

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

CENTRO DE TECNOLOGIA

UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS CONDIÇÕES ECONÔMICAS
DE USINAGEM*

Engº OLÍVIO NOVASKI

*Trabalho apresentado para obtenção
do título de Mestre em Engenharia
Mecânica, pela Faculdade de Engenharia
de Campinas da UNICAMP.

CAMPINAS

-1983-

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

Dedico este trabalho aos meus pais

- Romão Novaski (in memoriam), que não po
de ver em vida o final deste trabalho;
- Helena J. Novaski, exemplo de fê e cora
gem.

AGRADECIMENTOS

Expresso os meus agradecimentos:

- ao Prof. Dr. *DINO FERRARESI*, na qualidade de orientador desta tese, pelo incentivo e assistência constantes desde o início até o fim deste trabalho e na qualidade de Diretor do Centro de Tecnologia da UNICAMP, pelas facilidades prestadas no estudo e execução dos ensaios;
- à Empresa Equipamentos Clark Ltda, que nos deu livre acesso aos dados necessários para a elaboração do exemplo numérico;
- aos economistas do DEPE, Departamento de Economia e Planejamento Econômico da UNICAMP, pelas sugestões apresentadas;
- ao colega de trabalho e amigo desde os tempos de ginásio, Eng^o *SERGIO LUIZ ZARPELLON*, pelo apoio constante e por ter me suportado nas épocas críticas de elaboração deste trabalho;
- ao economista *NELSON ANTONIO PEREIRA CAMACHO* pela troca de idéias e sugestões de bibliografia;
- aos técnicos da Divisão de Processos de Manufatura do Centro de Tecnologia da UNICAMP, no qual tenho a honra de trabalhar, pela dedicação na execução dos ensaios, bem como do programa de computação;
- à Srta. *VÂNIA MARIA TONIN* pelo dedicado e perfeito trabalho de datilografia;
- aos demais funcionários e engenheiros do Centro de Tecnologia que colaboraram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

*A verdadeira sabedoria consiste em saber como
aumentar o bem-estar do mundo.*

— BENJAMIN FRANKLIN

R E S U M O

Estudaram-se os custos de fabricação do ponto de vista da Ciência Econômica. Foram apresentados os estudos relativos aos tempos de corte e aos desgastes e vida das ferramentas. Foi abordada a Teoria da Equivalência de Usinagem, e introduziu-se o conceito de avanço equivalente, por analogia à definição de velocidade de corte equivalente. Executaram-se ensaios para a verificação da validade daquele conceito. Apresentaram-se os custos de fabricação em relação à velocidade de corte. Deduziram-se equações para maximização de lucros para a operação de torneamento, tendo como parâmetro a velocidade de corte. Apresentou-se um exemplo numérico onde foram determinadas as condições de minimização de custo e maximização de lucros pelos dois métodos estudados, tais sejam, o Método Econômico e o Método da Velocidade de Corte. Observou-se que ambos conduzem aos mesmos resultados e que o método baseado na Ciência Econômica aplica-se a outros processos de usinagem, sem a necessidade de deduções analíticas, específicas para cada processo.

A B S T R A C T

The manufacturing costs have been studied under the economical point of view. The studies relative to the cutting time, tool wear and tool life were presented. The Theory of Machining Equivalence was exposed and the concept of Equivalent Feed introduced, analogously to the definition of Equivalent Cutting Speed. There were performed tests for confirmation of validation of subject concept. Otherwise, the machining costs in relation to the cutting speed have been presented. Equations were deducted for maximization of profits for turning operation, having as parameter the cutting speed. A numerical example was shown in which the conditions of cost minimization and profit maximization have been determined for both methods exposed, i.e., the Economical Method and the Method of Cutting Speed. It was noticed that both methods are furnishing the same results and that the method based on Economics can be applied to other machining processes without the necessity of specific analytical deduction for each new process.

I N D I C E

	<u>PÁGINA</u>
I- <u>CUSTOS DE MANUFATURA EM GERAL</u>	01
1.1- CUSTOS DE UMA EMPRESA	01
1.2- RECEITAS DE UMA EMPRESA	08
1.3- RELAÇÃO ENTRE CUSTOS E RECEITAS	10
1.4- ELEMENTOS DOS CUSTOS	13
1.5- ELEMENTOS DOS CUSTOS FIXOS E SUA DETERMINAÇÃO .	13
1.6- DEPRECIAÇÃO	16
1.6.1- CONCEITOS BÁSICOS PARA SE ENTENDER DEPRE CIAÇÃO	17
1.6.2- CRITÉRIOS DE DEPRECIAÇÃO	18
1.6.3- MÉTODOS PARA CÁLCULO DA DEPRECIAÇÃO	19
1.6.3.1- MÉTODO DA TAXA CONSTANTE DE DE- PRECIAÇÃO	19
1.6.3.2- MÉTODO DA SOMA DOS DÍGITOS	20
1.6.3.3- DEPRECIAÇÃO LINEAR	21
1.6.4- COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE DEPRECIA- ÇÃO	22
1.6.4.1- TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE ...	22
1.6.4.2- FATOR DE ACUMULAÇÃO DE CAPITAL.	23
1.6.4.3- ESCOLHA DO MÉTODO DE DEPRECIA- ÇÃO MAIS ADEQUADO	25
1.7- ENCARGOS SOCIAIS	25
SIMBOLOGIA	29
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	31
II- <u>ESTUDO DE TEMPOS DE MANUFATURA</u>	34
2.1- INTRODUÇÃO	34
2.2- GENERALIDADES	34
2.3- TEMPOS E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO	35
2.3.1- MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE TEMPO	37
2.4- TEMPO DE FABRICAÇÃO	38
2.4.1- TEMPO DE CORTE	39

2.4.1.1- CADA FERRAMENTA ATUA ISOLADA - MENTE	40
2.4.1.2- AS FERRAMENTAS ATUAM SIMULTÂ - NEAMENTE	41
2.4.2- TEMPOS SECUNDÁRIOS	43
2.4.3- TEMPO DE PREPARAÇÃO	43
2.4.4- TEMPO DE REPOSIÇÃO	44
2.4.4.1- DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE REPO SIÇÃO	46
SIMBOLOGIA	49
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	51
 III- <u>CURVAS DE VIDA E DESGASTE</u>	 52
INTRODUÇÃO	52
FORMAS DOS DESGASTES	52
VIDA DA FERRAMENTA	59
SIMBOLOGIA	65
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	66
 IV- <u>EQUIVALÊNCIA NAS OPERAÇÕES DE USINAGEM</u>	 67
4.1- GENERALIDADES	67
4.2- DIÂMETRO-EQUIVALENTE	68
4.3- CONSIDERAÇÕES EM TORNOS COPIADORES	70
4.3.1- RELAÇÃO ENTRE A VELOCIDADE DE AVANÇO DO CARRO PORTA FERRAMENTAS E A VELOCIDADE DE AVANÇO DA FERRAMENTA	73
4.3.2- RELAÇÕES ENTRE OS AVANÇOS DA FERRAMENTA E DO CARRO	75
4.3.3- AVANÇO EQUIVALENTE	76
4.3.4- EMPREGO DA TEORIA DA EQUIVALÊNCIA	76
SIMBOLOGIA	79
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	80

V- <u>ESTUDO DE CUSTOS DE FABRICAÇÃO APLICADOS À USINAGEM.</u>	81
5.1- CUSTOS DE PRODUÇÃO	81
5.2- MÍNIMO CUSTO	86
5.2.1- FATORES QUE RESTRINGEM A SELEÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CORTE	88
5.2.1.1- RESTRIÇÃO DEVIDO AO MÁXIMO AVANÇO DA MÁQUINA	88
5.2.1.2- RESTRIÇÃO DEVIDO À MÁXIMA VELOCIDADE DE CORTE	88
5.2.1.3- RESTRIÇÃO DEVIDO A POTÊNCIA DA MÁQUINA	88
5.2.1.4- RESTRIÇÃO DEVIDO AO ACABAMENTO SUPERFICIAL	90
5.3- MÁXIMA PRODUÇÃO	92
5.4- INTERVALO DE MÁXIMA EFICIÊNCIA	94
SIMBOLOGIA	96
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	98
VI- <u>ESTUDO SOBRE A DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE MÁXIMO LUCRO</u>	99
6.1- INTRODUÇÃO	99
6.2- CONDIÇÃO DE MÁXIMO LUCRO	100
SIMBOLOGIA	107
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	108
VII- <u>COMPARAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES MÉTODOS DE OBTENÇÃO DAS CONDIÇÕES DE MÍNIMO CUSTO E MÁXIMO LUCRO</u>	109
7.1- CONSIDERAÇÕES GERAIS	109
7.2- EXEMPLO NUMÉRICO	109
7.2.1- VALORES PARA CÁLCULO	110
7.3- PROCEDIMENTO DO CÁLCULO	112
7.3.1- DETERMINAÇÃO DO AVANÇO DA FERRAMENTA .	112

7.3.2- DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO - EQUIVALENTE DA PEÇA	113
7.3.3- DETERMINAÇÃO DO AVANÇO DO CARRO	114
7.3.4- DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES ECONÔMICAS DE USINAGEM	115
7.3.4.1- SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA AS CONDIÇÕES ECONÔMICAS DE USINAGEM EM RELAÇÃO À VELOCIDADE DE CORTE	122
7.3.4.2- SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA AS CONDIÇÕES ECONÔMICAS DE USINAGEM EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE PEÇAS PRODUZIDAS NUM DETERMINADO PERÍODO	125
 VIII- <u>CONCLUSÕES</u>	 128
 <u>ANEXO</u>	 131
A.1- INTRODUÇÃO	131
A.2- PROCEDIMENTO DOS ENSAIOS	137
A.2.1- LEVANTAMENTO DAS CURVAS CITADAS EM A.2 PARA O AÇO ABNT 1045	138
A.2.1.1- CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL DA PEÇA	138
A.2.1.2- CARACTERÍSTICAS DA FERRAMENTA ...	139
A.2.1.3- LEVANTAMENTO DAS CURVAS DE DESGASTE-VIDA PARA OBTENÇÃO DO EXPOENTE x DA EXPRESSÃO $T \cdot v^x = K$, PARA AVANÇO CONSTANTE	140
A.2.1.4- LEVANTAMENTO DA CURVA DE DESGASTE PARA UMA PEÇA USINADA COM AVANÇOS E VELOCIDADES DE CORTE VARIÁVEIS.	141
A.2.1.4.1- CÁLCULO DA VELOCIDADE DE CORTE EQUIVALENTE .	142

A.2.1.5-	LEVANTAMENTO DA CURVA DE DESGASTE PARA UMA PEÇA USINADA COM VELOCIDADE DE CORTE CONSTANTE E AVANÇOS SUCESSIVOS VARIÁVEIS	144
A.2.1.6-	LEVANTAMENTO DA CURVA DE VIDA PARA A OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS v e w DA EXPRESSÃO $T \cdot a_x^y = w$	145
A.3-	CÁLCULO DOS AVANÇOS EQUIVALENTES DA FERRAMENTA ..	146
A.3.1-	CÁLCULO DO AVANÇO EQUIVALENTE DA FERRAMENTA PARA O CASO DE UMA PEÇA USINADA COM VELOCIDADES DE CORTE E AVANÇOS DA FERRAMENTA VARIÁVEIS	146
A.3.1.1-	MÉTODO DA CURVA DE VIDA	146
A.3.1.2-	MÉTODO MATEMÁTICO	147
A.3.2-	CÁLCULO DO AVANÇO EQUIVALENTE DA FERRAMENTA PARA O CASO DE UMA PEÇA USINADA COM VELOCIDADE DE CORTE CONSTANTE E AVANÇOS DA FERRAMENTA VARIÁVEIS SUCESSIVAMENTE	148
A.3.2.1-	MÉTODO DA CURVA DE VIDA	148
A.3.2.3-	MÉTODO MATEMÁTICO	148
A.4-	CONCLUSÕES	148
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	150

I N T R O D U Ç Ã O

Nos últimos anos, devido ao aumento de competição de mercado e aos problemas econômicos que estão atingindo as nossas empresas, tem-se constatado uma preocupação acentuada com relação à minimização de custos de manufatura. Desta forma, a produção deve ser orientada de maneira a se obter o mínimo custo do produto, e o máximo lucro, assim como elevado nível de qualidade.

A consulta bibliográfica e o contato permanente com aqueles que dedicam à usinagem dos metais, mostrou que a determinação das condições econômicas de trabalho é feita em relação à velocidade de corte. Por outro lado, aqueles que se dedicam à área econômica abordam o assunto baseando-se em conceitos estudados na Ciência Econômica.

Com a finalidade de ampliar os conhecimentos na determinação das condições econômicas de usinagem, realizou-se um estudo dos conceitos de custos, utilizados nas áreas econômicas. Observou-se que estes conceitos são mais gerais e podem ser aplicados a diferentes processos de usinagem.

Seguindo-se esta orientação, notou-se existir um entrosamento perfeito entre ambas as maneiras de obtenção das condições econômicas de usinagem, tais sejam: através de conhecimentos baseados na velocidade de corte e de conhecimentos baseados em estudos econômicos.

Dois parâmetros de grande importância no estudo econômico da usinagem dos metais são o *mínimo custo* e o *máximo lucro*. Os estudos conduzidos para obtenção destes parâmetros foram feitos na operação de torneamento, porém de uma forma mais abrangente, tal seja em peças de diâmetro variáveis, usinadas com avanços e velocidades de corte diferentes em tornos copiadores e de Comando Numérico.

Tendo em vista que não se encontrou na literatura especializada, trabalhos referentes à determinação do avanço equivalente para o cálculo da vida de ferramentas, houve necessidade de realização de ensaios práticos para comprovação da equação proposta.

Para verificação prática do entrosamento entre as maneiras de obtenção das condições econômicas de usinagem, assim como o estabelecimento de um roteiro de cálculo, apresentou-se um exemplo numérico, com dados obtidos de uma empresa de grande porte.

I- CUSTOS DE MANUFATURA EM GERAL

1.1- CUSTOS DE UMA EMPRESA

Uma empresa possui vários objetivos. Ainda que seu objetivo final estabelecido seja a obtenção da máxima rentabilidade na conse-
cução de seus negócios, a empresa pode ser justificada por vários outros objetivos.

A meta final de toda empresa sob qualquer sistema econômico é a produção de bens e serviços, os quais deverão satisfazer as necessidades (básicas e sociais) dos consumidores inseridos ao seu redor. Portanto, assim como o consumidor procura produtos que lhe satisfaçam, a empresa procura fatores de produção ou recursos, de modo que lhe proporcionem a possibilidade de produzir os bens desejados.

Paralelamente a este objetivo final, a empresa cumpre outros, como a criação de riquezas, de novas frentes de trabalho, etc. Estes objetivos, por seu lado, requerem determinados recursos humanos, técnicos, materiais e financeiros, os quais permitirão à empresa aumentar seu patrimônio, e, conseqüentemente, retribuir os referidos recursos.

Assim, a empresa assume na consecução de suas atividades inúmeros compromissos, sendo que, no processo de compra e venda, ela incorre em determinados custos, os quais exigem obrigatoriamente o respectivo pagamento. Por exemplo, a mão-de-obra, os materiais diretos e indiretos, etc., são custos contraídos pela empresa em seu ciclo operacional, os quais exigirão, necessariamente, pagamentos quase imediatos [1,2].

Os custos de fabricação se dividem em [3,4,5]:

- a) *variáveis* ;
- b) *fixos*.

Os custos *variáveis* são aqueles que representam gastos relacionados diretamente com o produto manufaturado. Os custos *variáveis* inexistem quando da completa paralização da atividade fabril. A capacidade aumentada a que dão lugar as técnicas mais mecanizadas se consegue mediante a redução do tempo de produção por peça. Em

consequência, os custos de mão-de-obra direta por unidade de produto diminuirão, mas outros custos variáveis, tais como a energia, podem aumentar, além do que a preparação das máquinas tem uma influência bastante grande sobre os custos variáveis. Durante o tempo no qual se prepara a máquina, não pode haver nenhum outro trabalho produtivo. Em consequência, visto que o tempo de preparação das máquinas é geralmente uma função do nível de mecanização das mesmas, o tempo requerido para cada preparação aumenta com o grau de mecanização, aumentando consequentemente o custo da mão-de-obra direta.

Em essência, os custos variáveis são aqueles que se modificam com o processo de produção, tais como os devido à matéria prima, energia, mão-de-obra direta, etc. O processo produtivo inclui o tempo real de funcionamento de produção da máquina e também o requerido para a preparação da mesma. Evidentemente, a composição dos custos variáveis se altera com essas partes do processo produtivo.

Os custos fixos são aqueles que tendem a permanecer iguais, independentes do volume de produção. Tais custos permanecem, mesmo com a completa paralização da produção, e por serem invariáveis com o volume produzido, se refletem nos custos de cada unidade em sentido de diminuição com o aumento da produção. Por exemplo, se os custos fixos em uma determinada produção importam em Cr\$ 100.000,00, o custo de cada unidade devido a parte fixa, variará de acordo com as quantidades produzidas, conforme segue:

$$\text{para 10.000 unidades} = \frac{100.000,00}{10.000} = 10,00 \text{ Cr$/unidade}$$

$$\text{para 20.000 unidades} = \frac{100.000,00}{20.000} = 5,00 \text{ Cr$/unidade}$$

O custo total C_T de fabricação forma-se, portanto, dos seguintes elementos:

- a) uma parcela mais ou menos invariável correspondente aos custos fixos C_F ;
- b) uma parcela que corresponde ao produto dos custos variáveis unitários C_V pelo número de unidades produzidas Z num determinado período.

Desta forma, o custo total de fabricação para um número de peças Z produzidas num determinado período será

$$C_T = C_V \cdot Z + C_F \quad (1.1)$$

Na figura 1.1, vê-se a representação gráfica destes custos:

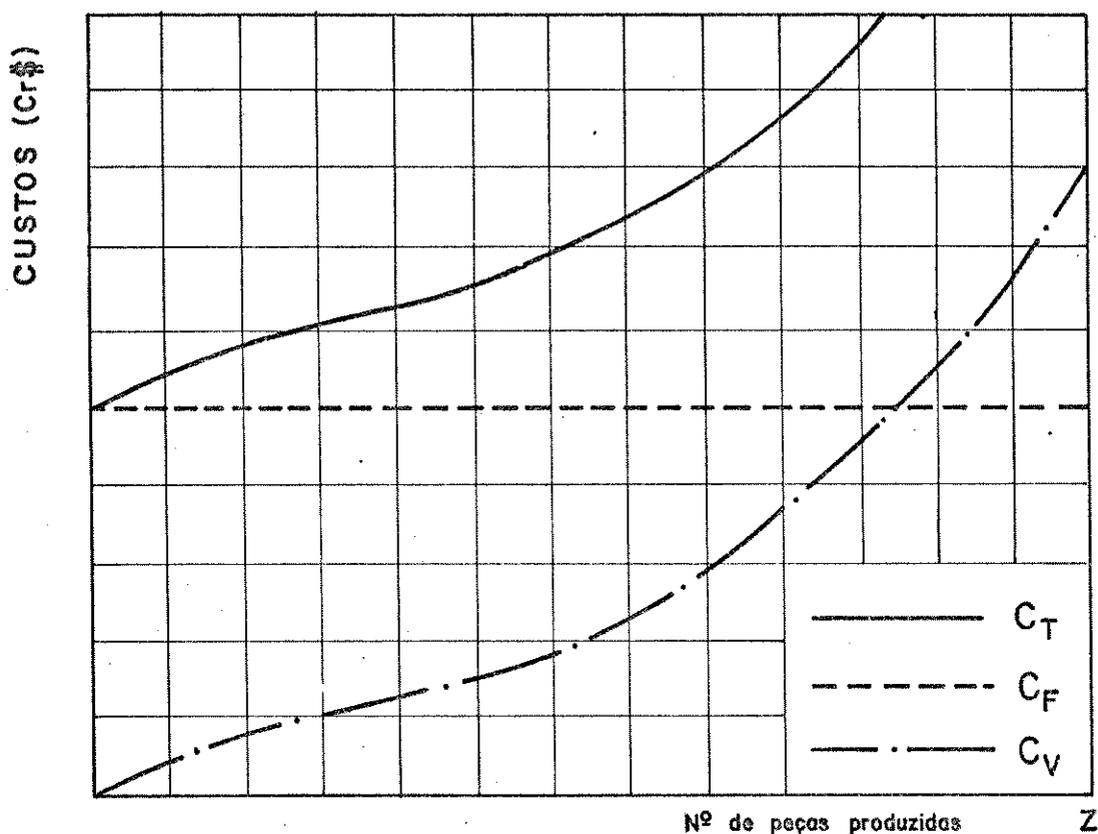


FIGURA 1.1- Representação gráfica dos custos fixos, totais e variáveis em função do volume de unidades produzidas Z

A partir da expressão (1.1), pode-se definir os seguintes termos [2, 6, 7]:

Custo fixo médio (C_{δ}) - é o custo fixo total dividido pela quantidade de peças produzidas em um determinado período. A curva de C_{δ} é uma curva decrescente (fig. 1.2), pois sendo o custo fixo total (C_F) constante, à medida que se aumenta a quantidade produzida, diminui o valor do custo fixo médio. O valor do custo fixo médio é dado por

$$C_{\delta} = \frac{C_F}{Z} \quad (1.2)$$

Neste caso

$$\frac{d C_v}{dz} = - \frac{C_F}{z^2}$$

é negativa para todos os valores de Z . Esta função, portanto, não possui valores de máximos ou mínimos, ou seja, a curva representativa desta função é uma hipérbole retangular.

Custo variável médio (C_v) - é o custo variável total ($C_v \cdot Z$) dividido pela quantidade de peças produzidas em um determinado período. A curva de C_v inicialmente declina, atinge um mínimo e eleva-se daí por diante (fig. 1.2). A partir de dados experimentais de C_v em função de Z , pode-se verificar que tipo de equação ajusta-se melhor a esta curva. Observou-se que o polinômio de 2º grau da forma [8, 9, 10, 11, 12]

$$C_v = a \cdot z^2 - bz + c \quad (1.3)$$

$$\text{com } a, c > 0 \quad \text{e} \quad b^2 < 3ac$$

ajusta-se perfeitamente a esta curva.

Devido a isto, a equação do custo total de produção C_T fica sendo um polinômio de 3º grau, pois

$$C_T = C_v \cdot Z + C_F = (az^2 - bz + c) \cdot Z + C_F$$

$$C_T = az^3 - bz^2 + cz + C_F \quad (1.4)$$

A curva do custo variável médio representa, portanto, uma função de 2º grau com um ponto de mínimo, pois

$$\frac{d^2 C_v}{dz^2} = 2a > 0$$

Custo total médio (C_t) - é o custo total (C_T) dividido

pela quantidade de peças produzidas em um determinado período. Pode-se calcular o custo total médio como a soma dos custos fixos médio e variável médio. Isto explica a forma da curva de C_t , pois no domínio de valores em que as curvas de C_f e C_v declinam, a curva de C_t deve obviamente declinar também. Mas em seguida, a curva de C_v eleva-se, porém com o declínio acentuado na curva de C_f , continua declinando a curva de C_t . Finalmente, porém, o crescimento de C_v compensa o declínio da curva de C_f ; o custo total médio, portanto, atinge seu mínimo e eleva-se em seguida (fig. 1.2).

