPTION
$$
UNITS/MM
$$
ORIGIN/10,10,10
$$
*MACHIN/5668
*MATL/2204
*DTIMIZ/0,30,25,0
$$
$$ DEFINICUES GEOMETRICAS
$$
TROCA=POINT/-100,-100,50
PO=POINT/0,0
PI=POINT/PO,RADIUS,225,ATANGL,30
P2=POINT/PO,RADIUS,(225+350),ATANGL,30
LX=LINE/XAXIS
LY=LINE/YAXIS
LA=LINE/PO,ATANGL,30,LX
LC=LINE/PARLEL,LA,YLARGE,200
LD=LINE/P1,ATANGL,90,LA
LB=LINE/PARLEL,LD,XLARGE,500
LF=LINE/P2,ATANGL,150,LX
LE=LINE/PARLEL,LF,XLARGE,50
$$
$$ USINAGEM DE FACEAMENTO
$$
*AREA/1,LA,LD,LC,LE
*PART/1,3,15,0,040.00,030.00,200.00,500.00
$$
$$ USINAGEM DE RASGO
$$
*AREA/2,LF,LC,LE,LA
*PART/2,2,15,0,030.00,020.00,050.00,250.00
$$
PRINT/3,ALL
FINI
/*
//***** (REFORMATAAO DO ARQUIVO CLDATA)
//STPMEID EXEC PGM=CLFIL1,COND=(4,LT,GO)
//***** (BIBLIOTECA ONDE SE ENCONTRA O PROGRAMA CLFIL1)
//STEPLIE DD DSN=PO.EMCEXPP.B02.EXAPT.LOAD,UNIT=3350,
// VOL=SER=UFSC02,DISP=SHR
//CLFILE1 DD DSN=00CLFILE,DISP=(OLD,DELETE),VOL=SER=UFSC03,
// DCB=(RECFM=F,LRECL=3228,BLKSIZE=3228),UNIT=3350
//CLFILE2 DD DSN=00CLFILE1,DISP=(NEW,PASS),VOL=SER=UFSC03,
// DCB=(RECFM=V,LRECL=3232,BLKSIZE=3236),UNIT=3350,
// SPACE=(TRK,(90,30))
//***** (NOME DO POS-PROCESSADOR)
//STEP02 EXEC PGM=NBH65,COND=((4,LT,STPMEID),(4,LT,GC))
//***** (BIBLIOTECA ONDE SE ENCONTRA O POS-PROCESSADOR)
//STEPLIB DD DSN=PO.EMCEXPP.B02.EXAPT.LOAD,UNIT=3350,DISP=SHR
//***** (ARQUIVOS DE TRABALHO TEMPORARIO)
//FT11F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(TRK,(1,1)),DCB=(RECFM=VBS,DSORG=PS),

```

FILE0 PECA03    TESTE    A1   VM/SP R4 PUT8602+ SLU4CE - NPD - UFSC

```
// DISP=(NEW,DELETE),VOL=SER=UFSC03
//FT13F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(800,(500)),VOL=SER=UFSC03,
// DCB=(RECFM=F,BLKSIZE=800,DSORG=DA),DISP=(NEW,DELETE)
//***** (ARQUIVO DD CLCATA CERRADO NO STEP ANTERIOR)
//FT12F001 DD DSN=C&CLFILE1,UNIT=3350,
// DCB=(RECFM=VB,BLKSIZE=3228),
// VOL=SER=UFSC03,DISP=(OLD,DELETE)
//***** (SYSIN E SYSOUT'S)
//FT08F001 DD SYSCUT=V
//FT06F001 DD SYSCUT=V
//FT04F001 DD SYSCUT=V
//FT05F001 DD *
0000 0000FFFFFFFFFFFF
//
```

FILE0 PECA03 APT A1 VM/SP R4 PUT3602+ SLU4CE - NPC - UFSC

```
//MFCPECA3 JOB EMC21PSG.*EMC12.ESTAGIO*.MSGLEVEL=(1,1),
// MSGCLASS=V,CLASS=3,TIME=3
//*****
//*****
//***** PRCESSAMENTO DE PROGRAMAS APT *****
//*****
//*****
//GO EXEC PGM=DKWO
//* (BIBLIOTECA ONDE SE ENCONTRA O PROCESSADOR APT)
//STEPLIB DD DSN=FO.EMCLMVS.B20.SYS1.DKWL MVS,UNIT=3350,DISP=SHR
//* (BIBLIOTECA ONDE SE ENCONTRA O MODULO DO
//* PROCESSADOR PARA FORTRAN VS)
//ALINKLIB DD DSN=FO.EMCLMVS.B20.SYS1.DKWL MVS,UNIT=3350,DISP=SHR
//* (BIBLIOTECA ONDE SE ENCONTRA O ARQUIVO LIBRARY)
//LIBDPOOL DD DSN=FO.EMCLIED.B10.APTAC.LIBDPOOL,UNIT=3350,DISP=SHR
//*****
//***** AREAS DE TRABALHO TEMPORARIAS *****
//*****
//FT01F001 DD UNIT=3350,SPACE=(TRK,(60,30),RLSE),VOL=SER=UFSC03
//FT02F001 DD DSN=88CLFILE,UNIT=3350,SPACE=(TRK,(120,30)),
// DCB=(RECFM=F,LRECL=3228,BLKSIZE=3228),
// VOL=SER=UFSC03,DISP=(NEW,PASS)
//DPOOL DD UNIT=3350,SPACE=(TRK,(90,30)),VOL=SER=UFSC03
//*****
//***** SYSIN E SYSOUT'S *****
//*****
//FT06F001 DD SYSOUT=V,DCB=(RECFM=VBA,LRECL=133,BLKSIZE=1995)
//ERRFILE DD SYSOUT=V
//SYSPUNCH DD SYSOUT=V
//PCSPUNCH DD SYSOUT=V
//FT07F001 DD SYSOUT=V
//FT05F001 DD *
```