Através da expressão (1.4), obtém-se o custo total médio

$$C_t = a \cdot Z^2 - bZ + c + \frac{C_F}{Z} \quad (1.5)$$

Da mesma forma que para o custo variável médio, verifica-se que a função do custo total médio possui um ponto de mínimo, conforme indica a sua derivada 2ª, dada por

$$\frac{d^2 C_t}{dZ^2} = 2a + \frac{2C_F}{Z^3} > 0$$

Custo marginal (C_{mg}) - o custo marginal pode ser definido como a variação no custo total de produção devido à variação na quantidade de peças produzidas em um determinado período. O custo marginal é dado por

$$C_{mg} = \frac{dC_T}{dZ} = 3aZ^2 - 2bZ + c \quad (1.6)$$

Nota-se portanto, através da expressão (1.6), que a curva de custo marginal é uma função de 2º grau, possuindo um ponto mínimo pois

$$\frac{d^2 C_{mg}}{dZ^2} = 6a > 0$$

Por outro lado, o ponto de *mínimo custo* é obtido quando

$$\frac{dC_t}{dz} = 0$$

ou seja

$$\frac{dC_t}{dz} = 2az^2 - bz - \frac{C_F}{z} = 0$$

Observa-se, porém, através das expressões (1.5) e (1.6) que esta última equação nada mais é do que a diferença entre o custo marginal e o custo total médio, ou seja

$$C_{mg} - C_t = 2az^2 - bz - \frac{C_F}{z} \quad (1.8)$$

ou

$$C_{mg} = C_t \text{ quando } \frac{dC_t}{dz} = 0,$$

isto é, a condição de *mínimo custo* é obtida quando o custo total médio iguala o custo marginal. Desta forma, obtém-se o número de peças confeccionadas num determinado período, para o qual o custo C_t é *mínimo*.

O custo variável médio é *mínimo* quando $\frac{dC_v}{dz} = 0$, ou seja

$$\frac{dC_v}{dz} = 2az - b = 0 \quad (1.9)$$

Pode-se observar que a expressão (1.9) é a diferença entre o custo marginal (1.6) e o custo variável médio (1.3), ou seja

$$C_{mg} - C_v = 2az - b \quad (1.10)$$

$$C_{mg} - C_v = 2az - b = 0$$

ou

$$C_{mg} = C_v \text{ quando } \frac{dC_v}{dz} = 0$$

Desta forma, obtém-se o número de peças confeccionadas num determinado período, para o qual o custo C_v é *mínimo*.

Conclui-se, portanto, que o custo variável médio mínimo é obtido quando o custo variável médio iguala o custo marginal (fig. 1.2).

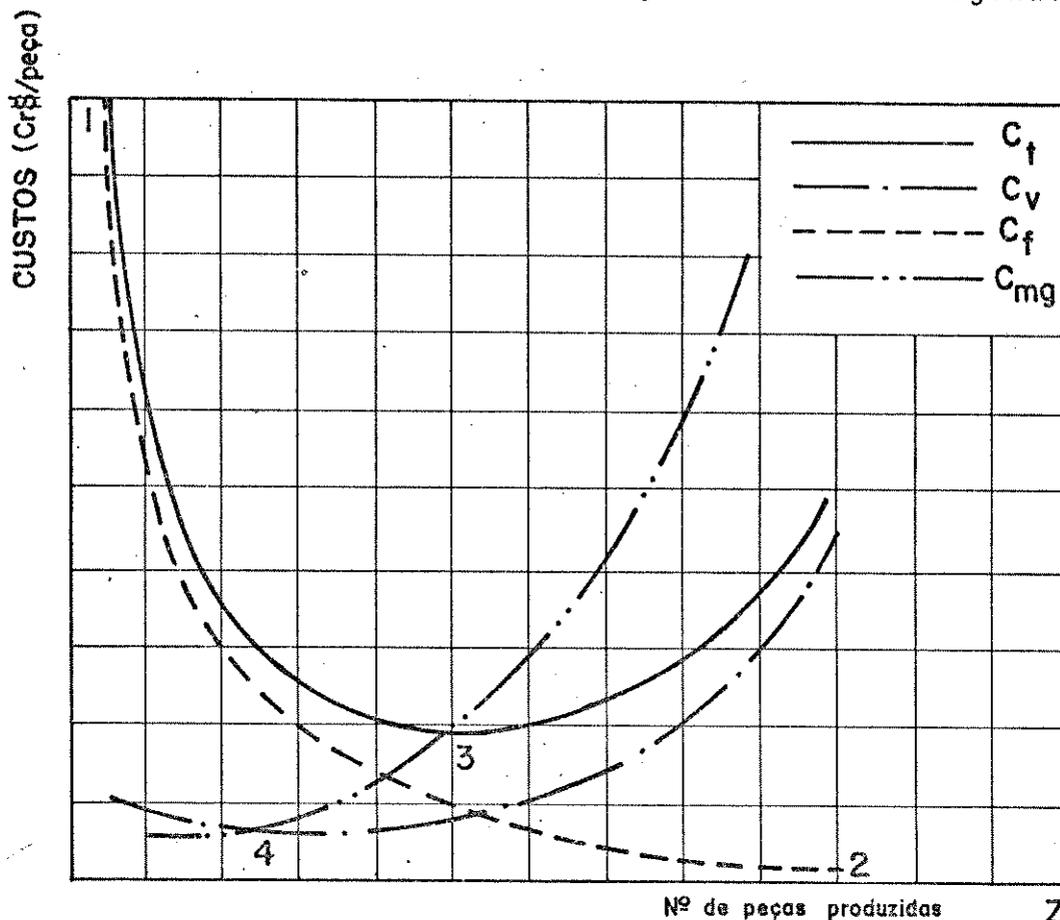


FIGURA 1.2- Representação gráfica dos custos fixos, variáveis e totais médio e do custo marginal

Na figura 1.2 observa-se que:

- o custo fixo médio C_f decresce continuamente, aproximando-se assintoticamente dos dois eixos, como mostrado pelos pontos 1 e 2 da figura;
- a curva de custo variável médio C_v inicialmente decresce, atinge um mínimo no ponto 4 e em seguida se eleva continuamente. Quando esta atinge seu mínimo em 4, iguala-se a C_{mg} ;
- a curva de custo total médio C_t inicialmente decresce, atinge um mínimo no ponto 3 e eleva-se em seguida. Quando esta atinge seu mínimo (ponto 3) iguala-se a C_{mg} ;
- a curva de C_{mg} intercepta ambas, C_v e C_t , quando estas atingem seus pontos de mínimos (pontos 3 e 4).

1.2- RECEITAS DE UMA EMPRESA

A procura de mercado envolve as quantidades do produto que os consumidores estão interessados em adquirir, em face aos diferentes níveis de preço. Segundo aqueles que se dedicam à análise de mercado, a procura pode ser representada linearmente com a variação de Z , com coeficiente angular negativo.

Desta forma, a função procura pode ser representada através da equação [13]

$$Z = a - bP$$

$$\text{ou } P = \frac{1}{b} (a - Z) \quad (1.11)$$

onde

a = ponto de intersecção da reta com o eixo das abscissas;

$1/b$ = coeficiente angular da reta;

P = preço de venda do produto.

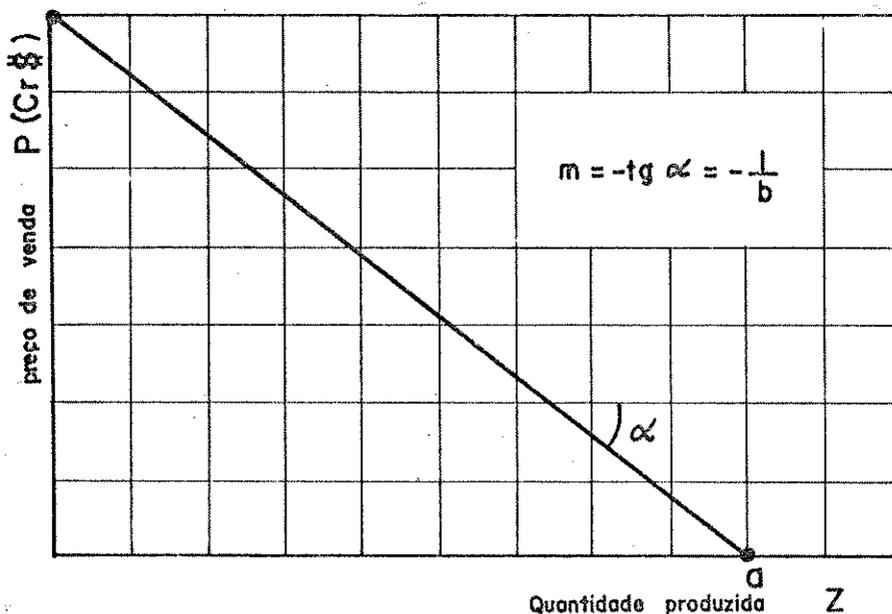


FIGURA 1.3- Representação gráfica da curva de procura, em função dos diferentes níveis de preço.

Exceto nos casos em que a empresa deseja trabalhar com o mercado especulativo, ela produz uma determinada quantidade de produto de acordo com a procura de mercado. Desta forma, existe uma relação direta entre a quantidade de peças produzidas por uma empresa em um determinado período e a procura de mercado. A *receita total gerada por uma empresa* para um determinado produto pode, portanto, ser definida como o produto do preço de venda pelo número de unidades produzidas em um determinado período, ou seja [2, 13]

$$R_T = P \cdot Z = \frac{1}{b} (aZ - Z^2) \quad (1.12)$$

Da equação (1.12) nota-se que a curva de receita total constitui-se em uma curva de 2º grau (fig. 1.4), tendo um ponto de máximo, conforme condiciona a sua derivada 2ª, pois

$$\frac{d^2 R_T}{dZ^2} = - \frac{2}{b} < 0$$

Receita média (R_t) - a receita média gerada por uma empresa é a receita total dividida pela quantidade de peças produzidas em um determinado período. Através da equação (1.12), pode-se calcular facilmente a receita média e concluir que o seu valor coincide com o do preço de venda do produto. Assim

$$R_t = \frac{R_T}{Z} = \frac{P \cdot Z}{Z} = P$$

ou ainda

$$R_t = \frac{a}{b} - \frac{1}{b} \cdot Z \quad (1.13)$$

Portanto, a curva de receita média se constitui em uma reta com coeficiente angular negativo.

Receita marginal (R_{mg}) - analogamente ao conceito de custo marginal, a receita marginal é a variação da receita total gerada pela empresa devido à variação na quantidade de peças produzidas, isto é

$$R_{mg} = \frac{dR_t}{dZ} = \frac{a}{b} - \frac{2}{b} \cdot Z \quad (1.14)$$

A receita marginal resulta, portanto, em uma reta de coeficiente angular negativo (fig. 1.4). Nota-se também, que o coeficiente angular da equação da receita marginal é o dobro do correspondente coeficiente da equação da receita média.

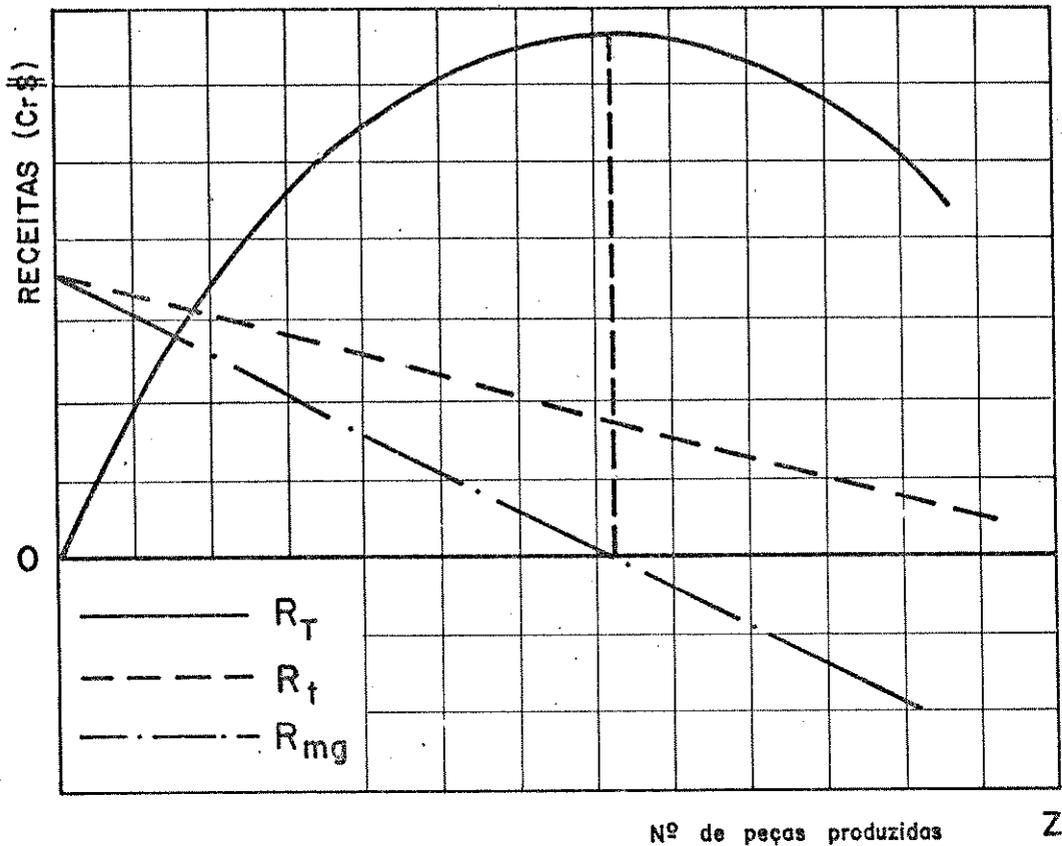


FIGURA 1.4- Representação gráfica de R_t , R_T e R_{mg}

Na figura 1.4, observa-se que [2] :

- a curva de receita média R_t é a própria curva de procura;
- a curva de receita total R_T atinge o seu máximo quando o nível de receita marginal R_{mg} é nulo;
- as curvas de receita média R_t e receita marginal R_{mg} são coincidentes quando $Z = 0$.

1.3- RELAÇÃO ENTRE CUSTOS E RECEITAS

Quando se está interessado em maximizar os resultados monetários de uma empresa, pretende-se sempre obter a maior diferença entre receitas e custos, ou seja, pretende-se maximizar o lucro (fig. 1.5). Desta forma, tem-se [2, 13]

$$L_T = R_T - C_T \quad (1.15)$$

onde:

L_T = lucro total para Z peças produzidas num determinado período;

R_T = receita total gerada pela empresa devido à produção de Z peças em um determinado período;

C_T = custo de produção para Z peças produzidas em um determinado período.

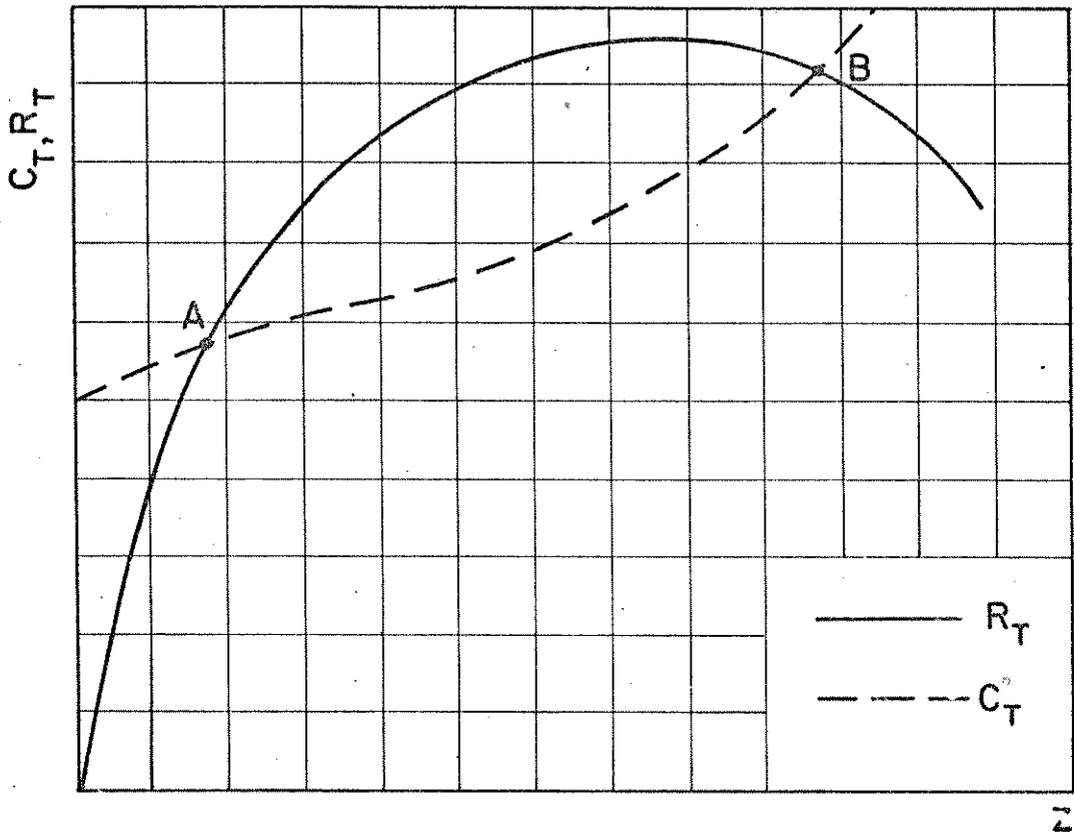


FIGURA 1.5- Curvas de receita total e custo total

Na fig. 1.5, os pontos A e B representam as quantidades onde os níveis de receita total e custo total são iguais.

Entre os pontos A e B obtêm-se lucros, pois as receitas superam os custos.

À esquerda do ponto A e à direita do ponto B, as receitas são insuficientes para cobrir os custos, ou seja, a diferença entre R_T e C_T é negativa.

A condição de maximização do lucro impõe que

$$\frac{dL_T}{dZ} = 0 \dots \frac{dL_T}{dZ} = \frac{dR_T}{dZ} - \frac{dC_T}{dZ} = 0$$

ou seja

$$R_{mg} = C_{mg}$$

(1.16)

Portanto, quando se tem o lucro máximo, a receita marginal deve ser igual ao custo marginal. Na fig. 1.6 tem-se as curvas de custos e receitas com o respectivo ponto de lucro máximo.

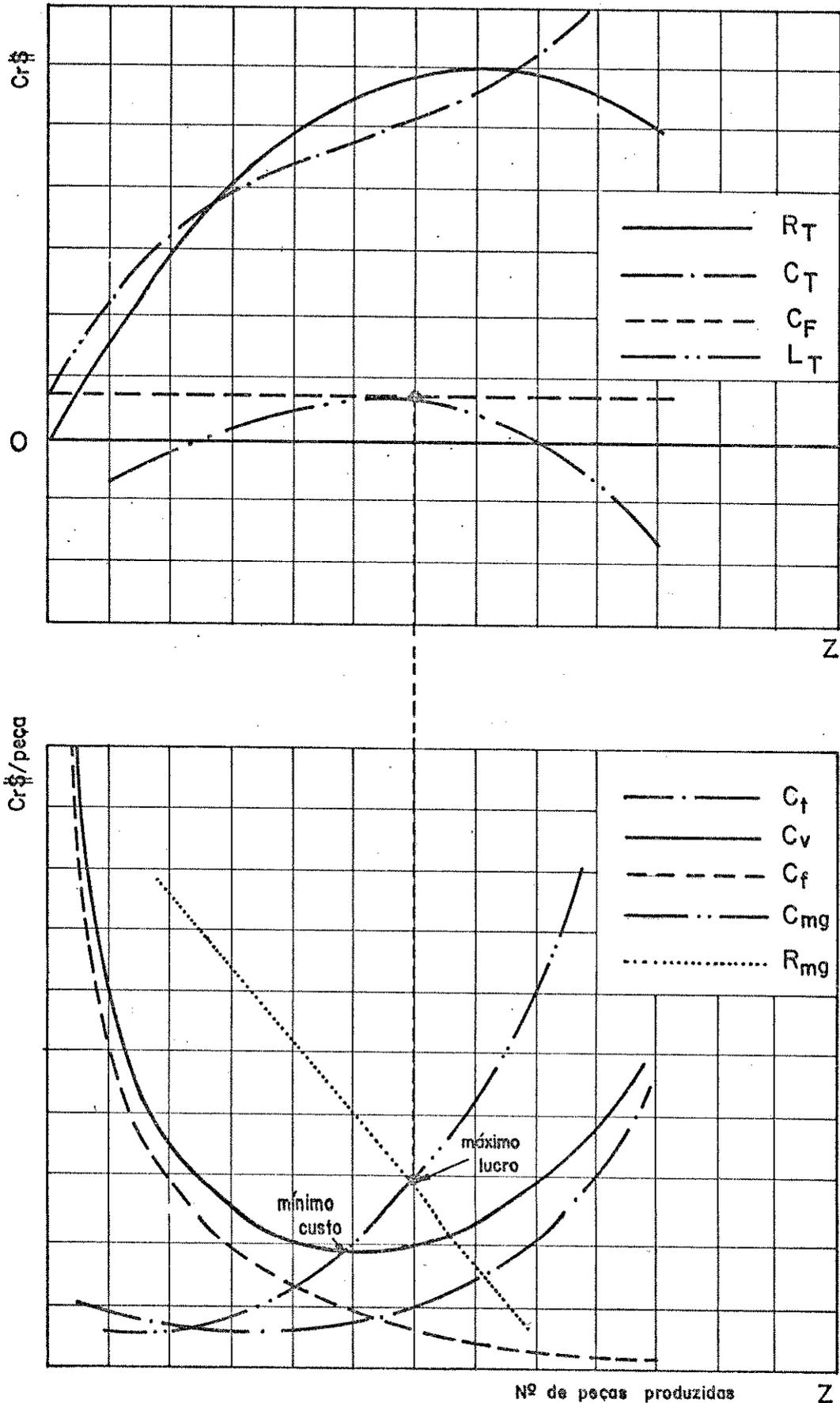


FIGURA 1.6- Curvas de receitas, custos e lucro

1.4- ELEMENTOS DOS CUSTOS

Os custos de fabricação, como visto em 1.1, pode ser variáveis ou fixos. De maneira geral, admite-se [3, 14]

<i>custos variáveis</i>	{ materiais diretos salários diretos despesas diretas
<i>custos fixos</i>	{ materiais indiretos salários indiretos depreciação seguros impostos conservação eletricidade água gás vapor compressores despesas gerais

1.5- ELEMENTOS DOS CUSTOS FIXOS E SUA DETERMINAÇÃO

Os custos fixos, fundamentalmente, constituem-se de três elementos [3]

Materiais indiretos: lubrificantes, parafusos e outros artigos de consumo geral, ou os que entram na produção de determinadas utilidades (mercadorias e serviços) em proporções diminutas e indefinidas, que tornam impossível sua imputação direta a ordens de serviços específicas.

Salários indiretos: são os que se pagam a gerentes, mestres, empregados e operários ocupados em serviços de supervisão ou que se dedicam a tarefas de ordem geral de vigilância, limpeza, transportes, guarda, conservação e distribuição de materiais, cálculos, apontamentos, escrituração, etc.

Despesas indiretas: são todas as despesas que se referem à aquisição de serviços de utilidade como gás, água, telefone, pagamento de serviços de terceiros, reparações e encargos provenientes

de depreciações, juros sobre capital imobilizado, despesas de conservação, impostos, seguros, etc.

De um modo geral, são elementos destes custos, todos os gastos de fabricação que não podem ser imputados diretamente aos produtos manufaturados ou serviços executados, e que, por isso, se incorporam ao valor dos custos através de quocientes de aplicação, baseados em critérios especiais. Uma empresa industrial tem condições, dadas certas bases organizacionais mínimas, de determinar as quantidades de matéria-prima e mão-de-obra utilizadas na elaboração de uma unidade de determinado produto, porém, é impossível conhecer com exatidão o custo de supervisão de cada setor para uma unidade de produto, como também determinar com precisão quanto do custo de edifícios, seguros, esforço administrativo, conservação, etc. deve afetar cada unidade produzida. Dada esta dificuldade de apropriar os custos fixos ao produto, utiliza-se o sistema de custeio como método para resolver esta questão [15].

Sistema de custeio é um método que permite imputar a cada unidade de produto uma certa quantidade média de gastos indiretos. O método de custeio por taxa, consiste na determinação de um certo valor que surge da relação entre os custos fixos e as quantidades de produtos ou horas.

Na determinação da taxa de custos fixos tem-se as seguintes possibilidades [15]

a) Empresa com produto único

A empresa monoprodutora determina o custo unitário do seu produto, relacionando o total de custos com as unidades produzidas num determinado período, ou seja

$$c_x = \frac{C_T}{Z}$$

Neste caso, portanto, não há necessidade de se calcular a taxa de custos fixos (T_{C_f}).

b) Empresa com vários produtos

b.1- Taxa em função da matéria-prima

A taxa de custos fixos calculada em função do valor da matéria-prima pode levar a grandes erros, e só é justificada no caso de uma empresa que desconhece os tempos operacionais de seus produtos, ou no caso em que sejam produzidos vários produtos com va

lores semelhantes tanto de matéria-prima, como dos tempos operacionais.

Para este método, tem-se

$$T_{C_f} = \frac{C_F}{C_{M_p}} \quad (1.17)$$

onde

T_{C_f} = taxa dos custos fixos para um determinado produto;

C_F = custos fixos da empresa em um determinado período, por exemplo, 12 meses;

C_{M_p} = custos totais de matéria-prima de um determinado produto no mesmo período representativo dos custos fixos.

b.2- Taxa em função da mão-de-obra

Esta taxa é determinada relacionando-se o valor da mão-de-obra direta + encargos sociais incorridos em certo período com os custos fixos do mesmo período, ou seja

$$T_{C_f} = \frac{C_F}{S} \quad (1.18)$$

onde

S = valor da mão-de-obra direta + encargos sociais, em um determinado período.

A aplicação da taxa sobre a mão-de-obra direta garante, em princípio, a aplicação da carga de custos fixos em relação ao fator tempo. É um método bem mais exato que a aplicação de uma taxa sobre a matéria-prima, porém não garante correção de cálculo no caso em que cada produto utiliza mão-de-obra de diferente valor. Assim, se dois produtos A e B possuem o mesmo custo de mão-de-obra direta, ao se aplicar este método supõe-se que os tempos operacionais sejam iguais; isto pode não ser verdade, pois o produto A pode utilizar mão-de-obra mais cara que o B, porém com um tempo operacional menor.

b.3- Taxa em função das horas de mão-de-obra direta

Relacionando-se os custos indiretos com o total de horas de mão-de-obra direta trabalhada, obtém-se um valor médio de

custos indiretos para cada hora trabalhada. Este método permite exatidão maior que a taxa em função da mão-de-obra direta, pois elimina o problema da aplicação dos custos fixos em função do valor dos salários e garante total relação com o fator tempo. Assim, tem-se

$$T_{C_f} = \frac{C_F}{H} \quad (1.19)$$

onde

H = horas trabalhadas num determinado período.

Este método exige que haja uma departamentalização da empresa e também o cálculo de uma carga horária por centro de custo, pois os diversos setores de uma companhia apresentam um custo operacional diferente. A utilização deste método exige que a empresa atualize constantemente seu custo/hora para acompanhar a evolução dos preços.

A determinação da hora dos custos fixos é feita em função dos custos históricos, num período de tempo representativo da atividade normal da empresa.

1.6- DEPRECIACÃO

Entende-se a depreciação como a perda de valor de um bem fixo (máquinas, equipamentos, instalações, prédios, etc), ocorrida em consequência de um serviço proporcionado. Este processo de desvalorização é recuperado através das vendas dos produtos finais [16, 17] .

O processo de depreciação é periódico, e, deverá ocorrer até o exato momento em que o bem fixo deva ser substituído por outro. Quando isto ocorre, a empresa deverá ter acumulado recursos suficientes para a integralização de um novo bem em idênticas condições, reconstruindo desta forma a parte do ativo desintegrada pela perda de valor de seus elementos.

São três as formas como a depreciação pode ser considerada [18, 19]

- *física*: interpretada como sendo a perda de valor causada pelo desgaste do equipamento; no caso, o desgaste será devido não só à sua utilização normal, mas também devido a ação do tempo e in -

tempêries.

- *econômica*: relativa ao declínio sofrido na capacidade que o equipamento apresenta em gerar receitas; se ao longo do tempo diminui o valor da produção de um equipamento, este experimentará uma correspondente redução no seu valor. O declínio no valor líquido da produção decorre da exaustão física do equipamento, e mais ainda, da obsolescência do equipamento e do próprio produto; isto é, as constantes inovações tecnológicas que ocorrem em ritmo cada vez maior e mesmo as mudanças no gosto dos consumidores podem fazer que um bem se torne rapidamente obsoleto ou de utilização antieconômica. Dentro deste critério, o período para depreciação pode ser determinado pela política de renovação do imobilizado, adotado pela empresa.

- *contábil*: corresponde a uma estimativa da perda de valor sofrida pelo bem com a finalidade de efetuar um registro contábil. A depreciação contábil é o sistema de desvalorização estabelecida pela legislação fiscal e tributária, a qual estabelece os padrões legais (período de depreciação) a serem obedecidos objetivamente e igualmente por todas as empresas.

1.6.1- CONCEITOS BÁSICOS PARA SE ENTENDER A DEPRECIAÇÃO

Valor de compra - corresponde ao preço do equipamento, posto na fábrica [18].

Vida útil - é o período de utilidade a que se destina o bem. É geralmente expresso em anos. O conceito de utilidade neste caso é um conceito técnico, devendo-se portanto levar em consideração, para efeito da determinação da vida útil de um bem qualquer, o número de anos em que o equipamento é depreciado, anos estes que correspondem ao tempo de duração física do equipamento. Período de depreciação é o período de utilidade corrigido (aumentado ou diminuído), levando em consideração os seguintes fatores [18] :

a) existência de risco de obsolescência do processo ou do produto ou serviço que esse bem gere;

- b) existência de condições de instabilidade econômica que aconselham prudência na aquisição de equipamentos e exijam amortização rápida do capital investido;
- c) existência de grande risco técnico ou de mercado no empreendimento como um todo.

Valor residual - é o valor que se apuraria na venda do bem ao fim do período de depreciação. No entanto o valor residual poderá em muitos casos assumir valores que não cheguem mesmo a cobrir os custos decorrentes de sua renovação. Assim sendo, é frequente considerar-se o valor residual nulo.

1.6.2- CRITÉRIOS DE DEPRECIAÇÃO

O valor de um equipamento a ser depreciado pode ser baseado nos seguintes critérios:

Valor da compra - considera-se neste caso, o valor de compra cujo montante seria recuperado gradativamente durante sua vida útil [18] .

Valor corrigido - vários fatores fazem com que haja variação dos preços dos bens, e entre eles a inflação traz como causa precípua a elevação dos mesmos. Apresenta-se como solução necessária que a empresa ao elaborar seu plano de depreciação dos investimentos leve em conta a instabilidade do período, considerando anualmente a taxa efetiva de depreciação . Entretanto, este critério pode levar a distorções significativas, pois o valor real do equipamento pode estar distante dos valores calculados.

Valor atual (ou de mercado) - uma forma de se evitar as distorções decorrentes da correção do valor através dos índices, seria atualizar-se o valor do bem, isto é, considerar-se o valor de compra na época

ca em que a análise esteja sendo feita. Existem também periódicos que dão os índices de correção para cada setor específico, ou seja, a inflação setorial. Este critério é o que evita maiores distorções.

1.6.3- MÉTODOS PARA CÁLCULO DA DEPRECIAÇÃO

Diversos métodos matemáticos se prestam para o cálculo da depreciação e a escolha deste ou daquele método, será uma alternativa tomada especialmente para cada caso.

1.6.3.1- MÉTODO DA TAXA CONSTANTE DE DEPRECIAÇÃO

Este método procura levar em conta uma queda mais rápida do valor do equipamento nos primeiros períodos de sua vida útil. O princípio adotado consiste em supor que a perda por depreciação, em cada período, seja igual a uma porcentagem do valor do equipamento [18,19]. Isto é, sendo V_k o valor do equipamento na época k , k sendo inteiro e tal que $0 \leq k < N$ e t , sob forma unitária, a taxa periódica constante de depreciação, a perda de valor N_{k+1} sofrida durante o período compreendido entre as épocas k e $k+1$, será dado pela relação

$$N_{k+1} = t \cdot V_k \quad (1.20)$$

Portanto, na época $k+1$, o valor do bem passará a ser

$$V_{k+1} = V_k - N_{k+1} = V_k - t \cdot V_k$$

ou

$$V_{k+1} = (1 - t) \cdot V_k, \text{ relação que é válida para}$$

$$k = 0, 1, 2 \dots, n-1$$

onde n é o número de períodos de vida útil.

Desta forma, tem-se

$$\begin{aligned} V_1 &= (1 - t) \cdot V_0 \\ V_2 &= (1 - t) \cdot V_1 = V_0 (1 - t) (1 - t) \\ &\vdots \\ V_n &= (1 - t)^n \cdot V_0 \end{aligned} \quad (1.21)$$

onde V_0 é o valor de aquisição do equipamento.

No caso de se ter um valor residual $V_R \neq 0$ no fim da vida útil, tem-se

$$V_n = V_R$$

e

$$V_R = (1 - t)^n \cdot V_0 \Rightarrow t = 1 - \sqrt[n]{\frac{V_R}{V_0}} \quad (1.22)$$

1.6.3.2- MÉTODO DA SOMA DOS DÍGITOS

Este critério também procura levar em conta a depreciação mais acentuada que um bem costuma sofrer nos primeiros períodos de sua vida útil. Para tanto, sendo V_0 o valor de aquisição, n e V_R os valores estimados respectivamente para o número de períodos de vida útil e para o valor residual, a *quota de depreciação* no fim do k ésimο período será [18,19]

$$N_k = \frac{n-k+1}{1+2+\dots+n} (V_0 - V_R); \quad 1 \leq k \leq n \quad (1.23)$$

Nota-se que no denominador tem-se a soma dos dígitos periódicos. Esta soma é o resultado da adição dos " n " primeiros números naturais, dada por

$$S_n = \frac{n(n+1)}{2}$$

Desta forma, tem-se

$$N_k = \frac{2(n-k+1)}{n(n+1)} (V_0 - V_R)$$

Logo, o valor do equipamento no fim do k ésimo período será:

$$V_k = V_0 - \sum_{j=1}^k N_j$$

$$V_k = V_0 - \frac{2(V_0 - V_R)}{n(n+1)} \sum_{j=1}^k (n-j+1)$$

$$V_k = V_0 - \frac{k(V_0 - V_R)}{n(n+1)} (2n - k + 1) \quad (1.24)$$

1.6.3.3- DEPRECIÇÃO LINEAR

O método da depreciação linear é o mais simples e mais comum. Considera-se que a depreciação em cada período é constante e igual a $1/n$ da base depreciável. Portanto, representando-se por N a quota periódica de depreciação, tem-se [18,19]

$$N = \frac{V_0 - V_R}{n} \quad (1.25)$$

Deste modo, decorridos k períodos, $0 \leq k \leq n$, tendo em vista que o valor do bem terá sofrido k deduções iguais a N , este valor será (depois de k períodos)

$$V_k = V_0 - \frac{k(V_0 - V_R)}{n} \quad (1.26)$$

1.6.4- COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE DEPRECIAÇÃO

Pode-se ver a evolução dos diversos métodos através do gráfico abaixo [19] .

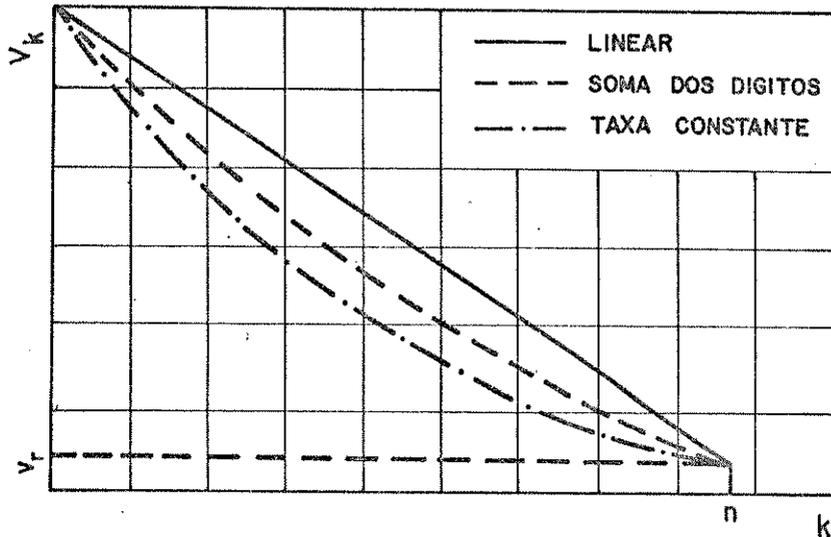


FIGURA 1.7- Comparação entre os vários métodos de depreciação

O valor contábil de um equipamento, nada mais é do que a porção de seu custo inicial que ainda não foi transferido para a reserva de depreciação. Os valores contábeis não servem como base para uma decisão. O que interessa é o valor real do bem. Um equipamento pode ficar obsoleto bem antes do prazo estimado para sua vida útil, simplesmente porque surgiu no mercado outro melhor. Seu valor de mercado pode ser nulo, enquanto que contabilmente tal não ocorra. Para decidir se deve ser substituído, usa-se o valor de mercado, com referência ao preço pelo qual pode ser vendido [16] .

Para o estudo do método de depreciação mais adequado, vejamos alguns conceitos auxiliares.

1.6.4.1- TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE

O capital tem, de um modo geral, uma remuneração ou rentabilidade de garantia. Isto faz com que mesmo sendo usado pelo próprio dono, ele apresente um custo, o custo da oportunidade perdida, ou seja, ao usá-lo, o seu possuidor deixa de auferir pelo menos a rentabilidade oferecida pelo mercado [20,21,22] . Diz-se "rentabilidade pelo menos oferecida pelo mercado", porque poderá ser perdida a oportunidade de outras aplicações ainda mais rentáveis. Conclui-se que, para um determinado investimento ser

atrativo, deve render mais que as oportunidades de investimento perdidas por sua causa. A taxa mínima de atratividade é a taxa mínima que uma nova proposta deverá render para ser atrativa.

1.6.4.2- FATOR DE ACUMULAÇÃO DE CAPITAL

Quando se tem um equipamento e o mesmo é depreciado durante certo período especificado, deverá se ter ao fim deste período, um valor equivalente ao investimento inicial. Este valor é denominado *montante*, ou seja, o capital no fim do período n .

Diagrama do fluxo de caixa - devido ao fato de que quando se adquire um determinado equipamento, o capital investido no mesmo deve ser recuperado através das quotas de depreciação, torna-se útil adotar uma representação que possibilite visualizar cada método de depreciação apresentado. Esta representação é dada pelo diagrama do fluxo de caixa (fig. 1.8) [16]

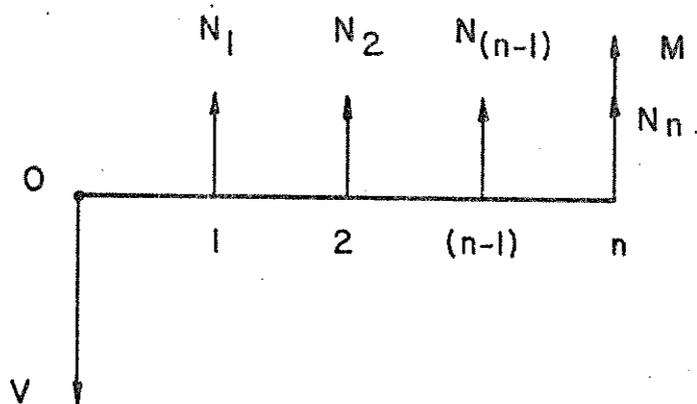


FIGURA 1.8- Representação do diagrama do fluxo de caixa

A escala horizontal representa o tempo (meses, semestres, anos), as flechas para cima correspondem as quotas periódicas de depreciação (N_1, N_2, N_{n-1}, N_n), sendo que no último período deve-se ter um montante M ; e a flecha para baixo representa o investimento inicial para adquirir o equipamento.

O *montante* de capital acumulado ao final do período de depreciação n devido às quotas de depreciação é calculado através dos *fatores de acumulação de capital*, tabelados nos manuais de Engenharia Econômica. Para os métodos de depreciação em estudo são utilizados os chamados *fator de acumulação de capital-série não uniforme* e *fator de acumulação de capital-série uniforme*.

Fator de acumulação de capital - série não uniforme - este fator é aplicável ao método da taxa constante de depreciação e ao método da soma dos dígitos (fig. 1.9)

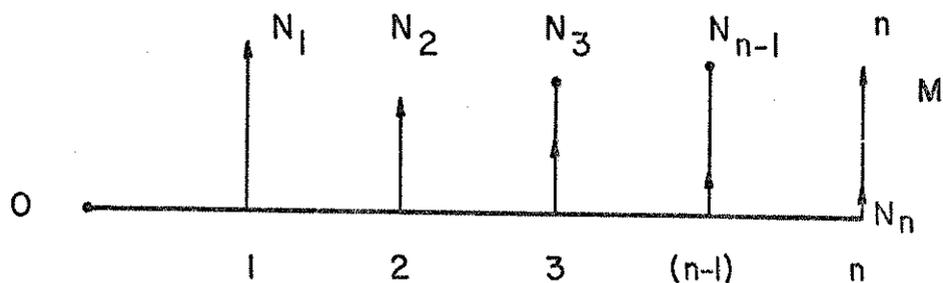


FIGURA 1.9- Representação do diagrama do fluxo de caixa para série não uniforme

As quotas de depreciação não são uniformes. Neste caso tem-se para o montante " M " no final de n períodos a uma taxa t [16]

$$M = \sum_{j=1}^n N_j \times FAC' (t, n) \quad (1.27)$$

onde

M = montante, ou capital acumulado ao final de períodos;

$\sum_{j=1}^n N_j$ = somatória das quotas de depreciação desde a época 1 até a época n ;

FAC' (t, n) = fator de acumulação de capital - série não uniforme para a taxa de atratividade t e n períodos. Este fator é tabelado e se encontra nos manuais de Engenharia Econômica.

Fator de acumulação de capital - série uniforme - este fator é aplicável ao método da depreciação linear, onde as quotas de depreciação são uniformes (fig. 1.10) [16]

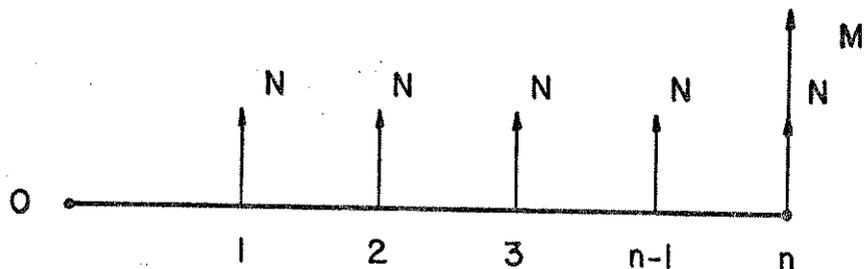


FIGURA 1.10- Representação do diagrama do fluxo de caixa para série uniforme

$$M = N \times \text{FAC} (t, n) \quad (1.28)$$

onde

$\text{FAC} (t, n)$ = fator de acumulação de capital-série uniforme .
Este fator também é tabelado para as diversas taxas t e períodos n .

1.6.4.3- ESCOLHA DO MÉTODO DE DEPRECIAÇÃO MAIS ADEQUADO

Quanto à escolha entre os métodos de depreciação, é necessário, em cada situação concreta, dar procedimento ao cálculo numérico do montante das quotas periódicas de depreciação, determinadas pela aplicação de cada um dos métodos. O método que resultar o *maior montante* é aquele que deve ser escolhido.

1.7- ENCARGOS SOCIAIS

O interesse a respeito dessas obrigações aumenta dia a dia, pois à medida que os preços forem estabilizando-se, a concorrência passará a ser vencida através da redução dos custos, os quais devem ser antecipadamente conhecidos.

Os encargos sociais são agrupados de acordo com a base em que incidem.

Existe uma diferença entre encargos sociais incidentes so-

bre a folha de pagamento e sobre o salário de carteira, uma vez que na folha de pagamento em geral incluem-se além do salário, propriamente dito, alguns ônus sociais, como por exemplo o repouso semanal remunerado. Esta diferenciação permite a caracterização do empregado, neste caso, em remuneração a mensalistas e horistas.

Entende-se por *salário nominal de folha*, aquele que figura na folha de pagamento, pelo qual o empregado mensalista é contratado; por *salário nominal de carteira*, aquele pelo qual o empregado horista é contratado e que figura em sua carteira profissional. O Quadro I apresenta os encargos sociais incidentes sobre os salários, baseados na nossa legislação [23, 24]. O Quadro II apresenta o cálculo dos encargos sociais, baseado no Quadro I.