```
$$$$*****
$$
$$ FOS-PROCESSADOR NB-H65 APT
$$
$$$$*****
```

\$\$ LISTA DE PPWORD ATUALIZADA EM 25/09/87

```
$$$$*****
PPWORD/MAJOR,PPFUN ,1079,PALLET,1085
FPWCRD/MINOR,GAMA1 ,2201,GAMA2 ,2202,$
 POSITV,2207,NEGATV,2208,INTERM,2211,REJGRN,2212,$
 PRFITA,2213,FITA ,2232,BSIMUT,2233,POSI ,2234,$
 CABEC ,2254,DESLCC,2243,AVAN ,2244,FCI ,2246,$
 MIN ,2245,CROQUI,2253,REDUZ ,2209,MANDRI,2230,$
 SUPERF,2247,PROF ,2248,TEALIS,2250,FASSC ,2237,$
 RADPOS,2255,RADNEG,2256,CILIND,2229,G19NEG,2252,$
 G18NEG,2257,STINDX,2203,PA ,2218,PE ,2219
$$ *****
PARTNO/TESTE DO PREPROCESSADOR PECA03
$$
$$
```

FILED PECA03 APT A1 VM/SP R4 PUT8602+ SLU4CE - NPD - UFSC

```

$$
CLFRNT/OPTICN
$$
UNITS/MM
$$
CRIGIN/10,10,10
$$
$$
$$
DEFINICDES GEOMETRICAS
$$
TROCA=POINT/-100,-100,50
PO=POINT/0,0
P1=POINT/PO,RADIUS,225,ATANGL,30
P2=POINT/PO,RADIUS,(225+350),ATANGL,30
LX=LINE/XAXIS
LY=LINE/YAXIS
LA=LINE/PO,ATANGL,30,LX
LC=LINE/PARLEL,LA,YLARGE,200
LD=LINE/P1,ATANGL,90,LA
LB=LINE/PARLEL,LD,XLARGE,500
LF=LINE/P2,ATANGL,150,LX
LE=LINE/PARLEL,LF,XLARGE,50
$$
$$
USINAGEM DE FACEAMENTO
$$

```

```

$$ =====
$$ = INSTRUcoes APT PARA USINAGEM DA AREA 1 =
$$ =====

```

```

$$ AE MAIOR QUE D

```

```

RESERV/AUX1, 6,LSEG1,2,PL1, 4
CUTTER/160.00
AUX1(1)=LINE/PARLEL,LA ,YLARGE, 173.33
AUX1(2)=LINE/PARLEL,LA ,YLARGE, 66.67
AUX1(3)=LINE/PARLEL,LA ,YLARGE, -40.00
ZSURF/ 40.00
LSEG1(1)=LINE/PARLEL,LD ,XSMALL,(160.00/2+2)
LSEG1(2)=LINE/PARLEL,LD ,XLARGE,(500.00+160.00/2+2)
PINIC1=POINT/INTOF,AUX1(1),LSEG1(1)
FROM/TROCA
PL1(1)=PLANE/0,0,1, 40.00
RAPID
FROM/PINIC1
GO/LTA/- 5.33
AUTOPS
PL1(2)=PLANE/PARLEL,PL1(2-1),ZSMALL, 5.33
SPINDL/ 152.56
FEDRAT/ 427.16
GO/DN,AUX1(1),TO,PL1(2),CN,LSEG1(2)
RAPID

```

FILE0 PECA03 APT A1 VM/SP R4 PUT8602+ SLU40E - NPD - UFSC

TLON,GORGT/LSEG1(2),ON,AUX1( 2)  
 FEDRAT/ 427.16  
 TLON,GORGT/AUX1( 2),ON,LSEG1(1)  
 RAPID  
 TLON,GOLFT/LSEG1(1),ON,AUX1( 3)  
 FEDRAT/ 427.16  
 TLON,GOLFT/AUX1( 3),ON,LSEG1(2)  
 RAPID  
 GODLTA/ 5.33  
 RAPID  
 FROM/PINICI  
 GODLTA/- 9.50  
 AUTOPS  
 PL1( 3)=PLANE/PARLEL,PL1( 3-1),ZSMALL, 4.17  
 SPINDL/ 170.86  
 FEDRAT/ 542.10  
 GO/CN,AUX1(1),TO,PL1( 3),CN,LSEG1(2)  
 RAPID  
 TLON,GORGT/LSEG1(2),ON,AUX1( 2)  
 FEDRAT/ 542.10  
 TLON,GORGT/AUX1( 2),ON,LSEG1(1)  
 RAPID  
 TLON,GOLFT/LSEG1(1),ON,AUX1( 3)  
 FEDRAT/ 542.10  
 TLON,GOLFT/AUX1( 3),ON,LSEG1(2)  
 RAPID  
 GODLTA/ 4.17  
 RAPID  
 FROM/PINICI  
 GODLTA/- 10.00  
 AUTOPS  
 PL1( 4)=PLANE/PARLEL,PL1( 4-1),ZSMALL, 0.50  
 SPINDL/ 256.29  
 FEDRAT/ 142.11  
 GO/ON,AUX1(1),TO,PL1( 4),CN,LSEG1(2)  
 RAPID  
 TLON,GORGT/LSEG1(2),ON,AUX1( 2)  
 FEDRAT/ 142.11  
 TLON,GORGT/AUX1( 2),ON,LSEG1(1)  
 RAPID  
 TLON,GOLFT/LSEG1(1),ON,AUX1( 3)  
 FEDRAT/ 142.11  
 TLON,GOLFT/AUX1( 3),ON,LSEG1(2)  
 RAPID  
 GODLTA/ 0.50  
 GOTC/TROCA  
 \$\$  
 \$\$ USINAGEM DO RASGC  
 \$\$

\$\$ =====  
 \$\$ = INSTRUÇÕES APT PARA USINAGEM DA AREA 2 =  
 \$\$ =====



FILE0 PECA03 APT A1 VM/SP R4 FUT8602+ SLU4CE - NPD - UFSC

35 USINAGEM DE RASCO