QUADRO IGRUPO I

01- INPS	Dec.nº 72 de 21.11.66	10,00%
02- INPS SOBRE 13º SALÁRIO	Dec.nº 60466 de 14.03.67	0,60%
03- FGTS	Dec.nº 61405 de 28.09.67	8,00%
04- FGTS SOBRE 13º SALÁRIO	Dec.nº 59820 de 20.12.66	0,66%
05- SESI	Dec.nº 60466 de 14.03.67	1,50%
06- SENAI	Dec.nº 60466 de 14.03.67	1,00%
07- INCRA	Lei nº 11 de 26.05.71	0,20%
08- FUNRURAL	Lei nº 11 de 26.05.71	2,40%
09- SALÁRIO FAMÍLIA	Lei nº 5559 de 11.12.69	4,00%
10- SALÁRIO EDUCAÇÃO	Dec.nº 72 de 21.11.66	2,50%
11- SALÁRIO MATERNIDADE	Lei nº 6136 de 07.11.74	0,30%
12- SEGURO ACIDENTE DE TRABALHO (2)	Dec.nº 61405 de 28.09.67	<u>4,40%</u>
		35,56%

(1) Alterada pela Lei nº 6136 de 07.11.74 - art. 4

(2) Média estatística do seguro contra o risco de acidentes de trabalho - Portaria 21/68 do Serviço Atuarial do MTPS

GRUPO II

		<u>Mens.</u>	<u>Horista</u>
13- AVISO PRÉVIO	CLT Dec.Lei nº 5442 de 01.05.43	2,27%	2,25%
14- AUXÍLIO ENFERMI- DADE	Dec.nº 3807 de 26.08.60	1,59%	1,89%
15- FÉRIAS	CLT Dec.Lei nº 1535 de 13.04.77	9,09%	10,83%
16- FERIADOS	Lei nº 7008 de 06.04.47	-	3,61%
17- REPOUSO SEMANAL REMUNERADO	Dec.nº 27048 de 12.08.49	-	<u>17,32%</u>
		12,95%	35,90%

GRUPO III

18- 13º SALÁRIO	Base-Salário Nominal (de folha)	-	9,09%
	Base-Salário Nominal (de carteira)	-	10,83%
	Lei nº 4090 de 13.07.62		
19- DEPÓSITO POR RESCISÃO SEM JUSTA CAUSA	Horistas	-	1,17%
	Mensalistas	-	0,97%
	Lei nº 5107/66		

QUADRO IICÁLCULO DOS ENCARGOS SOCIAISA- MENSALISTAS

Base - Folha de Pagamento	100,00%
Incidência do Grupo II	<u>12,95%</u>
Sub-Total (1)	112,95%
Incidência do Grupo I sobre (1) (0,3556 x 112,95%)	<u>40,17%</u>
Sub-Total (2)	153,12%
Grupo III (9,09% x 0,97%)	<u>10,06%</u>
	163,18%
TOTAL SOBRE A FOLHA DE PAGAMENTO	63,18% =====

B- HORISTAS

Base - Salário Nominal-Horas Trabalhadas	100,00%
Incidência Grupo II	<u>35,90%</u>
Sub-Total (1)	135,90%
Incidência do Grupo I sobre (1) (0,3556 x 135,90%)	<u>48,33%</u>
Sub-Total (2)	184,23%
Grupo III (10,83% + 1,17%)	<u>12,00%</u>
	196,23%
TOTAL SOBRE O SALÁRIO NOMINAL DA CARTEIRA	96,23% =====

SIMBOLOGIA

- C_f - custos fixos por peça (Cr\$/peça);
 C_F - custos fixos para um lote de Z peças (Cr\$);
 C_{mg} - custo marginal (Cr\$/peça);
 C_{M_p} - custos totais de matéria prima em um determinado período (Cr\$);
 C_t - custo total médio (Cr\$/peça);
 C_T - custo total de fabricação (Cr\$);
 C_v - custo variável médio (Cr\$/peça);
 $FAC(t, n)$ - fator de acumulação de capital-série uniforme;
 $FAC'(t, n)$ - fator de acumulação de capital-série não uniforme;
 H - horas trabalhadas em um determinado período (horas);
 k - idade do equipamento (anos);
 L_T - lucro total (Cr\$);
 M - montante, ou seja, capital acumulado ao final de n períodos (Cr\$);
 n - vida útil do equipamento (anos);
 N_k - quotas de depreciação (Cr\$);
 P - preço unitário do produto (Cr\$/peça);
 R_{mg} - receita marginal (Cr\$/peça);
 R_t - receita média (Cr\$/peça);
 R_T - receita total (Cr\$);
 S - valor da mão-de-obra direta em um determinado período (Cr\$);
 t - taxa de juros (%);

T_c - taxa de custos fixos (adotando-se o critério da mão-de-obra direta - Cr\$/hora);

V_0 - valor de aquisição do equipamento (Cr\$);

V_k - valor do equipamento na época k (Cr\$);

V_R - valor residual do equipamento (Cr\$);

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- [1] NETO, Alexandre Assaf - Depreciação: conceitos, aspectos e de-capitalização. Revista Administrativa - IA-USP São Paulo, 15: 19-32, jan/março 1980.
- [2] GARÓFALO, Gilson de Lima & CARVALHO, Luiz Carlos P. de - Microeconomia - Teoria da firma e análise da oferta São Paulo, Editora Atlas, 1976, 2.
- [3] JUNIOR, Frederico Herrman - Custos Industriais - Organização administrativa e contábil das empresas industriais, 8^a ed., São Paulo, Editora Atlas, 1977, 1
- [4] WOOLSEY, Samuel M. - Técnicas de costeo directo México, Editora Técnica, 1968.
- [5] KLAUSER, Ludwig J. - Custo industrial São Paulo, Editora Atlas, 1960.
- [6] FERGUSON, C.E. - Microeconomia, 3^a ed. Rio de Janeiro, Editora Forense Universitária, 1974.
- [7] WATSON, Donald S. & HOLMAN, Mary A. - Microeconomia São Paulo, Editora Saraiva, 1979.
- [8] DORN, S. William & Mc CRACKEN, DANIEL D. - Cálculo Numérico com estudos de casos em FORTRAN IV Rio de Janeiro, Editora Campus Ltda, 1978.
- [9] DAHLQUIST, Germund & BJÖRCK, Ake - Numerical methods New Jersey-USA, Prentice - Hall Inc., 1974.
- [10] HENDERSON, J. M. & QUANDT, R. E. - Teoria microeconômica Barcelona, Ediciones Ariel, 1968.
- [11] BINGHAM, Robert C. - A economia em linguagem matemática Rio Janeiro, Zahar Editores, 1975.

- [12] ALLEN, R. G. D. - Análise matemática para economistas Rio de Janeiro, Editora Fundo de Cultura S/A, 1970.
- [13] GARÓFALO, Gilson de Lima & CARVALHO, Luiz C. P. de - Análise microeconômica - Análise das estruturas de mercado São Paulo, Editora Atlas, 1980, 2.
- [14] AMERICAN, Management Association - Tested approaches to cutting production costs, overhead, materiais, payroll Nova York, AMA, 1965 (Special Report nº 4).
- [15] BACIC, Miguel Juan - Custeio por taxa Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 1981.
- [16] HESS, Geraldo et alii - Engenharia econômica, 9^a ed. Rio de Janeiro, DIFEL, 1977.
- [17] COOK, Natham H. - Manufacturing analysis Massachussetts-USA, 1966.
- [18] PAGNANI, Eolo M.; PIOVEZANA, Celso Ilídio & LIMA, Mário dos Santos - Depreciação e obsolescência. Departamento de Economia e Planejamento Econômico (DEPE) Campinas, UNICAMP, 1974. (Apostila do VIII Curso Técnico para Dirigentes de Empresa)
- [19] FARO, Clóvis de - Elementos de engenharia econômica, 3^a ed. , São Paulo, Editora Atlas, 1979.
- [20] REIG, Enrique Jorge - El interes del capital en los costos , Buenos Aires-Argentina, Edición del Autor (sobre la base de articulos publicados en la Revista de Ciências Econômicas, 1951)
- [21] HOLANDA, Nilson - Elaboração e avaliação de projetos Rio de Janeiro, APEC, 1968.
- [22] MELNICK, Julio - Manual de projetos de desenvolvimento econômico Rio de Janeiro, Entrelivros Cultural, 1978.

- [23] ESTUDOS especiais - Encargos sociais do empregador. Conjuntura Econômica Rio de Janeiro, 19 (7) : 49-55, jul-1975.
- [24] PAGNANI, Eolo M.; MAURÍCIO, Nilton D. & MARCHESE, Osmar de O. Custo dos encargos sociais. Departamento de Economia e Planejamento Econômico (DEPE) Campinas, UNICAMP, 1974 (Apostila do VIII Curso Técnico para Dirigentes de Empresa).

II- ESTUDO DE TEMPOS DE MANUFATURA2.1- INTRODUÇÃO

Para o mesmo nível de qualidade do produto final, pode-se afirmar que a comparação entre distintos métodos de produção deve ser quantitativa. O único método razoável de medição é aquele que se expressa em termos financeiros. Os diferentes métodos de produção variam de acordo com o grau de mecanização do trabalho, e sempre que possível as operações manuais são substituídas por operações mecânicas. Em termos econômicos, isto significa simplesmente a substituição entre fatores de produção (substituição de mão-de-obra por capital). Visto que as operações efetuadas mecanicamente são mais rápidas que as manuais, a diferença no grau de mecanização do trabalho se manifesta em tempo de produção por unidade de produto.

Antes de se efetuar a comparação financeira ou de custos entre os distintos métodos de produção, pode-se fazer a comparação entre os métodos alternativos de produção com relação ao tempo necessário para a mesma.

Obviamente, o fluxo uniforme das matérias primas, produtos semi acabados e acabados, evitando prazos desnecessários de espera e interrupções no processo de produção, influe sobre a produtividade da mão-de-obra em geral, e nos pontos individuais de produção da fábrica [1,2].

2.2- GENERALIDADES

Ciclo de usinagem - refere-se aos trabalhos manuais ou máquina, que possibilitam a execução de uma dada operação de corte. Um ciclo de usinagem geralmente envolve um ou mais dos seguintes movimentos [3] :

- a) aproximação da ferramenta à peça;
- b) entrada da ferramenta na peça;
- c) corte de material;
- d) saída da ferramenta da peça;
- e) retorno da ferramenta à sua posição inicial.

Fases de usinagem - correspondem a cada trabalho executado antes, durante e após cada ciclo de usinagem, perfeitamente individualizadas das demais, de acordo com as conveniências quanto à determinação dos tempos correspondentes. Um ciclo de usinagem geralmente apresenta as seguintes fases [3,4] :

- a) transporte, posicionamento, fixação da peça em bruto ou semi acabada na máquina-ferramenta, e acionamento dos comandos para a partida da máquina;
- b) aproximação e ou posicionamento das ferramentas para o início do corte, mudança da rotação ou avanço;
- c) operações de corte das ferramentas;
- d) afastamentos e ou posicionamento das ferramentas nas suas posições iniciais;
- e) inspeção da peça;
- f) inspeção e ajustagem periódica das ferramentas;
- g) reposição das ferramentas que não mais satisfazem as condições desejadas na peça ou ferramenta, (troca e ajustagem inicial). Nas operações de desbaste, tem-se como delimitante a possibilidade da perda da capacidade de corte ou quebra das ferramentas. Nas operações de acabamento os fatores delimitantes são principalmente as tolerâncias dimensionais e a rugosidade superficial;
- h) acionamento dos comandos para a parada da máquina, desfixação, transporte e posicionamento da peça acabada;
- i) preparo da máquina-ferramenta para a execução de Z peças, que só ocorre no início da mesma.

2.3- TEMPOS E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

Tempo base (t_b) - é o tempo necessário para que um operador trabalhando em ritmo normal execute todas as fases de uma operação de usinagem, segundo um método previamente estabelecido (a fase i é executada pelo preparador da máquina).

Tempo padrão (t_e) - corresponde ao tempo resultante da soma dos tempos suplementares com o tempo base. Os tempos suplementares

res são aqueles que compensam eventuais variações das condições de trabalho, normalmente expressas em tolerâncias (porcentuais). Essas tolerâncias são [5]

tolerância para necessidades pessoais - considera-se que 5% do tempo total é uma boa tolerância; em uma jornada de 8 horas representa 24 minutos. Existem casos em que se estabelece intervalos de descanso distribuídos durante o dia. Geralmente são intervalos de 10 a 15 minutos, sendo um pela manhã e outro à tarde. Se os intervalos forem de 15 minutos cada um, isto representa 6,25% de 8 horas; esta será a porcentagem em lugar de 5%.

tolerância para fadiga mental e física - a fadiga é o resultado de um abuso das faculdades físicas ou intelectuais, o que origina a incapacidade de continuar um trabalho num ritmo desejado; se manifesta em forma de cansaço ou sensação de esgotamento. A fadiga aplica-se sobre o tempo manual e nunca sobre o tempo - máquina; o fator de fadiga varia conforme uma série de condições, tais como:

- trabalho sentado, em pé, com deslocamento, em posição incômoda, etc;
- condições adversas como calor, frio, umidade, gases, falta de ventilação, etc;
- pesos a serem manipulados;
- fadiga visual-mental em trabalhos que exigem alto grau de concentração, como por exemplo, inspeção de qualidade de peças que passam por uma esteira, costura, mecânica de precisão, etc;
- monotonia em trabalhos de ciclos muito curtos e repetitivos, que são sempre mais cansativos que trabalhos de ciclos mais longos.

A avaliação do fator de fadiga não possui gabaritos fixos e depende em boa parte da experiência e do bom senso do analista. Todavia existem certos padrões aproximados, fornecidos em tabelas, que são usados.

tolerância de inspeção - quando o desgaste de uma ferramenta é apreciável, este fará variar as dimensões da peça usinada, co-

mo ocorre, por exemplo, em um torno revolver. Isto obriga a efetuar, de vez em quando, pequenos ajustes na ferramenta que compensam esta variação por desgaste. A ferramenta pode também sair de ajuste por outros fatores: parada da máquina, aumentos e reduções dos avanços ou velocidades de corte, etc. Devido a isto, é necessário comprovar periódicamente as peças fabricadas para verificar a necessidade de ajustes na ferramenta. Nos casos em que o operador pode verificar a peça sem interromper a produção, tal tolerância não é necessária.

outras tolerâncias - o operador deve às vezes efetuar operações que não estão incluídas no ciclo normal de trabalho, as quais causam os chamados atrasos inevitáveis. Esses atrasos inevitáveis são ocorrências normais durante a jornada de trabalho que não podem ser previstas exatamente, nem eliminadas e que causam perdas de tempo produtivo. Exemplos típicos são:

- leitura de desenhos;
- recebimento de instruções do chefe;
- limpeza do posto de trabalho;
- checagem do depósito de fluido refrigerante, etc.

Tempo total (t_t) - é o tempo resultante do acréscimo do tempo de preparação para o início da operação ao tempo padrão (t_e), dado por

$$t_t = t_e + \frac{t_p}{z} \quad (2.1)$$

2.3.1- MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE TEMPO

- a) *estimativa* - este método pode conduzir a grandes erros, não apresentando nenhum valor científico. Neste método, o avaliador usa a sua experiência ou recorre a tabelas, aplicando seu bom senso para fixar valores que lhe parecem corretos; seu uso é justificado apenas para pequenas quantidades

de peças, ou cujo custo de uma avaliação mais precisa não seria compensador [4] ;

- b) *comparação com operações semelhantes* - baseado na previsão da duração dos tempos manuais e manuais-máquina, em relação a uma ou mais operações semelhantes, cujos tempos são conhecidos com suficiente precisão [4] ;
- c) *por cálculo a partir de tabelas de tempos elementares* - constitui o método que potencialmente melhora vantagens oferece quanto à precisão obtida [4] ;
- d) *por cronometragens* - implica na existência física das operações cujos tempos devem ser avaliados [4] ;
- e) *por cálculo a partir de equações* - aplicável à determinação dos tempos de corte e de reposição [4] .

2.4- TEMPO DE FABRICAÇÃO

O tempo de fabricação inclui todos aqueles tempos necessários para realizar uma fase de usinagem. Esse tempo é dividido em dois grupos gerais [5] :

- 1- *tempos-manuais* - neste tempo se incluem todos os movimentos necessários ao operador para fazer a operação de corte e a retirada da peça após a usinagem; enfim, consta de elementos que dependem da habilidade do operador;
- 2- *tempos máquina* - esses tempos começam quando a ferramenta toca na peça e terminam quando esta se retira. Dependem do rendimento da máquina, qualidade da ferramenta, material da peça, etc.

O tempo total de confecção por peça para um lote de Z peças é dado por [3,4]

$$t_t = t_c + t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} + t_h \quad (2.2)$$

onde

t_t = tempo total de execução da peça;

t_c = tempo de corte da ferramenta, correspondente à fase c ;

t_s = tempos secundários de usinagem, correspondente às fases a , e , f , h ;

t_a = tempo de aproximação e afastamento da ferramenta , correspondente às fases b e d ;

t_p = tempo de preparação da máquina, correspondente à fase i ;

t_h = tempo de reposição por peça, para a troca e ajuste inicial das ferramentas, fase g .

2.4.1- TEMPO DE CORTE

Entende-se por tempo de corte de uma operação de usinagem, ao espaço de tempo em que as ferramentas efetivamente trabalham removendo cavacos da peça [3] .

O estudo analítico do tempo de corte pode ser dividido em duas partes [3] :

- a) as ferramentas atuam isoladamente, não havendo sobreposição dos tempos de corte (fig. 2.1) ;

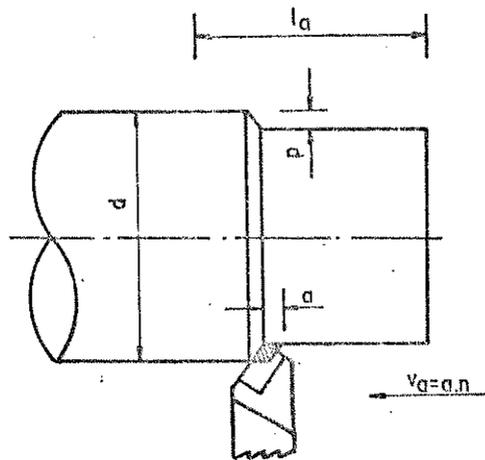


FIGURA 2.1- Operação de torneamento com a ferramenta atuando isoladamente.

b) as ferramentas atuam simultaneamente, havendo sobreposição dos tempos de corte (fig. 2.2).

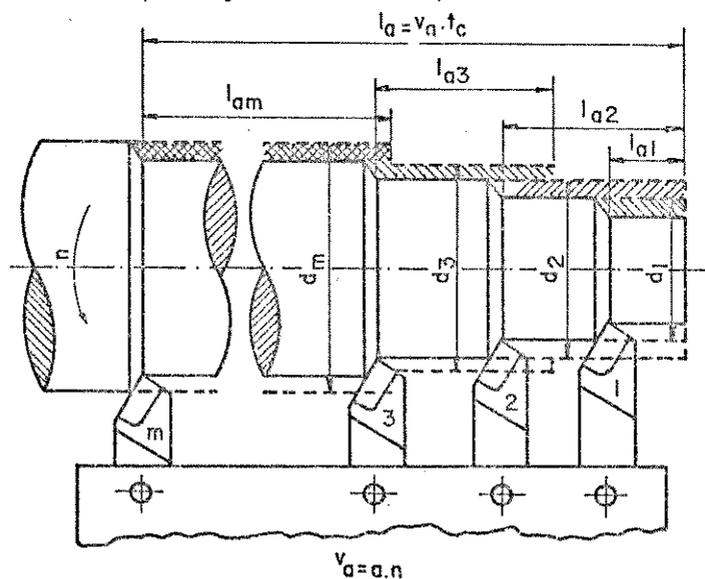


FIGURA 2.2- Operação de torneamento com as ferramentas atuando simultaneamente.

2.4.1.1- CADA FERRAMENTA ATUA ISOLADAMENTE

O percurso de avanço l_a (fig. 2.1), cor-

respondente ao tempo de corte t_c é dado por [3]

$$t_c = \frac{l_a}{V_a} = \frac{l_a}{a \cdot n} \quad (2.3)$$

onde

l_a = percurso de avanço da ferramenta;

V_a = velocidade de avanço da ferramenta;

a = avanço da ferramenta;

n = rotação do eixo-árvore.

2.4.1.2- AS FERRAMENTAS ATUAM SIMULTÂNEAMENTE

Neste caso há necessidade de se conceituar ferramenta-padrão. Ferramenta-padrão é uma qualquer das m ferramentas que atuam simultaneamente numa operação de usinagem, escolhida como padrão de referência entre os tempos de corte, correspondentes a cada ferramenta envolvida na operação [3].

Todas as grandezas relativas à ferramenta padrão são indicadas pelo símbolo * (asterisco). A escolha de qualquer uma das m ferramentas envolvidas na operação de usinagem, como padrão de referência dos respectivos tempos de corte, não afeta a validade matemática das equações a serem deduzidas, porém, influi na precisão dos resultados obtidos. No caso, portanto, das ferramentas atuarem simultaneamente, o tempo de corte a ser utilizado é o tempo da ferramenta escolhida como padrão, porém relacionado com o tempo total de corte da operação através do coeficiente adimensional R , dado por

$$R = \frac{t_c^*}{t_c} \quad (2.4)$$

onde

- R = coeficiente adimensional;
- t_c^* = tempo de corte correspondente à ferramenta padrão;
- t_c = tempo total de corte da operação, correspondente às m ferramentas envolvidas atuando simultaneamente.

A relação entre a vida da ferramenta-padrão e a vida das demais ferramentas é feita através da expressão

$$n_i = \frac{Z_T^*}{Z_{T_i}} = \frac{\frac{T^*}{t_c}}{\frac{T_i}{t_{c_i}}},$$

ou

$$\frac{t_{c_i}}{T_i} = n_i \cdot \frac{t_c^*}{T^*}, \quad (2.5)$$

onde

- Z_T^* = número de peças usinadas por vida pela ferramenta-padrão;
- Z_{T_i} = número de peças usinadas por vida pela i ésima ferramenta;
- T^* = vida da ferramenta-padrão;
- T_i = vida da i ésima ferramenta.

Preferencialmente, escolhe-se como ferramenta-padrão aquela que tem maior influência nos custos de operação, ou melhor, aquela cujo tempo de corte é maior, para se ter $R = 1$ e simplificar o cálculo.

2.4.2- TEMPOS SECUNDÁRIOS

Os tempos secundários são analisados através de tempos e métodos, visando a economia de movimentos e a diminuição dos tempos envolvidos.

2.4.3- TEMPO DE PREPARAÇÃO

Neste tempo se incluem todos os tempos preliminares empregados em preparar a máquina para a usinagem. Os tempos que excedam a cifra normal para um trabalho ao se fabricar as primeiras peças, são incorporadas à preparação. Teoricamente, o tempo de preparação para um determinado trabalho é o mesmo, tantas vezes quanto se repita esse trabalho. Na prática, porém, raramente é assim, pois que o trabalho executado antes, influi de forma decisiva sobre este tempo. Há de se notar, que a desmontagem da máquina devido a uma determinada operação de corte está intimamente ligada com a preparação da máquina para a operação seguinte. Mediante um planejamento adequado, a sucessão dos trabalhos pode reduzir-se a um mínimo em relação ao tempo de desmontagem com o aproveitamento de determinadas ferramentas, dispositivos, calibres, etc.. [6]

Para efeito dos cálculos do tempo de fabricação, sempre se parte do tempo total de instalação, sem contar com a possibilidade de se aproveitar algo previamente instalado.

A máquina-ferramenta deve possuir também uma boa flexibilidade, a qual se caracteriza pelo tempo necessário à introdução na produção de uma peça nova. Um equipamento com alta flexibilidade atende mais rapidamente às variações nas necessidades de peças. A flexibilidade pode ser traduzida em tempo de preparação de máquina e tempo de planejamento do processo. O planejamento do processo se subdivide na definição do processo em si e disposição das ferramentas, e definição exata do ciclo de usinagem.

Em relação à flexibilidade, as máquinas CN apresentam uma grande vantagem sobre as demais. O tempo de preparação em máquinas CN é dividido entre a colocação das ferramentas e colocações das correções e teste de programas. Teoricamente, o tempo de

testes de programas e colocação das correções deve ser menor que o tempo de colocação das ferramentas. Os tempos de preparação da máquina com comando numérico diminuem em cerca de 20 a 70% em relação às máquinas convencionais [7,8] .

2.4.4- TEMPO DE REPOSIÇÃO

Entende-se por tempo de reposição t_n de uma operação de usinagem, ao tempo efetivamente gasto por peça, para a troca e ajuste de todas as ferramentas envolvidas na operação, que não mais satisfazem as condições de usinagem desejadas. O tempo de reposição está diretamente ligado ao número de peças usinadas por vida (Z_T), pois este define a frequência das paradas da máquina para troca e ajuste da ferramenta. Em geral, o tempo de troca e ajuste envolve as seguintes fases [4] :

- a) acionamento dos comandos (manual ou automático) para a parada da máquina, do fluxo de fluido de corte, etc ;
- b) desfixação da ferramenta e sua retirada do suporte. No caso de pastilhas de metal duro, corresponde a troca, giro ou inversão (uso da outra face) da pastilha.
- c) afiação da ferramenta. Esta fase normalmente deve ser evitada, deixando-se sempre de espera uma ferramenta já afiada;
- d) fixação da ferramenta já afiada no seu suporte, ou da pastilha no seu encaixe.

Em geral, o procedimento de troca de ferramentas pode ser dividido em dois casos [9] :

- 1- *trocas não pré-determinadas*: neste caso, as ferramentas são trocadas individualmente na ordem natural de sua ocorrência, quando elas não mais satisfazem as condições exigidas;
- 2- *trocas pré-determinadas*: neste caso, existe um

intervalo pré-determinado de troca. Algumas ferramentas podem ter vidas diferentes. Desta forma, existem duas alternativas possíveis:

- a) todas as ferramentas são trocadas em um só grupo após a usinagem de uma pré-determinada quantidade de peças;
- b) as ferramentas são trocadas em grupos selecionados, de acordo com a vida que elas apresentaram.

No esquema seguinte, vê-se esses três casos, considerando-se uma máquina-ferramenta com 3 ferramentas.

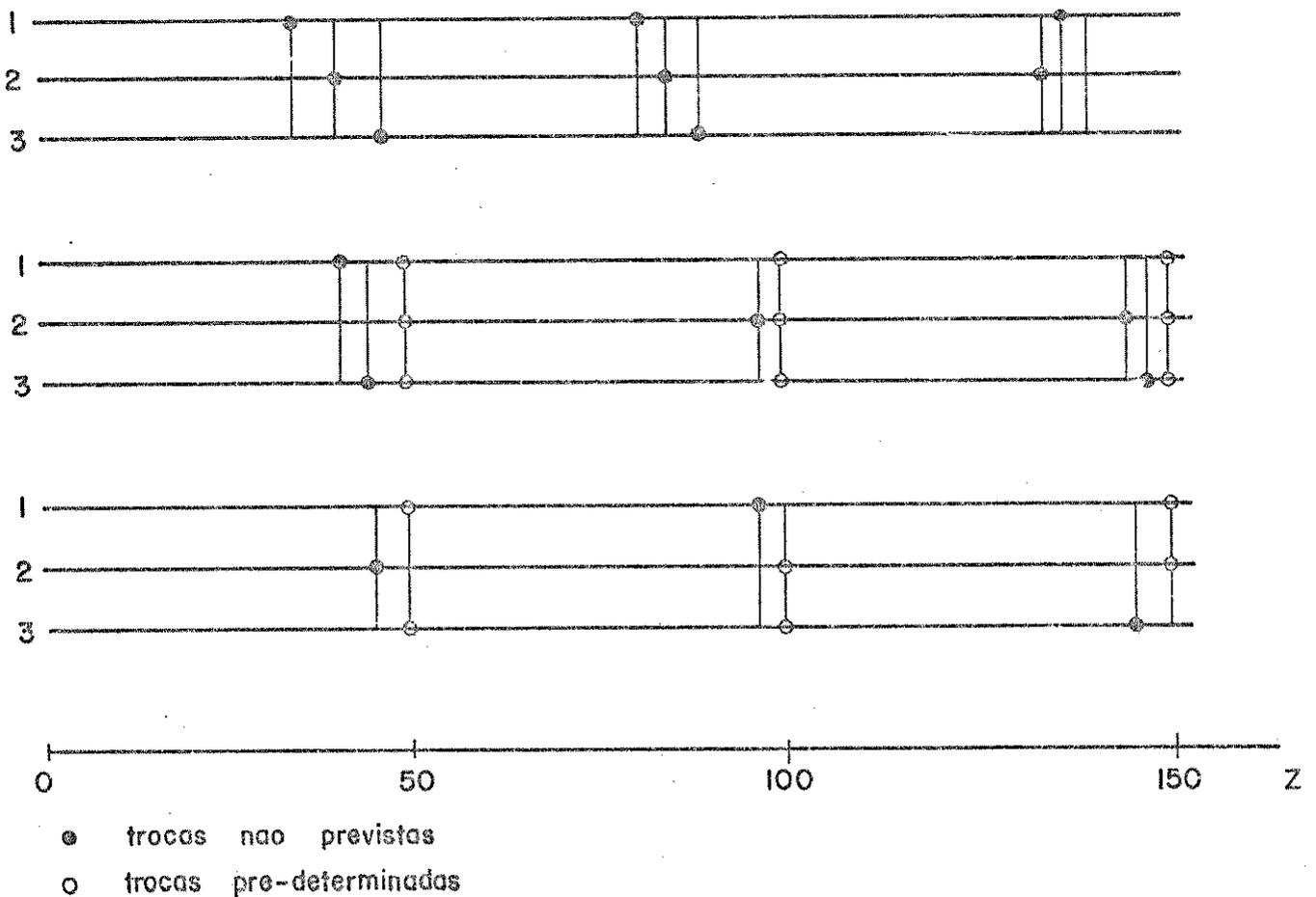


FIGURA 2.3- Procedimentos de troca de ferramentas

2.4.4.1- DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE REPOSIÇÃO

Admitindo-se que a máquina-ferramenta \bar{e} inicialmente preparada com m ferramentas já afiadas, tem-se para a ferramenta de ordem i

$$t_{n_i} = \frac{n_{t_i} \cdot t_{\delta_i}}{Z}$$

e

$$n_{t_i} = \frac{Z}{Z_{T_i}} - 1, \quad (2.7)$$

onde

t_{n_i} = tempo de reposição da i ésimas ferramenta;

n_{t_i} = número total de trocas da i ésimas ferramenta, na usinagem de um lote com Z peças;

t_{δ_i} = tempo de troca e ajuste, correspondente a cada i ésimas ferramenta;

Z_{T_i} = número de peças usinadas por vida pela i ésimas ferramenta.

Então, para trocas individuais das ferramentas, tem-se

$$t_n = \sum_{i=1}^m t_{n_i} = \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^m n_{t_i} \cdot t_{\delta_i}$$

$$t_n = \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{Z_{T_i}} - \frac{1}{Z} \right) t_{\delta_i} \quad (2.8)$$

Quando as ferramentas são trocadas em um só grupo, apenas uma das ferramentas define o intervalo de troca (ferramenta-padrão). Neste caso, partindo-se da equação(2.8) e usando-se a relação(2.5), tem-se

$$t_n = \sum_{i=1}^m \left(\frac{n_i}{Z^*_{T}} - \frac{1}{Z} \right) t_{\delta i} \quad (2.9)$$

Analogamente, se as trocas são efetuadas em grupos selecionados, tem-se

$$t_n = \sum_{g=1}^G \left[\sum_{i=1}^m \left(\frac{n_{i,g}}{Z^*_{T,g}} - \frac{1}{Z} \right) t_{\delta i,g} \right] \quad (2.10)$$

onde

$n_{i,g}$ = relação entre a vida da i ésimas ferramenta do g ésimos grupo com a ferramenta padrão do mesmo grupo;

$t_{\delta i,g}$ = tempo de troca da i ésimas ferramenta do g ésimos grupo;

m = número de ferramentas constituintes de cada grupo

O tempo total de confecção por peça (eq. 2.2) é portanto

$$t_t = \sum_{i=1}^m \frac{\pi \cdot d_i \cdot l_{a_i}}{1000 \cdot a_i \cdot v_i} + t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} + \sum_{i=1}^m \left[\left(\frac{1}{Z_{T_i}} - \frac{1}{Z} \right) t_{\delta i} \right] \quad (2.11)$$

para trocas individuais das ferramentas, e

$$t_t = \frac{l^*_a}{a \cdot n \cdot R} + t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} + \sum_{i=1}^m \left[\left(\frac{n_i}{Z^*_T} - \frac{1}{Z} \right) t_{\delta_i} \right] \quad (2.12)$$

para trocas em um s̄o grupo.

Para trocas em grupos selecionados, o procedimento de cálculo é o mesmo acima, somente que relativo a cada grupo selecionado, ou seja

$$t_t = \sum_{g=1}^G \frac{l^*_{a,g}}{a_g \cdot n_g \cdot R_g} + t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} + \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^m \left[\left(\frac{n_{i,g}}{Z^*_{T,g}} - \frac{1}{Z} \right) t_{\delta_{i,g}} \right] \quad (2.13)$$

SIMBOLOGIA

- a - avanço da ferramenta (mm/volta);
- a_i - avanço da i ésimas ferramenta (mm/volta);
- a_g - avanço das ferramentas componentes do g ésimos grupo (mm/volta);
- d_i - diâmetro da peça, quando usinada com a i ésimas ferramenta (mm);
- l_a - percurso de avanço da ferramenta, correspondente ao tempo total de corte t_c (mm);
- l_{a_i} - percurso de avanço da i ésimas ferramenta (mm);
- l^*_a - percurso de avanço da ferramenta-padrão (mm);
- $l^*_{a,g}$ - percurso de avanço da ferramenta-padrão do g ésimos grupo (mm);
- n - rotação do eixo-árvore (rpm);
- n_g - rotação do eixo-árvore quando estão atuando as ferramentas do g ésimos grupo (rpm);
- n_{t_i} - número total de trocas da i ésimas ferramenta, na usinagem de um lote com Z peças;
- R - coeficiente adimensional que correlaciona o tempo de corte da ferramenta-padrão, com o tempo total de corte;
- R_g - coeficiente adimensional que correlaciona o tempo de corte da ferramenta-padrão do g ésimos grupo com o tempo total de corte do mesmo grupo de ferramentas;
- r_i - coeficiente adimensional que correlaciona a vida da ferramenta-padrão com a vida das demais ferramentas;
- $r_{i,g}$ - coeficiente adimensional que correlaciona a vida da ferramenta-padrão do g ésimos grupo com a vida das demais ferramentas deste grupo;
- T^* - vida da ferramenta-padrão (min);
- t_a - tempo de aproximação e afastamento da ferramenta (min/peça);

- t_b - tempo-base (min/peça);
- t_c - tempo total de corte (min/peça);
- t_c^* - tempo de corte da ferramenta-padrão (min/peça),
- t_{c_i} - tempo de corte da i ésimas ferramenta (min/peça);
- t_e - tempo-padrão (min/peça);
- t_{b_i} - tempo de troca da i ésimas ferramenta (min);
- $t_{b_{i,g}}$ - tempo de troca da i ésimas ferramenta pertencente ao g ésimos grupo (min);
- T_i - vida da i ésimas ferramenta (min);
- t_p - tempo de preparação da máquina para usinar Z peças (min);
- t_n - tempo total de reposição das ferramentas (min/peças);
- t_{n_i} - tempo de reposição da i ésimas ferramenta (min/peças);
- t_s - tempos secundários (min/peças);
- t_t - tempo total de fabricação (min/peças);
- v_a - velocidade de avanço (mm/min);
- v_i - velocidade de corte da i ésimas ferramenta (m/min);
- Z_T^* - número de peças usinadas por vida pela ferramenta-padrão;
- $Z_{T,g}^*$ - número de peças usinadas por vida pela ferramenta-padrão do g ésimos grupo;
- Z_{T_i} - número de peças usinadas por vida pela i ésimas ferramenta.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- [1] BOON, Gerard Karel - Factores físicos e humanos en la produ -
cion México, Fondo de Cultura Económica, 1970.
- [2] NORDHOFF, W. A. - Cálculos de rendimentos de taller Madrid -
Espanha, Aguilar S/A de Ediciones, 1953.
- [3] FERRARESI, DINO - Fundamentos da usinagem dos metais São Pau -
lo, Editora Edgard Blücher Ltda, 1970.
- [4] PALLEROSI, Carlos Amadeu - Formulação de um método geral de
análise das condições econômicas de usinagem Faculdade de
Engenharia de Campinas, 1973. Tese (doutoramento) - Faculda
de de Engenharia da UNICAMP.
- [5] PEDRÓS, José Maria - Cálculo de los tiempos de fabricaci3n pa -
ra máquinas herramientas Barcelona - Espanha, Editorial
Labor S/A, 1955.
- [6] BURBIDGE, John L. - The introduction of group technology Lon -
dres, Heinemann, 1975.
- [7] DALLIBOR, Ingo H. - A experiência de uma grande empresa na in -
trodução do comando numérico Revista do 2º Seminário de
Comando Numérico no Brasil (SOBRACON), pg. 41-46, abril de
1982.
- [8] WINTERSTEIN, Mário C. - Justificativa econômica do uso de co -
mando numérico Revista do 2º Seminário da SOBRACON, pg .
67-69, abril de 1982.
- [9] OKUSHIMA, Keiji & SUSUMU, Fujii - A contribution to determina -
tion of tool change interval Bulletion of Japan Society
of Mechanical Engineers, 12 (52): 910-917, 1969.

III- CURVAS DE VIDA E DESGASTE

3.1- INTRODUÇÃO

Para se aplicar um plano de trocas das ferramentas faz - se necessário ter um controle frequente das condições de usinagem , temperaturas atingidas, forças de corte, desgastes das ferramentas, acabamentos superficiais, etc. , a fim de se obter dados a respeito das vidas prováveis das ferramentas e conseqüentemente estabelecer as melhores condições de corte.

O critério de vida da ferramenta está relacionado diretamente com as características das operações de usinagem. O critério mais simples, para a determinação da perda da capacidade de corte da ferramenta é aquele que admite a destruição total da aresta cor tante.

3.2- FORMAS DOS DESGASTES

Três formas principais de desgaste ocorrem no corte dos metais.

No *desgaste por aderência*, a ferramenta e o cavaco se soldam em asperezas locais e o desgaste ocorre pela fratura das junções soldadas.

O *desgaste por abrasão* ocorre como resultado da presença de partículas duras na interface cavaco-ferramenta, a medida que o cavaco se move sobre a superfície de saída, desgastando - a porção mecânica. As partículas duras podem se originar de constituintes duros da peça ou da ferramenta. O desgaste pode também ser proveniente da *difusão intermetálica* em estado sólido entre o material da ferramenta e a peça, nas condições de temperatura elevada e contato que existe na interface cavaco-superfície de saída. A perda de certos constituintes nas reações provocadas pela difusão, enfraquece a resistência mecânica da ferramenta [1,2] .

As formas de desgaste das ferramentas dependem essencialmente do tipo da ferramenta, material usinado, das condições de cor

te e do tipo de usinagem. Podemos encontrar os seguintes tipos de desgaste [3,4,5] :

Largura de desgaste frontal (I_ℓ) - o desgaste na superfície principal de folga é o desenvolvimento de uma zona de desgaste na ferramenta, devido à ação abrasiva existente entre a parte lateral da ferramenta e a superfície "nascente" gerada na peça pela usinagem (fig. 3.1).

Este tipo de desgaste é relativamente fácil de se medir em ferramentas de aço rápido. Para as ferramentas de metal duro o desgaste I_ℓ não é tão visível quanto para as ferramentas de aço rápido.

O gráfico da largura de desgaste I_ℓ em função do tempo de usinagem (fig. 3.2), mostra três regiões: uma inicial onde a aresta de corte afiada é desfeita gerando uma zona de desgaste; uma região mais ou menos linear, onde a taxa de desgaste é relativamente constante, e finalmente, uma região de desgaste acelerado.

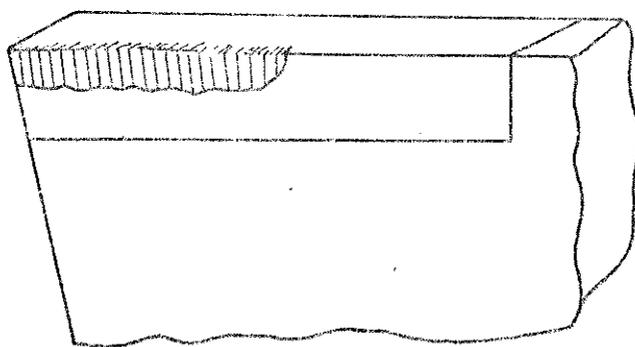


FIGURA 3.1 - Largura de desgaste frontal I_ℓ

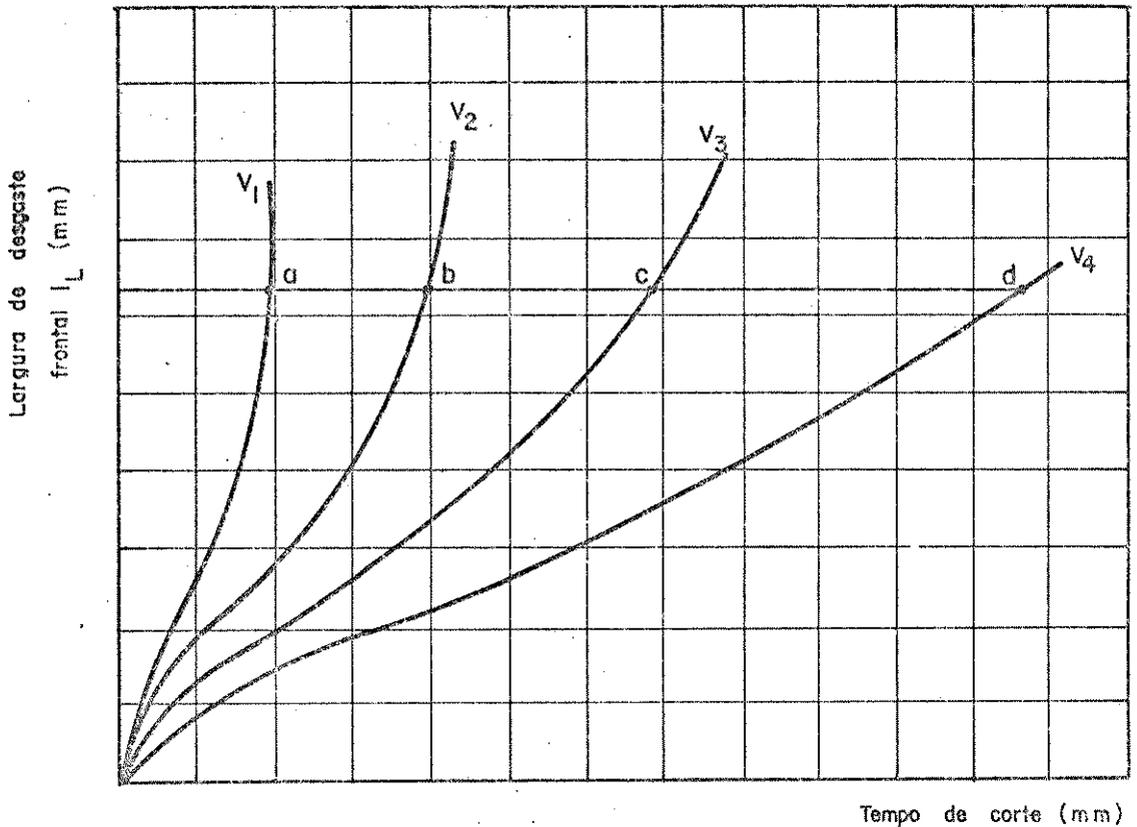


FIGURA 3.2- Curvas de desgaste da ferramenta em função do tempo de usinagem

Desgaste tipo entalhe - quando o desgaste da ferramenta progride, uma ranhura desenvolve-se na superfície principal de folga, onde o diâmetro externo da peça está sendo usinado (fig. 3.3). O volume desgastado desta ranhura pode facilmente exceder o volume de desgaste de cratera e de desgaste frontal. Entretanto, esta ranhura normalmente não afeta a vida da ferramenta.

O perfil e o comprimento do entalhe l_n , depende em grande parte da precisão de posicionamento da ferramenta. Em casos especiais, onde o desgaste de entalhe predomina sobre todos os outros fenômenos de desgaste da ferramenta, a largura do desgaste em forma de entalhe pode ser utilizada como medida do desgaste da ferramenta [5,6].