```

RESERV/AUX2, 6, LSEG2, 2, PL2, 4
CUTTER/ 30.00
ZSURF/ 30.00
AUX2(1)=LINE/PARLEL, LF , YLARGE, (50.00- 30.00/2)
AUX2(2)=LINE/PARLEL, LF , YLARGE, (30.00/2)
LSEG2(1)=LINE/PARLEL, LC , XSMALL, (30.00/2+2)
LSEG2(2)=LINE/PARLEL, LC , XLARGE, (250.00+ 30.00/2+2)
PINIC2=PCINT/INTOF, AUX2(1), LSEG2(1)
RAPID
GOTC/TROCA
PL2(1)=PLANE/0, 0.1, 30.00
RAPID
FROM/PINIC2
RAPID
GCDLTA/- 7.07
AUTCPS
PL2(2)=PLANE/PARLEL, PL2(2-1), ZSMALL, 7.07
SPINDL/ 864.98
FEDRAT/ 847.03
GO/ON, AUX2(1), TO, PL2(2), CN, LSEG2(2)
RAPID
GODLTA/ 7.07
AUTCPS
RAPID
TLGN, GOBACK/AUX2(1), CN, LSEG2(1)
TLGN, GOLFT/LSEG2(1), ON, AUX2(2)
GODLTA/- 7.07
AUTCPS
SPINDL/ 864.98
FEDRAT/ 847.03
GG/CN, AUX2(2), TO, PL2(2), CN, LSEG2(2)
RAPID
GCDLTA/ 7.07
AUTCPS
RAPID
FROM/PINIC2
RAPID
GODLTA/- 9.50
AUTOPS
PL2(3)=PLANE/PARLEL, PL2(3-1), ZSMALL, 2.43
SPINDL/ 864.98
FEDRAT/ 847.03
GO/CN, AUX2(1), TO, PL2(3), CN, LSEG2(2)
RAPID
GODLTA/ 2.43
AUTOPS
RAPID
TLGN, GOBACK/AUX2(1), ON, LSEG2(1)
TLGN, GOLFT/LSEG2(1), CN, AUX2(2)
GODLTA/- 2.43
AUTCPS

```

FILE0 PECA03 APT A1 VM/SP R4 PUT8602+ SLU4CE - NPD - UFSC

```

SPINDL/ 864.98
FEDRAT/ 847.03
GO/ON,AUX2(2),TD,PL2(3),CN,LSEG2(2)
RAPID
GODLTA/ 2.43
AUTOPS
RAPID
FROM/FINIC2
RAPID
GODLTA/- 10.00
AUTOPS
PL2(4)=FLANE/PARLEL,PL2(4-1),ZSMALL, 0.50
SPINDL/1297.46
FEDRAT/ 142.11
GO/ON,AUX2(1),TD,PL2(4),CN,LSEG2(2)
RAPID
GODLTA/ 0.50
AUTOPS
RAPID
TLON,GOBACK/AUX2(1),CN,LSEG2(1)
TLON,GOLFT/LSEG2(1),CN,AUX2(2)
GODLTA/- 0.50
AUTOPS
SPINDL/1297.46
FEDRAT/ 142.11
GO/ON,AUX2(2),TD,PL2(4),CN,LSEG2(2)
RAPID
GODLTA/ 0.50
AUTOPS
RAPID
GODLTA/S
GOTC/TROCA
$$
PRINT/3,ALL
FINI
/*
//***** (REFORMATAÇÃO DO ARQUIVO CLDATA)
//STPMEIO EXEC PGM=CLFIL1,COND=(4,LT,GO)
//***** (BIBLIOTECA ONCE SE ENCONTRA O PROGRAMA CLFIL1)
//STEPLIB DD DSN=PO.EMCEXPP.B02.EXAPT.LOAD,UNIT=3350,
// VOL=SER=UFSC02,DISP=SHR
//CLFILE1 DD DSN=&&CLFILE,DISP=(OLD,DELETE),VOL=SER=UFSC03,
// DCB=(RECFM=F,LRECL=3228,BLKSIZE=3228),UNIT=3350
//CLFILE2 DD DSN=&&CLFILE1,DISP=(NEW,PASS),VOL=SER=UFSC03,
// DCB=(RECFM=V,LRECL=3232,BLKSIZE=3236),UNIT=3350,
// SPACE=(TRK,(90,30))
//***** (NOME DO FOS-PROCESSADOR)
//STEP02 EXEC PGM=NBH65,CCND=((4,LT,STPMEIO),(4,LT,GC))
//***** (BIBLIOTECA ONCE SE ENCONTRA O FOS-PROCESSADOR)
//STEPLIB DD DSN=PO.EMCEXPP.B02.EXAPT.LOAD,UNIT=3350,DISP=SHR
//***** (ARQUIVOS DE TRABALHO TEMPORARIO)
//FT11F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(TRK,(1,1)),DCB=(RECFM=VBS,DSORG=PS),
// DISP=(NEW,DELETE),VOL=SER=UFSC03
//FT13F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(80,(500)),VOL=SER=UFSC03,
// DCB=(RECFM=F,BLKSIZE=800,DSORG=DA),DISP=(NEW,DELETE)

```

FILE0 PECA03 APT A1 VM/SP R4 PUT8602+ SLU40E - NPD - UFSC

```
//***** (ARQUIVO DO CLDATA GERADO NO STEP ANTERIOR)
//FT12F001 DC DSN=CCCLFILE1,UNIT=3350,
// CCB=(RECFM=VB,BLKSIZE=3228),
// VOL=SER=UFSC03,DISP=(OLD,DELETE)
//***** (SYSIN E SYSOUT'S)
//FT08F001 DD SYSOUT=V
//FT06F001 DD SYSCUT=V
//FT04F001 DD SYSCUT=V
//FT05F001 DD *
0000 0000FFFFFFFFFFFF
//
```

## RESULTADO DO PROCESSAMENTO APT

ISN 00189 AUTOPS  
 ISN 00190 SPINDL/1297.46  
 ISN 00191 FEDRAT/ 142.11  
 ISN 00192 G0/0N,AUX2( 2),TC,PL2( 4),ON,LSEG2(2)  
 ISN 00193 RAPID  
 ISN 00194 GODLTA/ 0.50  
 ISN 00195 AUTOPS  
 ISN 00196 RAPID  
 ISN 00197 GODLTA/3  
 ISN 00198 G0TC/TROCCA  
 ISN 00199 3E  
 ISN 00200 PRINT/3,ALL

|             |     |             |         |             |
|-------------|-----|-------------|---------|-------------|
| AUX1        | (1) | LINE        | 4 ITEMS | UNITS= MM   |
| -.500000000 |     | .866025403  | 0.0     | 173.330000  |
| AUX1        | (2) | LINE        | 4 ITEMS | UNITS= MM   |
| -.500000000 |     | .866025403  | 0.0     | 66.070000   |
| AUX1        | (3) | LINE        | 4 ITEMS | UNITS= MM   |
| -.500000000 |     | .866025403  | 0.0     | -40.000000  |
| AUX2        | (1) | LINE        | 4 ITEMS | UNITS= MM   |
| .500000000  |     | .866025403  | -0.0    | 532.964607  |
| AUX2        | (2) | LINE        | 4 ITEMS | UNITS= MM   |
| .500000000  |     | .866025403  | -0.0    | 512.964607  |
| LA          |     | LINE        | 4 ITEMS | UNITS= MM   |
| -.500000000 |     | .866025403  | 0.0     | 0.0         |
| LB          |     | LINE        | 4 ITEMS | UNITS= MM   |
| .866025403  |     | .500000000  | -0.0    | 725.000000  |
| LC          |     | LINE        | 4 ITEMS | UNITS= MM   |
| -.500000000 |     | .866025403  | 0.0     | 200.000000  |
| LD          |     | LINE        | 4 ITEMS | UNITS= MM   |
| -.866025403 |     | -.500000000 | 0.0     | -225.000000 |
| LE          |     | LINE        | 4 ITEMS | UNITS= MM   |
| .500000000  |     | .866025403  | -0.0    | 547.964607  |
| LF          |     | LINE        | 4 ITEMS | UNITS= MM   |
| -.500000000 |     | -.866025403 | 0.0     | -497.964607 |
| LSEG1       | (1) | LINE        | 4 ITEMS | UNITS= MM   |
| -.866025403 |     | -.500000000 | 0.0     | -143.000000 |
| LSEG1       | (2) | LINE        | 4 ITEMS | UNITS= MM   |
| .866025403  |     | .500000000  | -0.0    | 307.000000  |
| LSEG2       | (1) | LINE        | 4 ITEMS | UNITS= MM   |
| -.500000000 |     | .866025403  | 0.0     | 217.000000  |

|             |     |             |              |               |
|-------------|-----|-------------|--------------|---------------|
| LSEG2       | (2) | LINE        | 4 ITEMS      | UNITS= MM     |
| .500000000  |     | -.860025403 | -0.0         | 07.0000000    |
| LX          |     | LINE        | 4 ITEMS      | UNITS= MM     |
| 0.0         |     | 1.000000000 | 0.0          | 0.0           |
| LY          |     | LINE        | 4 ITEMS      | UNITS= MM     |
| 1.000000000 |     | 0.0         | 0.0          | 0.0           |
| PI          |     | SCALAR      | 1 ITEM       | UNITS= INCHES |
| 3.14159265  |     |             |              |               |
| PINIC1      |     | POINT       | 3 ITEMS      | UNITS= MM     |
| 37.1766327  |     | 221.608183  | 40.0000000   |               |
| PINIC2      |     | POINT       | 3 ITEMS      | UNITS= MM     |
| 315.964007  |     | 432.992267  | 30.0000000   |               |
| PL1         | (1) | PLANE       | 4 ITEMS      | UNITS= MM     |
| 0.0         |     | 0.0         | 1.000000000  | 40.0000000    |
| PL1         | (2) | PLANE       | 4 ITEMS      | UNITS= MM     |
| -0.0        |     | -0.0        | -1.000000000 | -34.6700000   |
| PL1         | (3) | PLANE       | 4 ITEMS      | UNITS= MM     |
| -0.0        |     | -0.0        | -1.000000000 | -30.5000000   |
| PL1         | (4) | PLANE       | 4 ITEMS      | UNITS= MM     |
| -0.0        |     | -0.0        | -1.000000000 | -30.0000000   |
| PL2         | (1) | PLANE       | 4 ITEMS      | UNITS= MM     |
| 0.0         |     | 0.0         | 1.000000000  | 30.0000000    |
| PL2         | (2) | PLANE       | 4 ITEMS      | UNITS= MM     |
| -0.0        |     | -0.0        | -1.000000000 | -22.9300000   |
| PL2         | (3) | PLANE       | 4 ITEMS      | UNITS= MM     |
| -0.0        |     | -0.0        | -1.000000000 | -20.5000000   |
| PL2         | (4) | PLANE       | 4 ITEMS      | UNITS= MM     |
| -0.0        |     | -0.0        | -1.000000000 | -20.0000000   |
| P0          |     | POINT       | 3 ITEMS      | UNITS= MM     |
| 0.0         |     | 0.0         | 0.0          |               |
| PI          |     | POINT       | 3 ITEMS      | UNITS= MM     |
| 194.355715  |     | 112.500000  | 0.0          |               |
| P2          |     | POINT       | 3 ITEMS      | UNITS= MM     |
| 497.964607  |     | 287.500000  | 0.0          |               |
| TRCCA       |     | POINT       | 3 ITEMS      | UNITS= MM     |
| -100.000000 |     | -100.000000 | 50.0000000   |               |

## ....SECTION 3....

| ISN  |          |               |               |             |
|------|----------|---------------|---------------|-------------|
| 0015 | CLPENT/  | OPTION        |               |             |
| 0017 | UNITS/MM |               |               |             |
| 0019 | ORIGIN/  | 10.00000000   | 10.00000000   | 10.00000000 |
| 0044 | CUTTER/  | 150.00000000  |               |             |
| 0052 | FROM/    | TRCCA         |               |             |
|      |          | -100.00000000 | -100.00000000 | 50.00000000 |
| 0054 | RAPID    |               |               |             |
| 0055 | FROM/    | PINIC1        |               |             |
|      |          | 37.17663274   | 221.60818324  | 40.00000000 |
| 0056 | GOTO/    | TLAXIS        |               |             |
|      |          | 37.17663274   | 221.60818324  | 34.67000000 |
| 0059 |          |               |               |             |