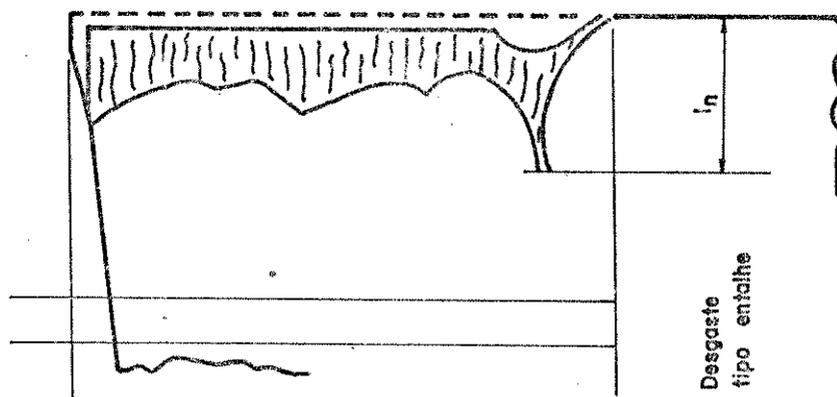


FIGURA 3.3- Desgaste do tipo entalhe

Desgaste da superfície de saída - o desgaste de cratera é o tipo de desgaste da superfície de saída que ocorre mais comumente. A principal causa do desgaste de cratera é o desgaste por difusão devido à temperatura elevada desenvolvida na interface entre o cavaco e a superfície de saída da ferramenta [2].

A cratera se forma tipicamente próxima ao ponto médio da área de contato ferramenta-cavaco, a uma distância da ponta da ferramenta correspondente à localização da máxima temperatura de corte.

A cratera é formada por processos de desgaste que são acelerados pelo amolecimento localizado do material da ferramenta. Geralmente acima de uma determinada temperatura, observa-se um forte aumento na taxa de desgaste por cratera, o que corresponde a uma temperatura na qual a remoção de átomos da ferramenta para o cavaco é acelerada devido a uma taxa de difusão rápida.

A profundidade de cratera C_p pode ser utilizada como medida de desgaste da ferramenta e um valor pré-determinado de C_p pode ser utilizado como critério de vida da ferramenta. A posição relativa da cratera, em relação à aresta de corte, tem também alguma importância. Uma cratera profunda e larga, distante da aresta de corte pode ser menos prejudicial para a ferramenta do que uma cratera estreita e menos profunda, próxima à aresta de corte.

Em casos especiais, a distância C_d do centro da cratera à aresta de corte e a largura da cratera C_ℓ podem ser medidas como informação adicional; utiliza-se a razão de craterização

$$k_o = \frac{C_p}{C_d} \quad (\text{fig. 3.4})$$

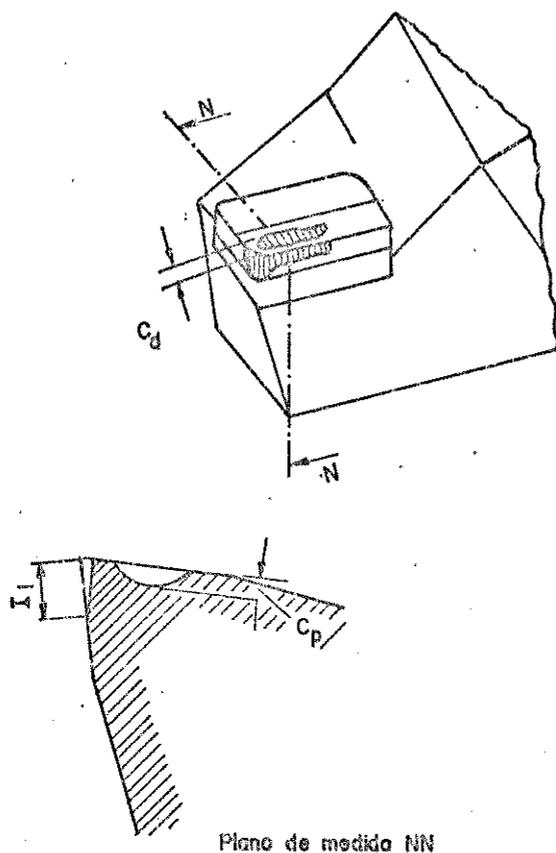


FIGURA 3.4- Desgaste da superfície de saída da ferramenta

Desgaste lateral - no torneamento, a superfície usinada é principalmente formada pela ponta da ferramenta e a aresta lateral de corte. Isto significa que qualquer modificação na ponta da ferramenta, afeta a superfície usinada. Em operações de acabamento, com pequenos avanços, uma ou mais ranhuras são frequentemente encontradas na aresta lateral de corte, após um período de usinagem. Estas ranhuras provocam um aumento da rugosidade da superfície usinada. Uma avaliação direta deste tipo de desgaste da ferramenta é difícil, mas estes efeitos podem ser detectados pela medida da rugosidade da superfície usinada. Um certo valor da rugosidade pode ser uti

lizado como critério de vida da ferramenta.

A oxidação da aresta lateral de corte frequentemente acelera a destruição da ferramenta, quando se trabalha com ferramentas de metal duro, em temperaturas elevadas, causadas por valores elevados de avanço e velocidade de corte. Em tais casos, a repentina deterioração da superfície usinada, causada pela destruição da aresta lateral de corte, é utilizada como critério de vida da ferramenta (fig. 3.5).

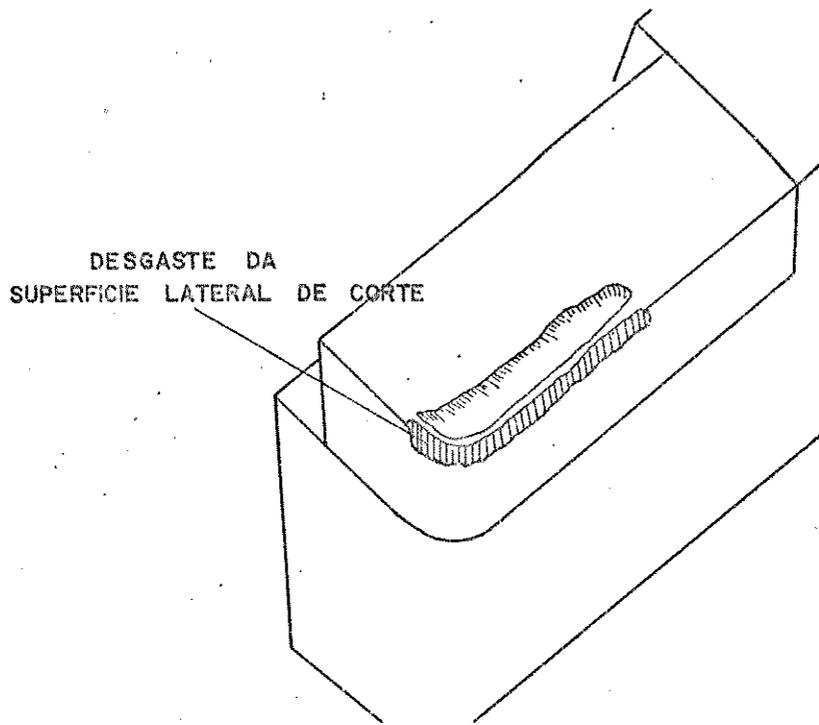


FIGURA 3.5- Desgaste da superfície lateral de corte

Deformação da ponta da ferramenta - (fig. 3.6) a ponta da ferramenta pode sofrer uma deformação permanente sob o efeito de temperaturas elevadas e das altas pressões existentes na zona de corte. Encontra-se este tipo de desgaste na usinagem de materiais que possuem elevadas resistências mecânicas ou são de baixa usinabilidade. A deformação da ponta da ferramenta causa uma modificação na geometria da mesma, que prejudica a precisão e o acabamento superficial da peça usinada e pode provocar também a destruição de ferramentas, tanto de metal duro como de aço rápido. Entretanto, a deformação da ponta da ferramenta não pode ser utilizada como critério

rio de vida, embora ela cause em muitos casos, uma mais rápida ocorrência de avarias de ferramentas de aço rápido, e torne mais severas as consequências da oxidação em ferramentas de metal duro. Pode acontecer que as condições de usinagem são tão severas que a deformação começa imediatamente após a ferramenta iniciar o trabalho. Neste caso, a vida da ferramenta torna-se muito curta.

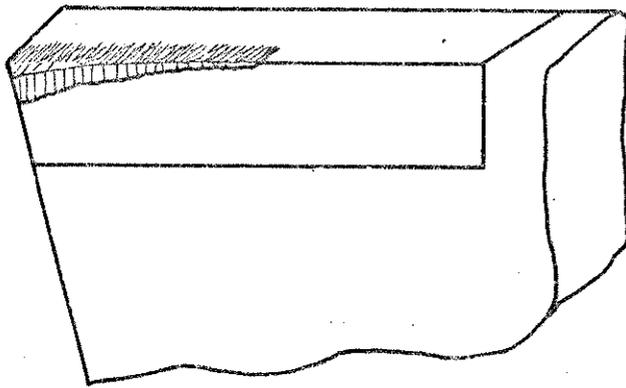


FIGURA 3.6- Deformação da ferramenta devido a condições severas de usinagem

Despreendimento de lascas - o despreendimento de lascas de finas partículas da aresta de corte e o choque térmico (que ocorre frequentemente em cortes interrompidos) são importantes em ferramentas de material quebradiço. A quantidade de lascamento e choque térmico é avaliado pela máxima largura de desgaste da aresta de corte l_{ℓ} .

Falha prematura - toda anomalia, toda espécie de falhas imprevisíveis da ferramenta e grandes deformações, as quais causam a inutilização imediata da ferramenta, podem ser causadas por um

ponto duro no material da peça ou por um acidente durante a operação na máquina-ferramenta. Uma ferramenta pode quebrar, lascar fortemente, deformar e sofrer uma falha imprevisível.

Ruptura por quebra da ponta - esta falha ocorre devido à elevada temperatura desenvolvida na região de corte (fig. 3.7).

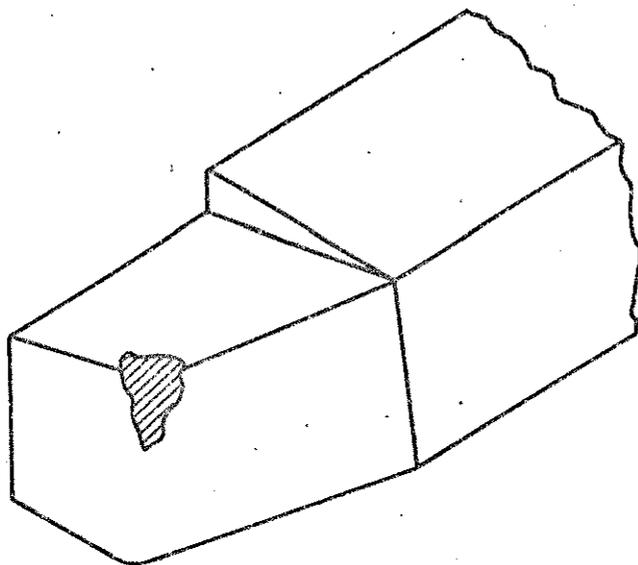


FIGURA 3.7- Ruptura da ponta da ferramenta

3.3- VIDA DA FERRAMENTA

A vida da ferramenta é um parâmetro muito importante no corte dos metais. Em um sentido mais geral, a vida da ferramenta é determinada pelo ponto no qual a ferramenta não produz mais peças economicamente satisfatórias. Entretanto, em geral, se utilizam critérios mais específicos de vida da ferramenta. Um destes critérios é a destruição completa da ferramenta quando esta pára de cortar. De maneira mais típica, a vida da ferramenta é frequentemente definida em termos de um comprimento de desgaste médio ou máximo permis

sível.

Embora menos frequente, a vida da ferramenta pode também basear-se na piora do acabamento superficial abaixo de algum limite especificado, ou no aumento da força de corte acima de um determinado padrão.

A vida da ferramenta depende do seu material, das propriedades da peça obra, dos parâmetros de usinagem e de outros fatores, tais como o fluído de corte. A facilidade com que um material pode ser usinado está relacionada com a *usinabilidade*. Um material possui boa usinabilidade se o desgaste da ferramenta é pequeno, a vida da ferramenta é longa, as forças de corte são baixas, e se o acabamento superficial é aceitável. Existem muitos critérios para avaliar esta propriedade do material, não havendo testes padrões para medi-la [1, 7] .

Portanto, denomina-se vida da ferramenta o tempo que a mesma trabalha efetivamente (deduzido os tempos passivos), até perder a sua capacidade de corte, dentro de um critério previamente estabelecido. Atingindo esse tempo, a ferramenta deve ser afiada ou substituída. Logo, a vida da ferramenta é o tempo entre duas afiações sucessivas necessárias, no qual ela trabalha efetivamente [7]

Os critérios de troca da ferramenta podem, portanto, basearem-se nos seguintes fatos:

- o desgaste da superfície de saída da ferramenta atinge proporções tão elevadas, que se receia uma quebra do gume cortante;
- os desgastes chegam a valores cuja temperatura do gume cortante (proveniente em grande parte do atrito da ferramenta com o cavaco e a peça) se aproxima da temperatura na qual a ferramenta perde o fio de corte;
- devido ao desgaste da superfície de folga da ferramenta, não é mais possível manter as tolerâncias dimensionais exigidas na peça;
- o acabamento superficial da peça usinada não é mais satisfatório;
- o aumento da força de usinagem proveniente dos elevados desgastes da ferramenta interfere no funcionamento da máquina.

Para a execução das curvas de vida, deve - se geralmente construir em primeiro lugar, gráficos auxiliares, que nos dão os desgastes da ferramenta para diferentes velocidades e tempos de trabalho, em determinadas condições do par ferramenta-peça. As medidas do desgaste frontal em relação ao tempo para várias velocidades de corte fornecerão as curvas da figura 3.2. Curvas análogas serão obtidas medindo-se os desgastes de cratera, rugosidade superficial, etc. De posse destas curvas, pode-se fixar o valor de desgaste (por exemplo $I_{\ell} = 0,3 \text{ mm}$) que definirá a vida da ferramenta, nas condições de usinagem desejadas. A fixação de $I_{\ell} = 0,3 \text{ mm}$, por exemplo, nos informa que o desgaste chegando a esse valor, a ferramenta deve ser substituída, para evitar uma possível quebra ou para manter as condições de acabamento fixadas. Obtêm-se assim na figura 3.2 para $I_{\ell} = 0,3 \text{ mm}$ os pontos *a*, *b*, *c* e *d* das curvas de velocidades, os quais fornecerão os tempos de trabalho, ou sejam as vidas da ferramenta para as velocidades v_1, v_2, v_3 e v_4 [7].

A representação em papel dilogarítmico da função $T=f(v)$ - curva da vida da ferramenta - se aproxima de uma reta (fig. 3.8). Neste caso, tem-se a expressão

$$T \cdot v^x = K \quad (\text{equação de Taylor}) \quad (3.1)$$

onde

T = vida da ferramenta em min ;

x = coeficiente angular da reta ($x = -k$) ;

K = vida da ferramenta para uma velocidade de corte de 1 m/min.

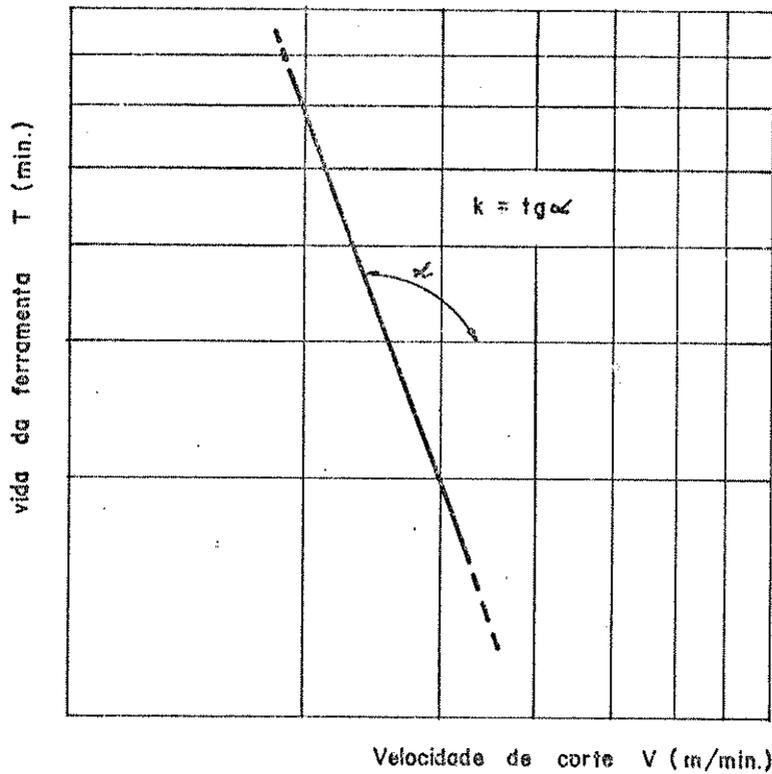


FIGURA 3.8- Representação da vida da ferramenta, segundo o modelo de Taylor

Depois das pesquisas de Taylor, diversos estudiosos propuseram vários modelos matemáticos relativos à vida da ferramenta, dentre os quais tem-se [8]

- Woxen (1932)
$$v = \left(\frac{T'}{T} \right)^n \cdot c (q + q_0) \quad (3.2)$$

- Gilbert (1950)
$$T \cdot v^x \cdot a^y \cdot p^z = Q \quad (3.3)$$

- Kronenberg (1954)
$$v = \left(\frac{T'}{T} \right)^n \cdot c \frac{(p/a)^k}{(a \cdot p)^l} \quad (3.4)$$

- Colding (1958/60) a)
$$k + ax + bx^2 + cy + dy^2 + lz^3 - Z + fxy + gyZ + hxZ = 0 \quad (3.5)$$

ou

b)
$$k + ax + cy - Z + hxZ = 0$$

com $x = \log a$; $y = \log v$; $Z = \log T$

- Matthijsen (1965) $v(e + T) = c$ (3.6)

- Kronenberg (1968) $(v + k) \cdot T^n = c$ (3.7)

- Hirsch (1969) $v \cdot T^n = a^{-\ell} \cdot p^{-b} \cdot v \cdot K^h \cdot c$ (3.8)

- König/Depiereux (1969) $T = \ell \left(-\frac{kv}{m} \cdot v^m - \frac{ia}{n} \cdot a^{n+c} \right)$ (3.9)

Na fig. 3.9, tem-se a representação de alguns destes modelos.

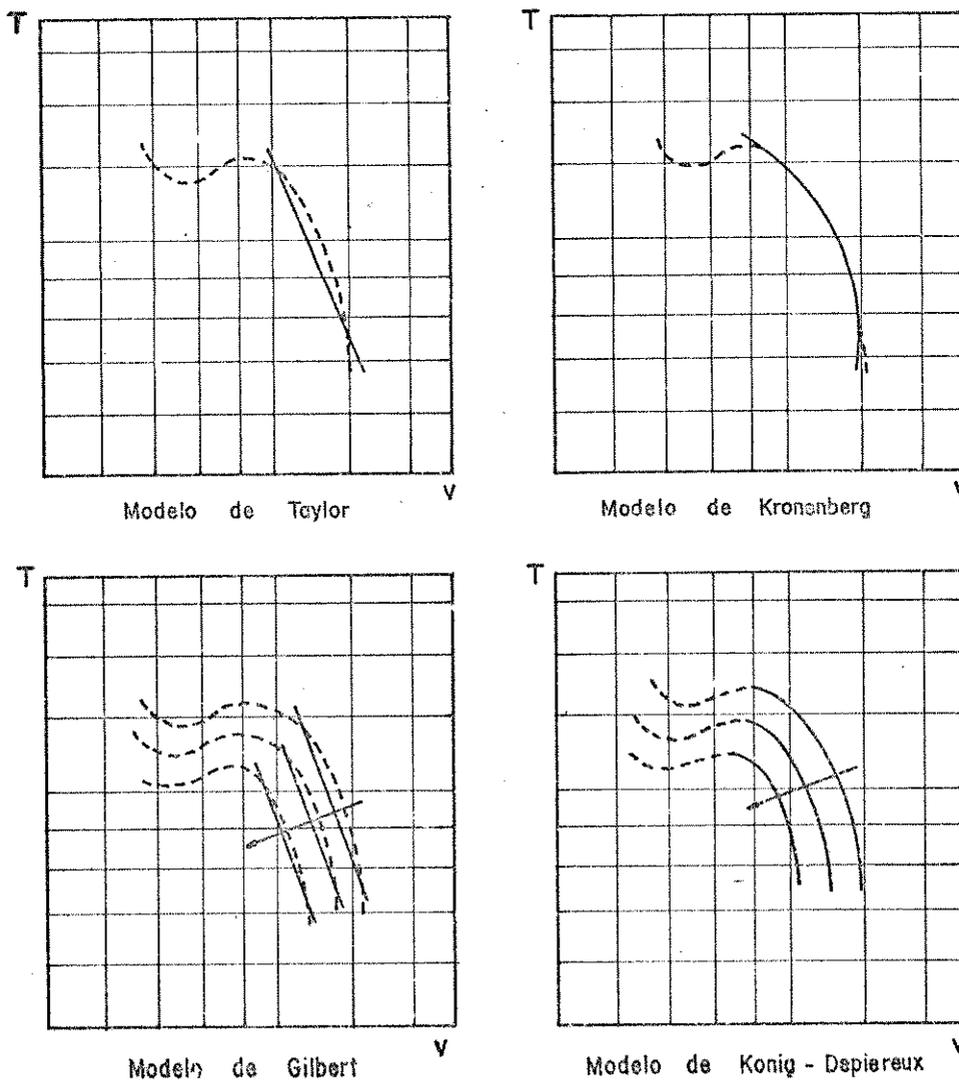


FIGURA 3.9- Representação de alguns modelos matemáticos da vida da ferramenta

A equação de Taylor por ser a mais simples, é a de maior praticidade, pois a obtenção das suas constantes não exige tantos ensaios de usinagem quanto às demais.

SIMBOLOGIA

- a - avanço da ferramenta (mm/v) ;
- K - vida da ferramenta para uma velocidade de corte de 1 m/min ;
- T - vida da ferramenta (min) ;
- v - velocidade de corte (m/min) ;
- x - expoente da velocidade na equação de Taylor para a vida da ferramenta

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- [1] DIETER, George E. - Metalurgia mecânica, 2^a ed. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1981.
- [2] LOLADZE, T. N. - Abhängigkeit des Werkzeugverschleisses von den Schnittbedingungen bei spanabhebender Bearbeitung Industrie Anzeiger, 89 (58): 27-32, 1967.
- [3] BRIERLEY, Robert G. & SIEKMANN, H. J. - Machining principles and cost control Nova York, Mc Graw Hill Book Company, 1964.
- [4] ROUMESY, B. - Détermination des lois d'usure des outils de coupe Machine-outil, nº 319, pg. 197-203, maio 1975.
- [5] MIC - Determinação das características de usinagem dos materiais e ferramentas de procedência nacional, na operação de torneamento Centro de Tecnologia da UNICAMP, Campinas, 1976
- [6] COOK, N. H. & LANG, A. B. - Criticism of radioactive toll-life testing Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME, pg. 381-387, novembro 1963.
- [7] FERRARESI, Dino - Fundamentos da usinagem dos metais São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 1970.
- [8] ESSEL, K. & HANSEL, W. - Analyse der Standzeitgleichungen Industrie Anzeiger, 94 (5): 92-93, 1972.