| 0059 | SPINDL/  | 152.50000000  |               |             |
| 0060 | FEDRAT/  | 427.10000000  |               |             |
| 0061 | GOTO/    | AUX1          | ( 1 )         |             |
|      |          | 612.21750085  | 553.60818324  | 34.67000000 |
| 0062 | RAPID    |               |               |             |
| 0063 | GOTO/    | LSEGI         | ( 2 )         |             |
|      |          | 665.54750085  | 461.23791367  | 34.67000000 |
| 0064 | FEDRAT/  | 427.16000000  |               |             |
| 0065 | GOTO/    | AUX1          | ( 2 )         |             |
|      |          | 90.50663274   | 129.23791367  | 34.67000000 |
| 0066 | RAPID    |               |               |             |
| 0067 | GOTO/    | LSEGI         | ( 1 )         |             |
|      |          | 143.84163274  | 36.85898385   | 34.67000000 |
| 0068 | FEDRAT/  | 427.16000000  |               |             |
| 0069 | GOTO/    | AUX1          | ( 3 )         |             |
|      |          | 718.88250085  | 368.85898385  | 34.67000000 |
| 0070 | RAPID    |               |               |             |
| 0071 | GOTO/    | TLAXIS        |               |             |
|      |          | 718.88250085  | 368.85898385  | 40.00000000 |
| 0072 | RAPID    |               |               |             |
| 0073 | FROM/    | PINIC1        |               |             |
|      |          | 37.17663274   | 221.60818324  | 40.00000000 |
| 0074 | GOTO/    | TLAXIS        |               |             |
|      |          | 37.17663274   | 221.60818324  | 30.50000000 |
| 0077 |          |               |               |             |
| 0077 | SPINDL/  | 170.85000000  |               |             |
| 0078 | FEDRAT/  | 542.10000000  |               |             |
| 0079 | GOTO/    | AUX1          | ( 1 )         |             |
|      |          | 612.21750085  | 553.60818324  | 30.50000000 |
| 0080 | RAPID    |               |               |             |
| 0081 | GOTO/    | LSEGI         | ( 2 )         |             |
|      |          | 665.54750085  | 461.23791367  | 30.50000000 |
| 0082 | FEDRAT/  | 542.10000000  |               |             |
| 0083 | GOTO/    | AUX1          | ( 2 )         |             |
|      |          | 90.50663274   | 129.23791367  | 30.50000000 |
| 0084 | RAPID    |               |               |             |
| 0085 | GOTO/    | LSEGI         | ( 1 )         |             |
|      |          | 143.84163274  | 36.85898385   | 30.50000000 |

|      |         |               |               |             |
|------|---------|---------------|---------------|-------------|
| 0086 | FEDRAT/ | 542.10000000  |               |             |
| 0087 | GOTO/   | AUX1          | ( 3 )         |             |
|      |         | 718.88250085  | 368.85898385  | 30.50000000 |
| 0088 | RAPID   |               |               |             |
| 0089 | GOTO/   | TLAXIS        |               |             |
|      |         | 718.88250085  | 368.85898385  | 34.67000000 |
| 0090 | RAPID   |               |               |             |
| 0091 | FROM/   | PINIC1        |               |             |
|      |         | 37.17663274   | 221.60818324  | 40.00000000 |
| 0092 | GOTO/   | TLAXIS        |               |             |
|      |         | 37.17663274   | 221.60818324  | 30.00000000 |
| 0095 |         |               |               |             |
| 0095 | SPINDL/ | 256.29000000  |               |             |
| 0096 | FEDRAT/ | 142.11000000  |               |             |
| 0097 | GOTO/   | AUX1          | ( 1 )         |             |
|      |         | 612.21750085  | 553.60818324  | 30.00000000 |
| 0098 | RAPID   |               |               |             |
| 0099 | GOTO/   | LSEGI         | ( 2 )         |             |
|      |         | 665.54750085  | 481.23791367  | 30.00000000 |
| 0100 | FEDRAT/ | 142.11000000  |               |             |
| 0101 | GOTO/   | AUX1          | ( 2 )         |             |
|      |         | 90.50653274   | 129.23791367  | 30.00000000 |
| 0102 | RAPID   |               |               |             |
| 0103 | GOTO/   | LSEGI         | ( 1 )         |             |
|      |         | 143.84153274  | 36.85898385   | 30.00000000 |
| 0104 | FEDRAT/ | 142.11000000  |               |             |
| 0105 | GOTO/   | AUX1          | ( 3 )         |             |
|      |         | 718.88250085  | 368.85898385  | 30.00000000 |
| 0106 | RAPID   |               |               |             |
| 0107 | GOTO/   | TLAXIS        |               |             |
|      |         | 718.88250085  | 368.85898385  | 30.50000000 |
| 0108 | GOTO/   | TROCA         |               |             |
|      |         | -100.00000000 | -100.00000000 | 50.00000000 |
| 0117 | CUTTER/ | 30.00000000   |               |             |
| 0124 | RAPID   |               |               |             |
| 0125 | GOTO/   | TROCA         |               |             |
|      |         | -100.00000000 | -100.00000000 | 50.00000000 |
| 0127 | RAPID   |               |               |             |
| 0128 | FROM/   | PINIC2        |               |             |
|      |         | 315.96460718  | 432.99226784  | 30.00000000 |
| 0129 | RAPID   |               |               |             |
| 0130 | GOTO/   | TLAXIS        |               |             |
|      |         | 315.96460718  | 432.99226784  | 22.93000000 |
| 0133 |         |               |               |             |
| 0133 | SPINDL/ | 864.98000000  |               |             |
| 0134 | FEDRAT/ | 847.03000000  |               |             |
| 0135 | GOTO/   | AUX2          | ( 1 )         |             |
|      |         | 599.96460718  | 269.02479139  | 22.53000000 |
| 0136 | RAPID   |               |               |             |
| 0137 | GOTO/   | TLAXIS        |               |             |
|      |         | 599.96460718  | 269.02479139  | 30.00000000 |
| 0139 |         |               |               |             |
| 0139 | RAPID   |               |               |             |
| 0140 | GOTO/   | AUX2          | ( 1 )         |             |

|      |         |               |              |             |
|------|---------|---------------|--------------|-------------|
|      |         | 315.96460718  | 432.99226784 | 30.00000000 |
| 0141 | GCTO/   | LSEG2         | ( 1 )        |             |
|      |         | 295.96460718  | 421.44526245 | 30.00000000 |
| 0142 | GCTO/   | TLAXIS        |              |             |
|      |         | 295.96460718  | 421.44526245 | 22.93000000 |
| 0144 |         |               |              |             |
| 0144 | SPINDL/ | 864.98000000  |              |             |
| 0145 | FEDRAT/ | 847.03000000  |              |             |
| 0146 | GCTO/   | AUX2          | ( 2 )        |             |
|      |         | 579.96460718  | 257.47778600 | 22.93000000 |
| 0147 | RAPID   |               |              |             |
| 0148 | GCTO/   | TLAXIS        |              |             |
|      |         | 579.96460718  | 257.47778600 | 30.00000000 |
| 0150 |         |               |              |             |
| 0150 | RAPID   |               |              |             |
| 0151 | FROM/   | PINIC2        |              |             |
|      |         | 315.96460718  | 432.99226784 | 30.00000000 |
| 0152 | RAPID   |               |              |             |
| 0153 | GCTO/   | TLAXIS        |              |             |
|      |         | 315.96460718  | 432.99226784 | 20.50000000 |
| 0156 |         |               |              |             |
| 0156 | SPINDL/ | 864.98000000  |              |             |
| 0157 | FEDRAT/ | 847.03000000  |              |             |
| 0158 | GCTO/   | AUX2          | ( 1 )        |             |
|      |         | 599.96460718  | 269.02479139 | 20.50000000 |
| 0159 | RAPID   |               |              |             |
| 0160 | GCTO/   | TLAXIS        |              |             |
|      |         | 599.96460718  | 269.02479139 | 22.93000000 |
| 0162 |         |               |              |             |
| 0162 | RAPID   |               |              |             |
| 0163 | GCTO/   | AUX2          | ( 1 )        |             |
|      |         | 315.96460718  | 432.99226784 | 22.93000000 |
| 0164 | GCTO/   | LSEG2         | ( 1 )        |             |
|      |         | 295.96460718  | 421.44526245 | 22.93000000 |
| 0165 | GCTO/   | TLAXIS        |              |             |
|      |         | 295.96460718  | 421.44526245 | 20.50000000 |
| 0167 |         |               |              |             |
| 0167 | SPINDL/ | 864.98000000  |              |             |
| 0168 | FEDRAT/ | 847.03000000  |              |             |
| 0169 | GCTO/   | AUX2          | ( 2 )        |             |
|      |         | 579.96460718  | 257.47778600 | 20.50000000 |
| 0170 | RAPID   |               |              |             |
| 0171 | GCTO/   | TLAXIS        |              |             |
|      |         | 579.96460718  | 257.47778600 | 22.93000000 |
| 0173 |         |               |              |             |
| 0173 | RAPID   |               |              |             |
| 0174 | FROM/   | PINIC2        |              |             |
|      |         | 315.96460718  | 432.99226784 | 30.00000000 |
| 0175 | RAPID   |               |              |             |
| 0176 | GCTO/   | TLAXIS        |              |             |
|      |         | 315.96460718  | 432.99226784 | 20.00000000 |
| 0179 |         |               |              |             |
| 0179 | SPINDL/ | 1297.46000000 |              |             |
| 0180 | FEDRAT/ | 142.11000000  |              |             |



|      |                          |               |               |               |
|------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 0181 | GOTO/                    | AUX2          | ( 1)          |               |
|      |                          | 599.96460718  | 269.02479139  | 20.00000000   |
| 0182 | RAPID                    |               |               |               |
| 0183 | GOTO/                    | TLAXIS        |               |               |
|      |                          | 599.96460718  | 269.02479139  | 20.50000000   |
| 0185 |                          |               |               |               |
| 0185 | RAPID                    |               |               |               |
| 0186 | GOTO/                    | AUX2          | ( 1)          |               |
|      |                          | 315.96460718  | 432.99226794  | 20.50000000   |
| 0187 | GOTO/                    | LSEG2         | ( 1)          |               |
|      |                          | 295.96460718  | 421.44526245  | 20.50000000   |
| 0188 | GOTO/                    | TLAXIS        |               |               |
|      |                          | 295.96460718  | 421.44526245  | 20.00000000   |
| 0190 |                          |               |               |               |
| 0190 | SPINDL/                  |               |               | 1297.46000000 |
| 0191 | FEDRAT/                  |               |               | 142.11000000  |
| 0192 | GOTO/                    | AUX2          | ( 2)          |               |
|      |                          | 579.96460718  | 257.47778600  | 20.00000000   |
| 0193 | RAPID                    |               |               |               |
| 0194 | GOTO/                    | TLAXIS        |               |               |
|      |                          | 579.96460718  | 257.47778600  | 20.50000000   |
| 0196 |                          |               |               |               |
| 0196 | RAPID                    |               |               |               |