IV- EQUIVALÊNCIA NAS OPERAÇÕES DE USINAGEM4.1- GENERALIDADES

Nos trabalhos de torneamento constata - se frequentemente que, devido ao fato das peças terem diâmetros variáveis e a maioria das máquinas-ferramenta serem de variação discreta de velocidades, há necessidade para o estudo das condições econômicas de usinagem, da determinação da velocidade e do avanço equivalentes.

Define-se *velocidade de corte equivalente* numa operação de usinagem com velocidade de corte variável, a velocidade de corte constante que origina no mesmo tempo de usinagem, o mesmo desgaste da ferramenta, quando obtido com velocidade de corte variável, nas mesmas condições de avanço, profundidade de corte, geometria efetiva da ferramenta, fluído de corte, para o par ferramenta - peça considerado [1].

Analiticamente é dada pela expressão

$$v_e = \sqrt[x]{\frac{1}{t_c} \int_0^{t_c} v^x \cdot dt} \quad , \quad (4.1)$$

a qual é aplicável somente dentro do campo de validade da fórmula de Taylor $T \cdot v^x = K$, onde x e K são constantes para um determinado par ferramenta - peça e condições de corte pré-estabelecidas.

Tal expressão foi verificada experimentalmente por Kazinczy e determinada analiticamente por Armarego e Brown. Estes dois pesquisadores considera para sua dedução analítica, que as curvas de desgaste da ferramenta, em função do tempo de usinagem, se assemelhavam a segmentos de retas. Posteriormente Ferraresi demonstrou esta formula para um caso mais geral, admitindo as curvas de vida paralelas, para diferentes valores do desgaste da ferramenta [1, 2, 3].

4.2- DIÂMETRO - EQUIVALENTE

Considerando-se uma operação de usinagem com velocidade de corte variável e se a peça for usinada com a velocidade de corte equivalente v_e determinada para a operação considerada, originaria no mesmo tempo de corte, o mesmo valor do desgaste da ferramenta. O diâmetro equivalente correspondente a esta velocidade é definido pela equação (fig. 4.1)

$$v_e = \frac{\pi \cdot d_e \cdot n}{1000} \quad (4.2)$$

onde a rotação n é constante e o diâmetro de corte equivalente é dado por

$$d_e = \frac{1000}{\pi \cdot n} \sqrt[3]{\frac{1}{t_c} \int_0^{t_c} v^x \cdot d_t} \quad (4.3)$$

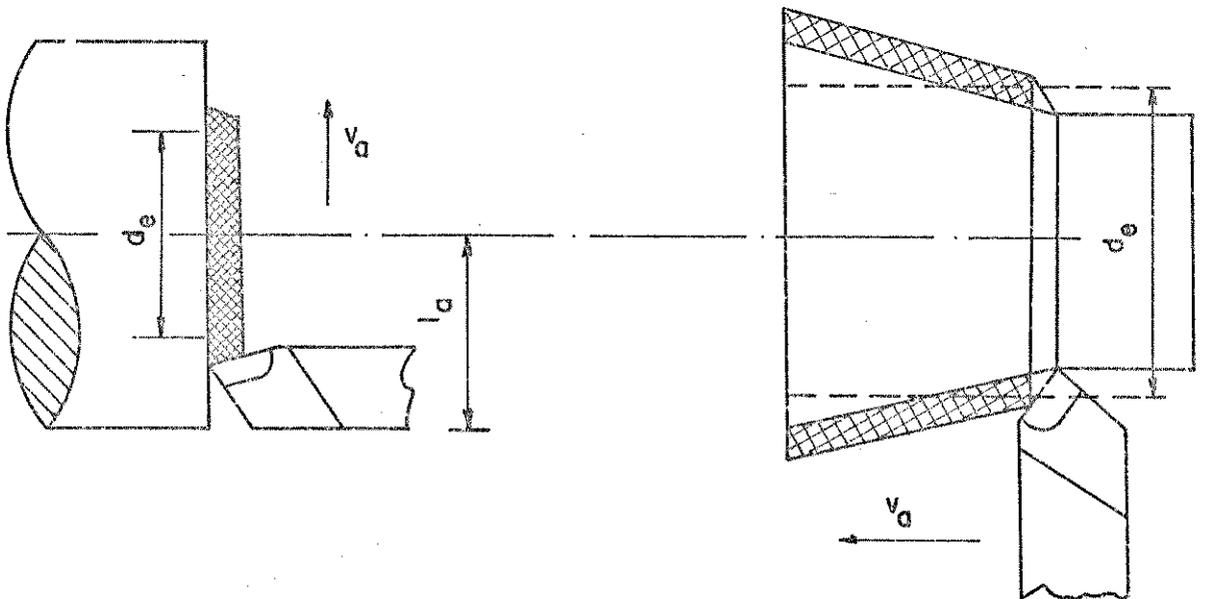


FIGURA 4.1- Diâmetro - equivalente para operações de corte com velocidade de corte variável

De acordo com as formulações realizadas por Ferraresi, tem-se o diâmetro - equivalente para diferentes operações de corte, quais sejam [1]

- Faceamento (fig. 4.2)

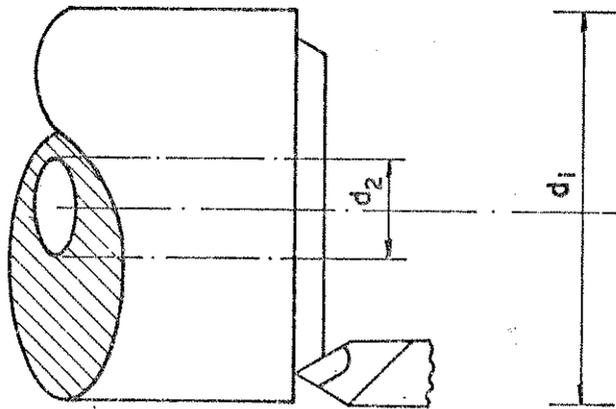


FIGURA 4.2- Faceamento de uma peça onde a mesma ferramenta trabalha em diferentes diâmetros

$$d_e = \left\{ d_1 \cdot x \left[\frac{1 - \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^{x+1}}{(x+1) \left(1 - \frac{d_2}{d_1} \right)} \right] \right\}^{1/x} \quad (4.4)$$

- Torneamento cônico (fig. 4.3)

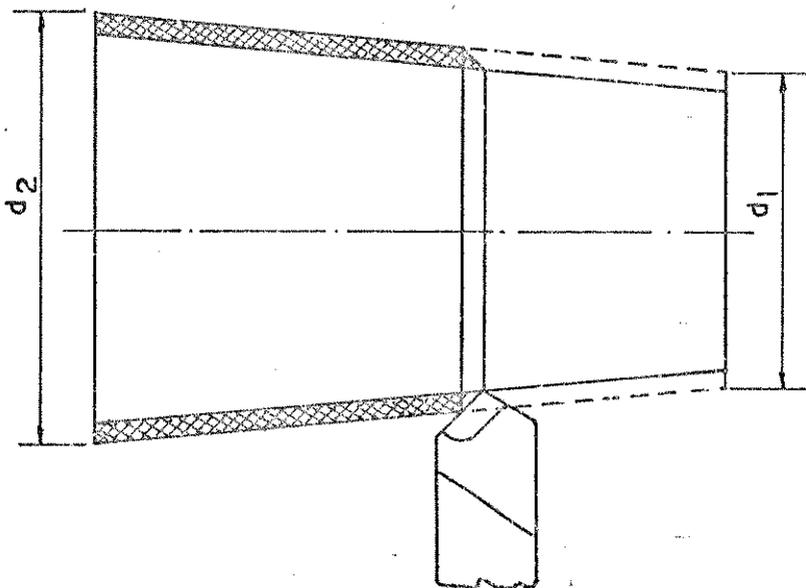


FIGURA 4.3- Torneamento cônico de uma peça

$$d_e = d_2 \left[\frac{1 - \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^{x+1}}{(x+1) \left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right)} \right]^{1/x} \quad (4.5)$$

- Torneamento cilíndrico em diferentes diâmetros (fig. 4.4)

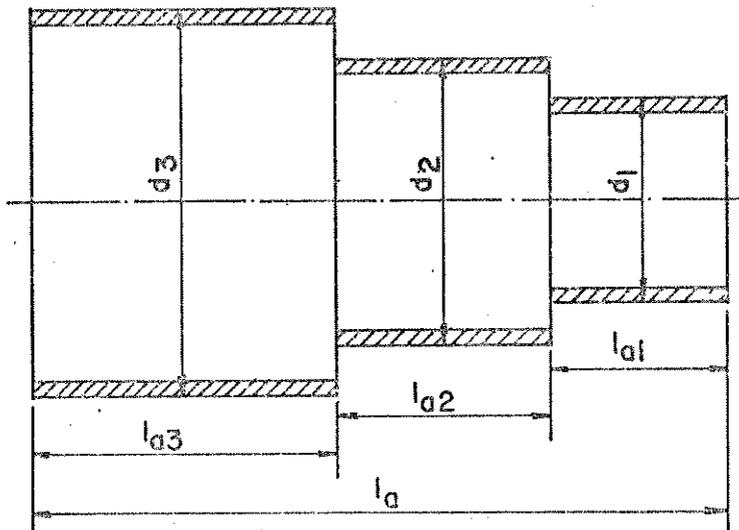


FIGURA 4.4- Torneamento cilíndrico de uma peça com vários diâmetros

$$d_e = \sqrt[x]{\frac{1}{l_a} \sum_{i=1}^m d_i^x \cdot l_{a_i}} \quad (4.6)$$

4.3- CONSIDERAÇÕES EM TORNOS COPIADORES

Nos tornos copiadores, o percurso l_a da ferramenta nem sempre coincide com o percurso l_{a_c} do carro onde está fixa a ferramenta, sendo dependente do ângulo de inclinação do copiador δ . (fig. 4.5) [4]

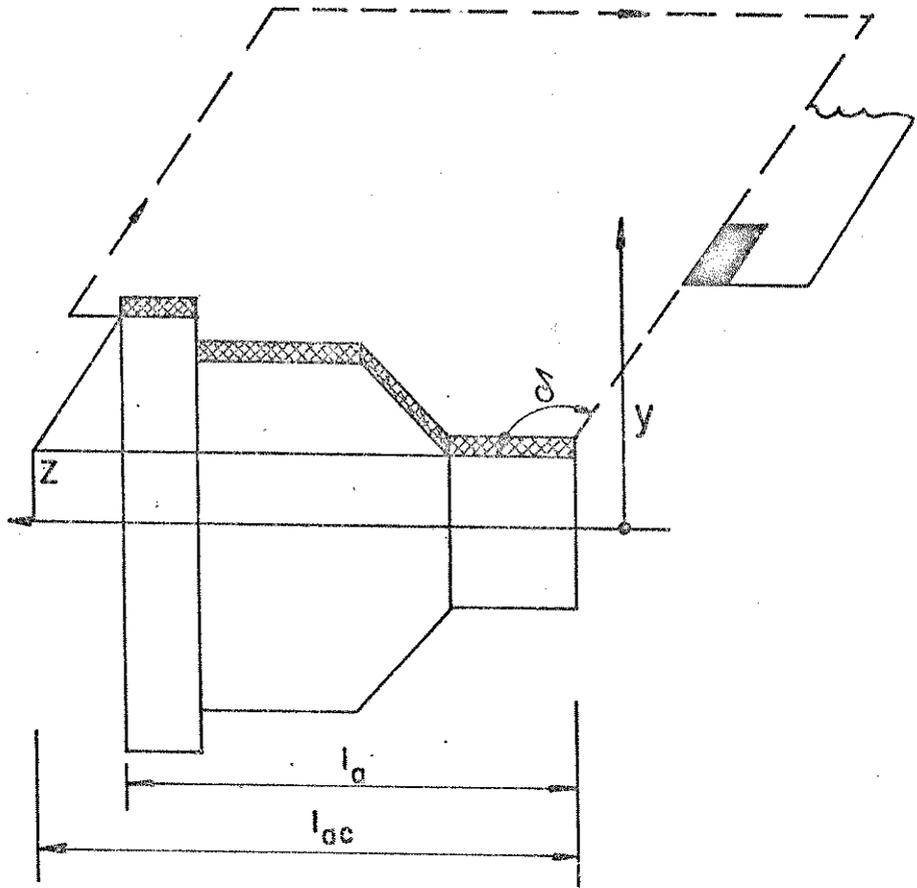


FIGURA 4.5- Relação entre o percurso de avanço do carro e o percurso de avanço da ferramenta

Partindo-se de um determinado perfil de uma peça e considerando-se um elemento da mesma tem-se (fig. 4.6)

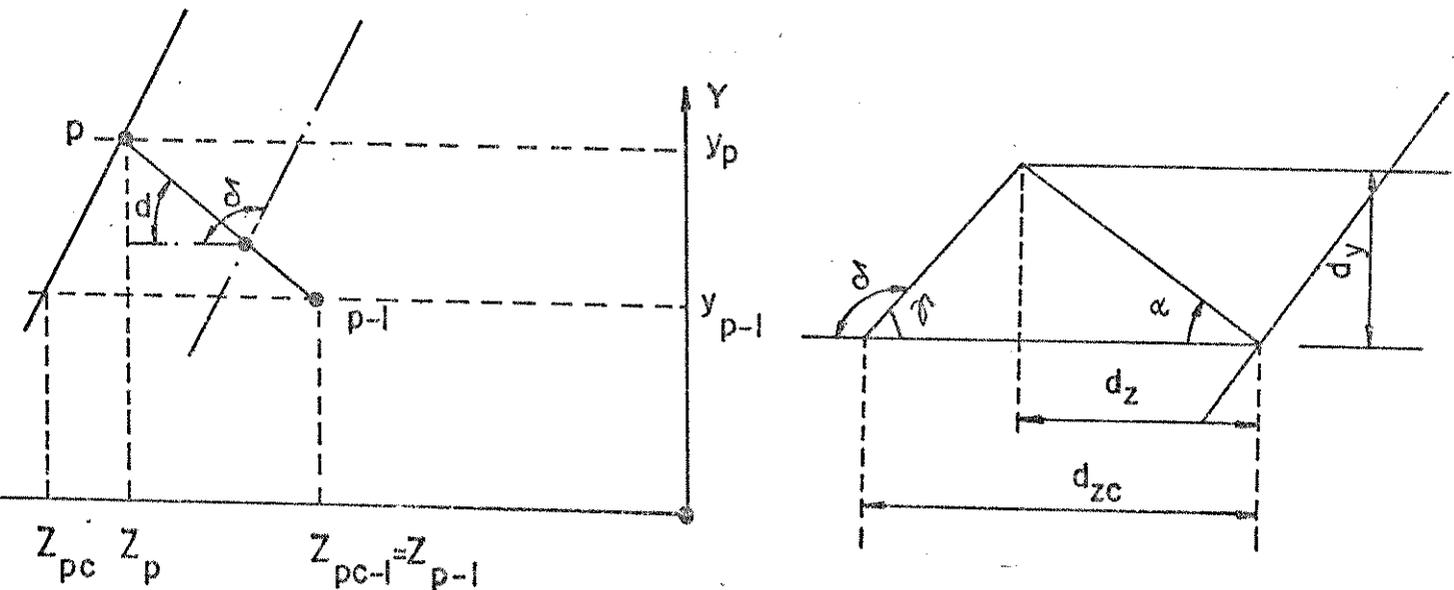


FIGURA 4.6- Perfil de uma peça contendo os percursos de avanço do carro e da ferramenta

$$\cotg \gamma = \frac{d_{z_c} - d_z}{d_y}$$

Sendo $\delta = 180 - \gamma$ resulta

$$- \cotg \delta = \frac{d_{z_c} - d_z}{d_y}$$

$$d_{z_c} = d_z - d_y \cdot \cotg \delta \quad (4.7)$$

Integrando-se para o perfil usinado p obtêm-se

$$z_{p_c} - z_{p_{c-1}} = (z_p - z_{p-1}) - \cotg \delta (y_p - y_{p-1})$$

como

$$z_{p_c} - z_{p_{c-1}} = l_{a_c}$$

e

$$z_p - z_{p-1} = l_a,$$

a relação entre o percurso de avanço do carro e o percurso de avanço da ferramenta será

$$l_{a_c} = l_a - \cotg \delta (y_p - y_{p-1}) \quad (4.8)$$

Da fig. 4.6 nota-se também que

$$tg \alpha = \frac{d_y}{d_z} = \frac{y_p - y_{p-1}}{z_p - z_{p-1}}$$

$$y_p - y_{p-1} = l_a \cdot tg \alpha \tag{4.9}$$

e substituindo-se (4.9) em (4.8), tem-se

$$l_{a_c} = (1 - cotg \delta \cdot tg \alpha) \cdot l_a \tag{4.10}$$

4.3.1- RELAÇÃO ENTRE A VELOCIDADE DE AVANÇO DO CARRO PORTA FERRAMENTAS E A VELOCIDADE DE AVANÇO DA FERRAMENTA

Na fig. 4.7 tem-se as diferentes velocidades de avanço.

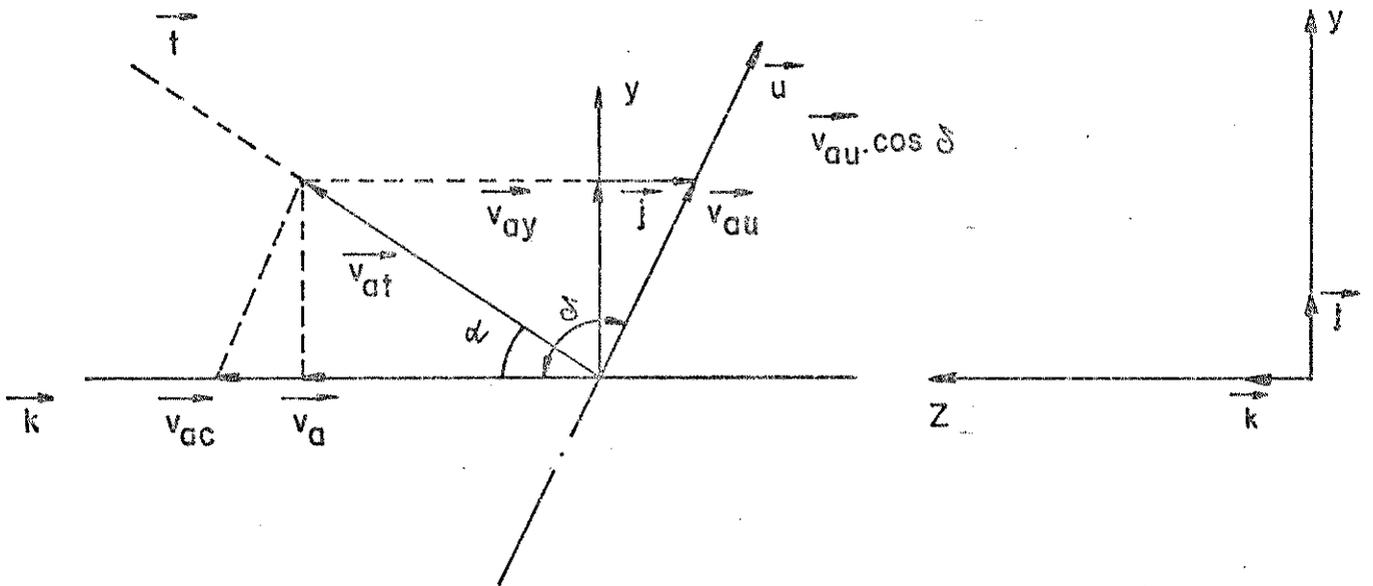


FIGURA 4.7- Direções e sentidos das velocidades de avanço

A partir desta figura, obtêm-se

$$\vec{t} = \text{sen } \alpha \cdot \vec{j} + \text{cos } \alpha \cdot \vec{k}$$

$$\vec{u} = \text{sen } \delta \cdot \vec{j} + \text{cos } \delta \cdot \vec{k}$$

$$\vec{v}_{a_t} = \vec{v}_{a_c} + \vec{v}_{a_u}$$

$$\vec{v}_{a_t} = v_{a_t} \cdot \text{sen } \alpha \cdot \vec{j} + v_{a_t} \cdot \text{cos } \alpha \cdot \vec{k}$$

$$\vec{v}_{a_c} = v_{a_c} \cdot \vec{k}$$

$$\vec{v}_{a_u} = v_{a_u} \cdot \text{sen } \delta \cdot \vec{j} + v_{a_u} \cdot \text{cos } \delta \cdot \vec{k}$$

portanto:

$$v_{a_t} \cdot \text{sen } \alpha \cdot \vec{j} + v_{a_t} \cdot \text{cos } \alpha \cdot \vec{k} = v_{a_c} \cdot \vec{k} + v_{a_u} \cdot \text{sen } \delta \cdot \vec{j} + v_{a_u} \cdot \text{cos } \delta \cdot \vec{k}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{a_t} \cdot \text{cos } \alpha = v_{a_c} + v_{a_u} \cdot \text{cos } \delta \\ v_{a_t} \cdot \text{sen } \alpha = v_{a_u} \cdot \text{sen } \delta \end{array} \right.$$

Consequentemente

$$v_{a_u} = \frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } (\delta - \alpha)} \cdot v_{a_c} \quad (4.11)$$

$$v_{a_t} = \frac{\text{sen } \delta}{\text{sen } (\delta - \alpha)} \cdot v_{a_c} \quad (4.12)$$

como

$$v_{ay} = v_{at} \cdot \text{sen } \alpha$$

então

$$v_{ay} = \frac{\text{sen } \delta \cdot \text{sen } \alpha}{\text{sen } (\delta - \alpha)} \cdot v_{ac} \quad (4.13)$$

Para a velocidade principal de avanço da ferramenta v_a , tem-se

$$v_a = v_{ac} + v_{au} \cdot \cos \delta = v_{at} \cdot \cos \alpha$$

$$v_a = \frac{\text{sen } \delta \cdot \cos \alpha}{\text{sen } (\delta - \alpha)} \cdot v_{ac}$$

ou seja

$$v_a = \frac{v_{ac}}{1 - \cotg \delta \cdot \text{tg } \alpha} \quad (4.14)$$

4.3.2- RELAÇÕES ENTRE OS AVANÇOS DA FERRAMENTA E DO CARRO

Analogamente às velocidades de avanço, tem-se as seguintes relações

$$a_t = \frac{\text{sen } \delta}{\text{sen } (\delta - \alpha)} \cdot a_c \quad (4.15)$$

$$a_u = \frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } (\delta - \alpha)} \cdot a_c \quad (4.16)$$

$$a_y = \frac{\text{sen } \delta \cdot \text{sen } \alpha}{\text{sen } (\delta - \alpha)} \cdot a_c \quad (4.17)$$

$$a = \frac{a_c}{(1 - \text{cotg } \delta \cdot \text{tg } \alpha)} \quad (4.18)$$

4.3.3- AVANÇO EQUIVALENTE

Define-se avanço equivalente numa operação de usinagem com avanço variável, o avanço de corte constante que origina no mesmo tempo de usinagem, o mesmo desgaste da ferramenta quando obtido com avanço variável, nas mesmas condições de velocidade de corte, profundidade de corte, geometria efetiva da ferramenta, fluído de corte para o par ferramenta-peça. Da mesma forma que para a velocidade de corte equivalente, tem-se para o avanço equivalente da ferramenta a expressão

$$a_{t_e} = \sqrt[3]{\frac{1}{t_c} \int_0^{t_c} a_t^y dt} \quad (4.19)$$

que é obtida a partir da equação

$$T \cdot a_t^y = W \quad (4.20)$$

A comprovação da equação (4.19) encontra-se no anexo (pág. 131)

4.3.4- EMPREGO DA TEORIA DA EQUIVALÊNCIA DE USINAGEM

A utilização do avanço equivalente é feita quando se usina uma peça com avanços da ferramenta variáveis. Quando as velocidades de corte também são variáveis (caso típico de tornos copiadores, onde tanto os avanços como as velocidades podem ser variáveis)

veis - peças escalonadas) (fig. 4.8), deve-se calcular tanto o avanço como a velocidade de corte equivalentes, para se determinar a vida da ferramenta através da curva $T - v$.