| 0197 | GOTO/                    | TLAXIS        |               |               |
|      |                          | 579.96460718  | 257.47778600  | 25.50000000   |
| 0198 | GOTO/                    | TRCCA         |               |               |
|      |                          | -100.00000000 | -100.00000000 | 50.00000000   |
| 0201 | **** FINI ****           |               |               |               |
|      | ....END OF SECTION 3.... |               |               |               |

SECTION 3 ELAPSED CPU TIME IN  
TOTAL PART PROGRAM CPU TIME IN  
\*\*\*\* END OF APT PROCESS

POS-PROCESSADOR APT RAPID-0 DESENVOLVIDO POR GRUCCN - UFSC VERSAO - 1.4 DATA 29/10/87 PCRA 16.06.84. PAG. 1

PARTN3 /TESTE DO PREPROCESSADOR PECA03

| NO                                                                | CAKU | NC1E | X       | Y       | Z     | AVAN  | RUTAC | TEMPO |
|-------------------------------------------------------------------|------|------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                   | SECS |      |         |         |       |       | MPM   |       |
| * N0010 G30                                                       | 0    | 0.0  | 0.0     | C.C     | 0.0   | 5000. | 0.    | 0.0   |
| * N0020 G02 X-10000 Y-10000 Z-10000                               | 15   | 0.0  | 0.0     | C.C     | 0.0   | 5000. | 0.    | 0.0   |
| * N0030 G00 X-100000 Y-100000 Z50000 M07                          | 52   | TRJC | -100.00 | -100.00 | 50.00 | 5000. | 0.    | 0.03  |
| * N0040 X37177 Y22160E Z40000                                     | 55   | PINI | 37.13   | 221.61  | 40.00 | 5000. | 0.    | 0.07  |
| * N0050 Z34670                                                    | 56   | TLAX | 37.13   | 221.61  | 34.67 | 5000. | 0.    | 0.00  |
| * N0060 S153 F427 M41                                             | 61   | TLAX | 37.13   | 221.61  | 34.37 | 427.  | 153.  | 0.0   |
| * N0070 G01 X512217 Y55360E M03                                   | 61   | AUX1 | 612.22  | 553.61  | 34.67 | 427.  | 153.  | 1.55  |
| * N0080 G00 X655547 Y46123E                                       | 63   | LSEG | 665.55  | 461.24  | 34.67 | 5000. | 153.  | 0.02  |
| * N0090 F427                                                      | 65   | LSEG | 665.55  | 461.24  | 34.67 | 427.  | 153.  | 0.0   |
| * N0100 G01 X90507 Y12923E                                        | 65   | AUX1 | 50.51   | 125.24  | 34.67 | 427.  | 153.  | 1.55  |
| * N0110 G00 X143942 Y36359                                        | 67   | LSEG | 143.84  | 36.86   | 34.67 | 5000. | 153.  | 0.02  |
| * N0120 F427                                                      | 69   | LSEG | 143.84  | 36.86   | 34.57 | 427.  | 153.  | 0.0   |
| * N0130 G01 X71888E Y36385                                        | 69   | AUX1 | 718.88  | 368.86  | 34.67 | 427.  | 153.  | 1.55  |
| * N0140 G00 Z40000                                                | 71   | TLAX | 718.88  | 368.86  | 40.00 | 5000. | 153.  | 0.00  |
| * N0150 X37177 Y22160E                                            | 73   | PINI | 37.13   | 221.61  | 40.00 | 5000. | 153.  | 0.14  |
| * N0150 Z30500                                                    | 74   | TLAX | 37.13   | 221.61  | 30.50 | 5000. | 153.  | 0.00  |
| * N0170 S171 F342                                                 | 79   | TLAX | 37.13   | 221.61  | 30.50 | 542.  | 171.  | 0.0   |
| * N0180 G01 X612217 Y55360E                                       | 79   | AUX1 | 612.22  | 553.61  | 30.50 | 542.  | 171.  | 1.22  |
| * N0190 G00 X655547 Y46123E                                       | 81   | LSEG | 665.55  | 461.24  | 30.50 | 5000. | 171.  | 0.02  |
| * N0200 F542                                                      | 83   | LSEG | 665.55  | 461.24  | 30.50 | 542.  | 171.  | 0.0   |
| * N0210 G01 X50507 Y12923E                                        | 83   | AUX1 | 50.51   | 125.24  | 30.50 | 542.  | 171.  | 1.22  |
| * N0220 G00 X143942 Y36359                                        | 85   | LSEG | 143.84  | 36.86   | 30.50 | 5000. | 171.  | 0.02  |
| * N0230 F542                                                      | 87   | LSEG | 143.84  | 36.86   | 30.50 | 542.  | 171.  | 0.0   |
| * N0240 G01 X71888E Y36385                                        | 87   | AUX1 | 718.88  | 368.86  | 30.50 | 542.  | 171.  | 1.22  |
| * N0250 G00 Z34370                                                | 89   | TLAX | 718.88  | 368.86  | 34.67 | 5000. | 171.  | 0.00  |
| * N0260 X37177 Y22160E Z40000                                     | 91   | PINI | 37.13   | 221.61  | 40.00 | 5000. | 171.  | 0.14  |
| * N0270 Z30000                                                    | 92   | TLAX | 37.13   | 221.61  | 30.00 | 5000. | 171.  | 0.00  |
| * N0280 S256 F142                                                 | 97   | TLAX | 37.13   | 221.61  | 30.00 | 142.  | 256.  | 0.0   |
| * N0290 G01 X612217 Y55360E                                       | 97   | AUX1 | 612.22  | 553.61  | 30.00 | 142.  | 256.  | 4.07  |
| * N0300 G00 X655547 Y46123E                                       | 99   | LSEG | 665.55  | 461.24  | 30.00 | 5000. | 256.  | 0.02  |
| * N0310 F142                                                      | 101  | LSEG | 665.55  | 461.24  | 30.00 | 142.  | 256.  | 0.0   |
| * N0320 G01 X50507 Y12923E                                        | 101  | AUX1 | 50.51   | 125.24  | 30.00 | 142.  | 256.  | 4.67  |
| * N0330 G00 X143942 Y36359                                        | 103  | LSEG | 143.84  | 36.86   | 30.00 | 5000. | 256.  | 0.02  |
| * N0340 F142                                                      | 105  | LSEG | 143.84  | 36.86   | 30.00 | 142.  | 256.  | 0.0   |
| * N0350 G01 X71888E Y36385                                        | 105  | AUX1 | 718.88  | 368.86  | 30.00 | 142.  | 256.  | 4.67  |
| * N0350 G00 Z30500                                                | 107  | TLAX | 718.88  | 368.86  | 30.50 | 5000. | 256.  | 0.00  |
| * N0370 X-100000 Y-100000 Z50000                                  | 108  | TRJC | -100.00 | -100.00 | 50.00 | 5000. | 256.  | 0.15  |
| *** AVISO - CCMANDE DE MOVIMENTACAO NAO PROVOCOU DESLOCAMENTO *** |      |      |         |         |       |       |       |       |
| * N0380 X315965 Y422052 Z30000                                    | 108  | PINI | 315.96  | 422.05  | 30.00 | 5000. | 256.  | 0.14  |
| * N0390 Z22930                                                    | 108  | TLAX | 315.96  | 422.05  | 22.93 | 5000. | 256.  | 0.00  |
| * N0400 S165 F147 M42                                             | 105  | TLAX | 315.96  | 422.05  | 22.93 | 847.  | 305.  | 0.0   |
| * N0410 G01 X595065 Y269025                                       | 105  | AUX2 | 599.96  | 269.02  | 22.93 | 847.  | 305.  | 0.39  |
| * N0420 G00 Z30000                                                | 107  | TLAX | 599.96  | 269.02  | 30.00 | 5000. | 265.  | 0.00  |
| * N0430 X315965 Y422052                                           | 140  | AUX2 | 315.96  | 422.05  | 30.00 | 5000. | 265.  | 0.07  |
| * N0440 X295065 Y421445                                           | 141  | LSEG | 295.96  | 421.45  | 30.00 | 5000. | 265.  | 0.00  |
| * N0450 Z22930                                                    | 142  | TLAX | 295.96  | 421.45  | 22.93 | 5000. | 265.  | 0.00  |





(  
 ( /TESTE DO PRORCESSADOR PECACE )

N0010 G90  
 N0020 G92 X-10000 Y-10000 Z-10000  
 N0030 G00 X-100000 Y-100000 Z50000 M07  
 N0040 X37177 Y221608 Z40000  
 N0050 Z34670  
 N0060 S153 F427 M41  
 N0070 G01 X612217 Y553608 M03  
 N0080 G00 X665547 Y461238  
 N0090 F427  
 N0100 G01 X90507 Y129238  
 N0110 G00 X143842 Y36859  
 N0120 F427  
 N0130 G01 X718882 Y368859  
 N0140 G00 Z40000  
 N0150 X37177 Y221608  
 N0160 Z30500  
 N0170 S171 F542  
 N0180 G01 X612217 Y553608  
 N0190 G00 X665547 Y461238  
 N0200 F342  
 N0210 G01 X90507 Y129238  
 N0220 G00 X143842 Y36859  
 N0230 F542  
 N0240 G01 X718882 Y368859  
 N0250 G00 Z34670  
 N0260 X37177 Y221608 Z40000  
 N0270 Z30000  
 N0280 S256 F142  
 N0290 G01 X612217 Y553608  
 N0300 G00 X665547 Y461238  
 N0310 F142  
 N0320 G01 X90507 Y129238  
 N0330 G00 X143842 Y36859  
 N0340 F142  
 N0350 G01 X718882 Y368859  
 N0360 G00 Z30500  
 N0370 X-100000 Y-100000 Z50000  
 N0380 X315965 Y432992 Z30000  
 N0390 Z22930  
 N0400 S865 F347 M42  
 N0410 G01 X599965 Y269025  
 N0420 G00 Z30000  
 N0430 X315965 Y432992  
 N0440 X295965 Y421445  
 N0450 Z22930  
 N0460 S865 F347  
 N0470 G01 X579965 Y257478  
 N0480 G00 Z30000  
 N0490 X315965 Y432992  
 N0500 Z20500  
 N0510 S865 F847  
 N0520 G01 X599965 Y269025  
 N0530 G00 Z22930  
 N0540 X315965 Y432992  
 N0550 X295965 Y421445  
 N0560 Z20500  
 N0570 S865 F847  
 N0580 G01 X579965 Y257478  
 N0590 G00 Z22930  
 N0600 X315965 Y432992 Z30000  
 N0610 Z20000  
 N0620 S1297 F142 M43  
 N0630 G01 X599965 Y269025  
 N0640 G00 Z20500  
 N0650 X315965 Y432992  
 N0660 X295965 Y421445  
 N0670 Z20000  
 N0680 S1297 F142  
 N0690 G01 X579965 Y257478  
 N0700 G00 Z20500  
 N0710 Z25500  
 N0720 X-100000 Y-100000 Z50000  
 N0730 T0 M06  
 N0740 M30

\*\*\*\*\*  
 \* SISTEMA DE DETERMINACAO AUTOMATICA DE CONDICOGES OTIMIZADAS DE USINAGEM \*  
 \*  
 \* - D E T A U T - \*  
 \*\*\*\*\*

RELATORIO CCS RESULTADOS PARA USINAGEM DA AREA 1  
 =====

DADOS DA OPERACAO

CODIGO DO MATERIAL DA PECA 2204  
 DESIGNACAO FC 250  
 CODIGO DA MACUINA-FERRAMENTA 5668  
 LARGURA DA AREA 200.00  
 COMPRIMENTO DA AREA 500.00  
 ESPESSURA DE MATERIAL A SER REMOVIDA 10.00  
 CRITERIO DE OTIMIZACAO MINIMO CUSTO

\*\*\*\*\*  
 \* FERRAMENTA SELECIONADA \*  
 \*\*\*\*\*  
 \*  
 \* - CODIGO 7836 \*  
 \* - DIAMETRO (MM) 160.0 \*  
 \* - NUM. DENTES 8 \*  
 \* - ANG. PCS. COMP. (GRAUS) 15 \*  
 \* - CODIGO ISO DA PASTILHA SNKN 1204EN N \*  
 \* - CLASSE K15 \*  
 \* - GEOMETRIA FRESA DUPLC-NEGATIVA \*  
 \* - GEOMETRIA QUINA PAST. DUPLAM. CHANF. C/ PUNTA QUEERADA \*  
 \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*  
 \* CONDICOGES DE USINAGEM \*  
 \*\*\*\*\*  
 \*PASSE\* AP \* FZ \* VC OTIMA \* VC UTIL. \* VF \* RPM \* PA \*  
 \*\*\*\*\*  
 \* 1 \* 5.33 \* 0.35 \* 82.74 \* 76.68 \* 427.16 \* 152.56 \* 7.60 \*  
 \* 2 \* 4.17 \* 0.35 \* 89.53 \* 85.88 \* 542.10 \* 170.86 \* 6.65 \*  
 \* 3 \* 0.50 \* 0.08 \* 637.32 \* 128.82 \* 142.11 \* 256.29 \* 1.20 \*  
 \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*  
 \* SISTEMA DE DETERMINACAO AUTOMATICA DE CONDICCOES OTIMIZADAS DE USINAGEM \*  
 \*  
 \* - D E T A U T - \*  
 \*\*\*\*\*

RELATORIO DOS RESULTADOS PARA USINAGEM DA AREA 2  
 =====

DADOS DA OPERACAO

|                                      |              |
|--------------------------------------|--------------|
| CODIGO DO MATERIAL DA PECA           | 2204         |
| DESIGNACAO                           | FC 250       |
| CODIGO DA MAQUINA-FERRAMENTA         | 5608         |
| LARGURA DA AREA                      | 50.00        |
| COMPRIMENTO DA AREA                  | 250.00       |
| ESPESSURA DE MATERIAL A SER REMOVIDA | 10.00        |
| CRITERIO DE OTIMIZACAO               | MINIMO CUSTO |

\*\*\*\*\*  
 \* FERRAMENTA SELECIONADA \*  
 \*\*\*\*\*  
 \*  
 \* - CODIGO 5432 \*  
 \* - DIAMETRO (MM) 30.0 \*  
 \* - NUM. DENTES 3 \*  
 \* - ANG. PCS. COMP. (GRAUS) 0 \*  
 \* - CODIGO ISO DA PASTILHA TPUN 1104EN \*  
 \* - CLASSE K20 \*  
 \* - GEOMETRIA FRESA DUPLC-NEGATIVA \*  
 \* - GEOMETRIA CUINA PAST. CHANFRADA \*  
 \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*  
 \* CONDICCOES DE USINAGEM \*  
 \*\*\*\*\*  
 \*PASSE\* AP \* FZ \* VC OTIMA \* VC UTIL. \* VF \* RPM \* PA \*  
 \*\*\*\*\*  
 \* 1 \* 7.07 \* 0.35 \* 61.37 \* 81.52 \* 847.03 \* 864.98 \* 6.11 \*  
 \* 2 \* 2.43 \* 0.35 \* 68.29 \* 81.52 \* 847.03 \* 864.98 \* 2.10 \*  
 \* 3 \* 0.50 \* 0.04 \* 119.15 \* 122.28 \* 142.11 \* 1297.46 \* 0.65 \*  
 \*\*\*\*\*