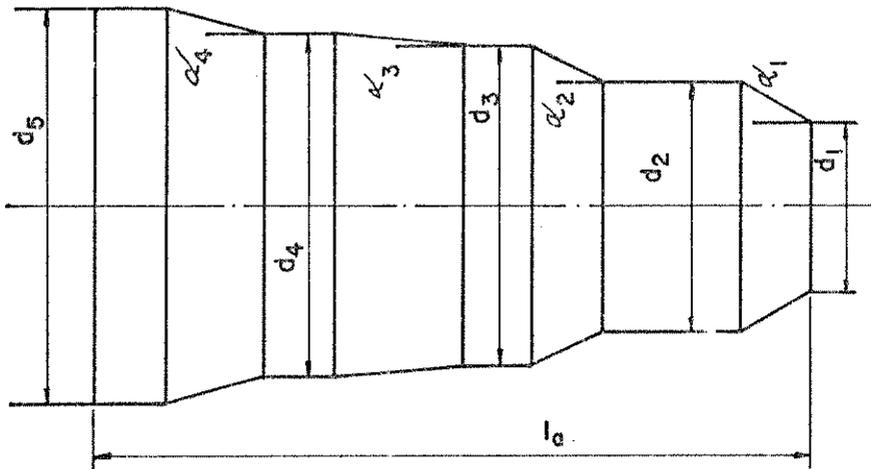


FIGURA 4.8- Torneamento de uma peça com velocidades de corte e avanços da ferramenta variáveis

Nestes casos, o seguinte procedimento deve ser seguido (vide Anexo I):

- a- determinar o avanço da ferramenta que deve ser aplicado na peça devido às restrições de acabamento superficial;
- b- calcular os avanços que devem ser dados no carro para cada trecho usinado através da expressão 4.15, a fim de se obter em cada trecho o avanço da ferramenta especificado em a ; os avanços do carro em cada trecho variarão de acordo com os diferentes ângulos de rampa da peça;
- c- como é praticamente impossível nos tornos copiadores mudar o avanço do carro em cada perfil da peça, deve-se escolher o menor dos avanços do carro calculados em b para se ter com certeza o acabamento superficial requerido na peça;
- d- através do avanço do carro escolhido em c, calcular pela equação(4.15), os novos avanços da ferramenta para cada trecho;
- e- com os avanços da ferramenta calculados em d, determinar com a equação(4.19) o avanço equivalente

da ferramenta;

- f- determinar a velocidade de corte equivalente ,
conforme definido no item 4.1;
- g- partindo-se dos valores calculados do avanço e
velocidade de corte equivalentes, determinar a
vida da ferramenta através da curva T-v.

SIMBOLOGIA

- a - avanço da ferramenta na direção principal de avanço (mm/volta);
- a_c - avanço do carro na direção principal de avanço (mm/volta);
- α - ângulo de rampa da peça;
- a_t - avanço da ferramenta (mm/volta);
- a_{t_e} - avanço equivalente da ferramenta (mm/volta);
- d_e - diâmetro-equivalente (mm);
- δ - ângulo de inclinação do copiador;
- l_a - percurso de avanço da ferramenta (mm);
- l_{a_c} - percurso de avanço do carro (mm);
- v_a - velocidade de avanço da ferramenta na direção principal de avanço (mm/min);
- v_{a_c} - velocidade de avanço do carro na direção principal de avanço (mm/min);
- v_e - velocidade de corte equivalente (m/min);
- y - expoente do avanço na equação de Taylor;
- w - vida da ferramenta para um avanço da ferramenta $a_t = 1$ mm/v.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- [1] FERRARESI, Dino - Considerações sobre equivalência nas operações de usinagem. Apostila do curso de pós-graduação "Tópicos Especiais da Usinagem dos Metais" FEC, UNICAMP, 1980.
- [2] ARMAREGO, E. J. A & BROWN, R. H. - The machining of metals Englewood Cliffs. Prentice Hall Inc., 1969.
- [3] KAZINCZY, M. - Tool life criterium of single point tools when cutting with NC Machine Tools Mechanical Engineering (Hungria), 1 (3): 342-347, 1971.
- [4] PALLEROSI, Carlos Amadeu - Formulação de um método geral de análise das condições econômicas de usinagem Faculdade de Engenharia de Campinas, 1973. Tese (doutoramento) - Faculdade de Engenharia da UNICAMP.

V- ESTUDO DE CUSTOS DE FABRICAÇÃO APLICADOS À USINAGEM5.1- CUSTOS DE PRODUÇÃO

Os custos envolvidos nas operações de usinagem podem ser divididos em cinco parcelas, cuja soma resulta no custo total de confecção, por peça, dada por [1,2,3]

$$C_t = C_{t_c} + C_{t_i} + C_{t_p} + C_{t_n} + C_{f_e} \quad (5.1)$$

onde

C_t = custo total de confecção, por peça;

C_{t_c} = custo devido ao tempo de corte, por peça;

C_{t_i} = custo devido aos tempos improdutivos ($t_s + t_a$), por peça, ou seja, aqueles que não participam diretamente do processo de remoção de cavacos;

C_{t_p} = custo devido ao tempo de preparação, por peça;

C_{t_n} = custo de reposição das ferramentas, por peça;

C_{f_e} = custo das ferramentas, por peça.

Custo do tempo de corte (C_{t_c}) - o custo da máquina por hora pode ser dado por [1,4]

$$C_m = \frac{1}{H} \left[V_0 - \frac{k (V_0 - V_R)}{n} \right] \cdot t + T_{C_{f_e}} \quad (5.2)$$

onde

C_m = custo da máquina por hora (Cr\$/h);

- H = número de horas de trabalho por ano;
 V_0 = valor atual da máquina (Cr\$);
 k = idade da máquina em anos;
 V_R = valor residual da máquina (Cr\$);
 n = vida prevista para a máquina (anos);
 t = taxa mínima de atratividade;
 T_{C_f} = taxa dos custos fixos por hora (equação 1.19).

O custo do tempo de corte será, portanto

$$C_{t_c} = (C_m + S) \cdot t_c ,$$

ou

$$C_{t_c} = C_2 \cdot t_c , \tag{5.3}$$

onde S é o salário por hora do operador da máquina (inclusive sobre taxas)

O custo de preparação da máquina, por peça, é dado por

$$C_{t_p} = C_3 \cdot \frac{t_p}{Z} , \tag{5.4}$$

onde

t_p = tempo de preparação da máquina (horas);

C_3 = salário do preparador + custo da máquina por hora (Cr\$/hora);

Z = número de peças do lote.

Custo de reposição das ferramentas - quando as ferramentas

são trocadas individualmente, o custo de reposição das mesmas é dado por [3]

$$C_{t_h} = C_2 \cdot \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{z_{T_i}} - \frac{1}{z} \right) \cdot t_{b_i} \quad (5.5)$$

Para a troca das ferramentas em um só grupo, tem-se

$$C_{t_h} = C_2 \left(\frac{1}{z_{T^*}} - \frac{1}{z} \right) \cdot t_b \quad (5.6)$$

Se as trocas são efetuadas em grupos selecionados, tem-se

$$C_{t_h} = C_2 \cdot \sum_{g=1}^G \left(\frac{1}{z_{T,g}^*} - \frac{1}{z} \right) \cdot t_{b,g} \quad (5.7)$$

(vide equações 2.10, 2.11 e 2.12)

Custo das ferramentas, por peça - para o caso em que se tem ferramentas de aço rápido ou ferramentas com pastilhas soldadas, tem-se [1, 5]

$$C_{b_e} = \frac{1}{z_T} \cdot C_{b_T} \quad (5.8)$$

e

$$C_{b_T} = v_0 - \frac{n_b' (V_{0_b} - V_{R_b})}{n_b} + c_{a_b} \cdot t_{b_a} \quad (5.9)$$

onde

$C_{\delta e}$ = custo da ferramenta por peça (Cr\$/peça);

$C_{\delta T}$ = custo da ferramenta por vida (Cr\$/vida);

n_{δ}' = número de afiações já efetuadas pela ferramenta;

n_{δ} = número de vidas da ferramenta (número de afiações possíveis da ferramenta);

$V_{0\delta}$ = valor atual da ferramenta (Cr\$);

$V_{R\delta}$ = valor residual da ferramenta (Cr\$);

$C_{a\delta}$ = custo de afiação da ferramenta por minuto (Cr\$/min);

$t_{\delta a}$ = tempo de afiação da ferramenta (min).

No caso de ferramentas com pastilhas intercambiáveis, o custo pode ser expresso por

$$C_{\delta e} = \frac{1}{Z_T} \left[V_{0\delta} - \frac{n_{\delta p}' (V_{0\delta} - V_{R\delta})}{n_{\delta p}} + \frac{C_{\delta}}{n_{\delta}} \right] \quad (5.10)$$

onde

$n_{\delta p}'$ = tempo de utilização do porta-ferramenta, expresso em número de fios de corte da ferramenta;

$n_{\delta p}$ = vida média do porta-ferramentas em quantidade de fios de corte;

C_{δ} = custo da pastilha (Cr\$);

n_{δ} = número de fios de corte da pastilha.

Neste caso, portanto, o custo da ferramenta por vida é

$$C_{\delta T} = V_0 - \frac{n_{\delta p} (V_0 - V_R)}{n_{\delta p}} + \frac{C_{\delta}}{n_{\delta}}$$

Logo, o custo total de confecção por peça, C_t , será

$$C_t = C_2 \sum_{i=1}^m t_{c_i} + C_{t_i} + C_{t_p} + C_2 \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{Z_{T_i}} - \frac{1}{Z} \right) \cdot t_{\delta_i} + C_{\delta T} \sum_{i=1}^m \frac{1}{Z_{T_i}} \quad (5.11)$$

Partindo-se das relações

$$T = Z_T \cdot t_c$$

e

$$T \cdot v^x \cdot a_t^y \cdot p^z = Q \quad (\text{eq. 3.3}),$$

tem-se

$$Z_T = \frac{Q}{v^x \cdot a_t^y \cdot p^z \cdot t_c} = \frac{1000 \cdot Q}{v^{x-1} \cdot a_t^{y-1} \cdot p^z \cdot l_a \cdot \pi \cdot d} \quad (5.12)$$

Substituindo-se as expressões (5.12) e (2.3) na equação (5.11) resulta:

$$C_t = C_2 \sum_{i=1}^m \frac{l_{a_i} \cdot \pi \cdot d_i}{60 \cdot 1000 \cdot a_{t_i} \cdot v_i} + C_{t_i} + C_{t_p} + C_2 \sum_{i=1}^m \left(\frac{\pi \cdot d_i \cdot l_{a_i} \cdot v_i^{x_i-1} \cdot a_{t_i}^{y_i-1} \cdot p_i^{z_i-1}}{1000 \cdot Q_i} - \frac{1}{Z} \right) \cdot \frac{t_{\delta_i}}{60} + C_{\delta T} \sum_{i=1}^m \frac{\pi \cdot d_i \cdot l_{a_i} \cdot v_i^{x_i-1} \cdot a_{t_i}^{y_i-1} \cdot p_i^{z_i-1}}{1000 \cdot Q_i} \quad (5.13)$$

5.2- MÍNIMO CUSTO

A condição de mínimo custo, como visto no item 1.1, ocorre quando o custo por peça iguala o custo marginal, ou seja, quando a derivada do custo por peça em relação ao número de peças usinadas num determinado período é nula. Desta forma, obtêm-se o número de peças para o qual o custo de fabricação é mínimo.

Para a determinação da velocidade de corte, no qual o custo de fabricação por peça é mínimo, deve-se derivar a expressão (5.13) em relação à velocidade de corte e ao avanço da ferramenta por peça, pois nesta expressão são considerados constantes as grandezas profundidade de corte p , expoentes x e y e a constante Q da fórmula de Taylor [1].

Derivando-se em relação a v a expressão (5.13) e igualando-se a zero, obtêm-se

$$\frac{\partial C_t}{\partial v_1} = C_2 + \frac{C_2(x_1-1) \cdot v_1^{x_1} \cdot a_{t_1}^{y_1} \cdot p_1^{z_1} \cdot t_{f_1} + 60 C_{f_T} (x_1-1) v_1^{x_1} \cdot a_{t_1}^{y_1} \cdot p_1^{z_1}}{Q_1} = 0 \quad (5.14)$$

$$v_1 = \sqrt[2]{\frac{C_2 \cdot Q_1}{(x_1-1) \cdot a_{t_1}^{y_1} \cdot p_1^{z_1} \cdot C_2 t_{f_1} + C_{f_T} \cdot 60}} \quad (5.15)$$

e da mesma forma procede-se com as demais ferramentas.

Substituindo-se v_1 na equação (3.3) tem-se

$$T = \frac{60(x-1) (C_2 t_{f_1} + C_{f_T})}{C_2} \quad (5.16)$$

Analogamente, derivando-se em relação ao avanço, tem-se

$$\frac{\partial C_t}{\partial a_{t_1}} = C_2 + \frac{C_2(y-1) \cdot v^x \cdot a_{t_1}^y \cdot p^z \cdot t_f + 60 \cdot C_{f_T} (y-1) \cdot v^x \cdot a_{t_1}^y \cdot p^z}{Q} = 0 \quad (5.17)$$

$$v = \sqrt[x]{\frac{C_2 \cdot Q}{(y-1) \cdot a_t^y \cdot p^z \cdot C_2 t_{\delta t_1} + C_{\delta T} \cdot 60}} \quad (5.18)$$

e para a vida da ferramenta resulta

$$T = \frac{60(y-1) C_2 t_{\delta t} + C_{\delta T}}{C_2} \quad (5.19)$$

As equações (5.14) e (5.17) não podem ser simultaneamente satisfeitas, de tal forma que um único mínimo não ocorre, admitindo-se válida a equação de Taylor.

Sabe-se que $y < x$, de tal forma que para um determinado avanço, a velocidade de corte calculada através da expressão (5.15) é menor que a velocidade calculada através da expressão (5.18). A figura 5.1 mostra a representação gráfica das velocidades calculadas através destas duas expressões, para diferentes avanços.

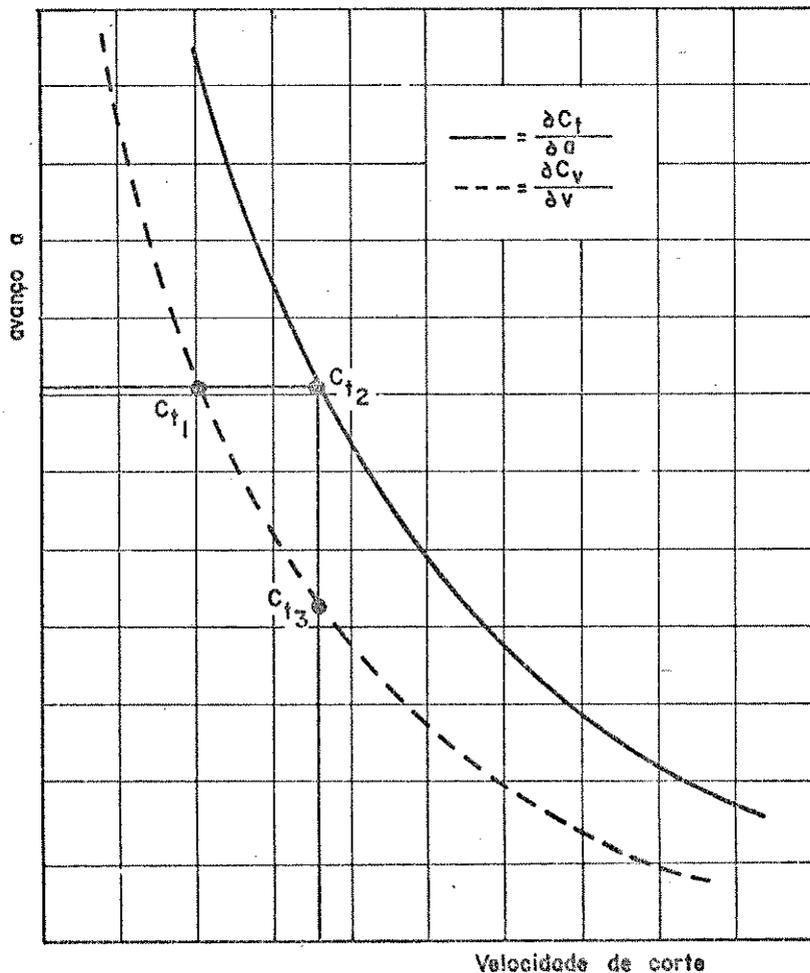


FIGURA 5.1- Representação gráfica das equações (5.14) e (5.17)

Sendo $y < x$, demonstra-se a partir das equações (5.13), (5.14) e (5.17), que o custo C_{t_1} é menor que o custo C_{t_2} e que o custo C_{t_2} é menor que o custo C_{t_3} , ou seja $C_{t_1} < C_{t_2} < C_{t_3}$; portanto o custo por peça diminui à medida que o avanço aumenta. Desta forma, as condições de usinagem baseadas no mínimo custo por peça devem ser calculadas através da equação (5.14), baseadas na seleção do maior avanço admissível [6].

5.2.1- FATORES QUE RESTRINGEM A SELEÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CORTE.

5.2.1.1- RESTRIÇÃO DEVIDO AO MÁXIMO AVANÇO DA MÁQUINA

Uma das alternativas e restrições é selecionar o máximo avanço fornecido pela máquina ferramenta e calcular a velocidade de mínimo custo através da expressão (5.14).

5.2.1.2- RESTRIÇÃO DEVIDO À MÁXIMA VELOCIDADE DE CORTE

Velocidade e avanço podem ser calculados como em 5.2.1.1, mas a velocidade calculada é comparada com a máxima velocidade de corte fornecida pela máquina-ferramenta.

Se a velocidade de corte calculada for menor que a da máquina, ela deve ser usada.

5.2.1.3- RESTRIÇÃO DEVIDO À POTÊNCIA DA MÁQUINA

A potência fornecida pelo motor da máquina ferramenta é dada por

$$N = \frac{P_c \cdot v}{60} \cdot \frac{1}{\eta} = \frac{k_s \cdot a_t \cdot p \cdot v}{60} \cdot \frac{1}{\eta}$$

onde

P_c = força de corte (N);

η = rendimento da máquina operatriz;

k_s = pressão específica de corte, dada por

$$k_s = k_{s1} \cdot h^{-z} = k_{s1} \cdot (a \cdot \text{sen } X)^{-z} \quad [1].$$

Substituindo-se k_s na equação acima, resulta

$$v = \frac{60 \cdot \text{sen}(X)^z \cdot N \cdot a_t^{z-1}}{k_{s1} \cdot p} \quad (5.20)$$

Assim, usando-se o maior avanço admissível, as velocidades devem ser calculadas pelas equações (5.14) e (5.20), sendo que a menor delas deve ser usada (fig. 5.2)

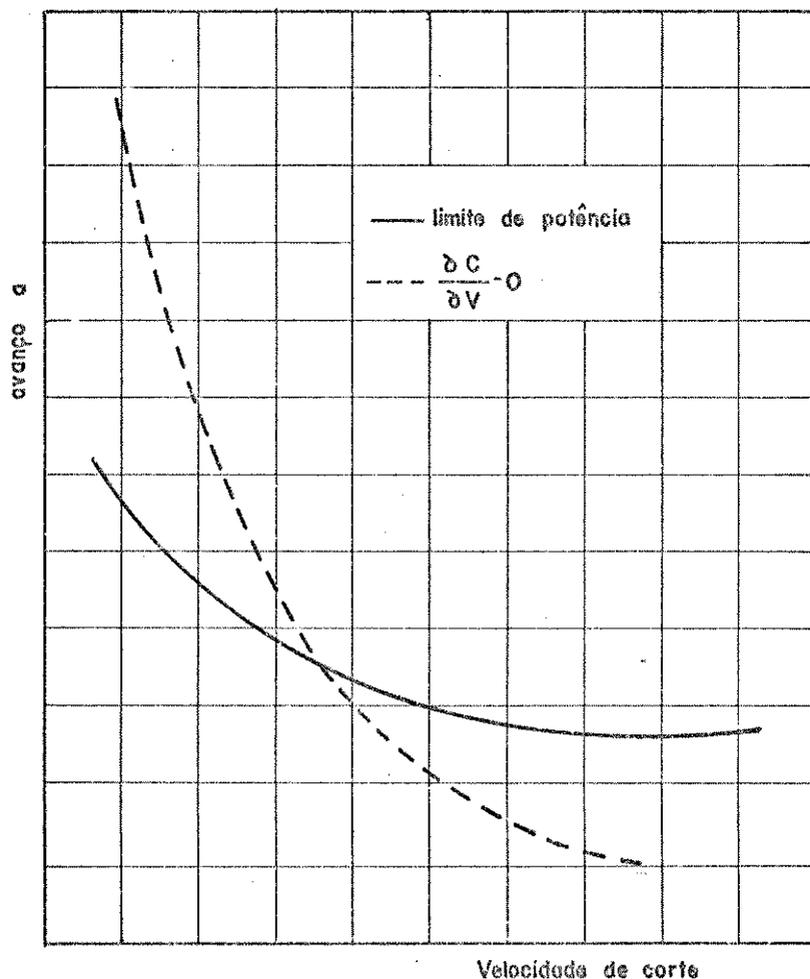


FIGURA 5.2- Curva velocidade-avanço para mínimo custo e limite de potência

5.2.1.4- RESTRIÇÃO DEVIDO AO ACABAMENTO SUPERFICIAL

O acabamento superficial nas operações de usinagem depende do tipo de formação do cavaco, da geometria da ferramenta e do processo em si. Cavacos de forma descontínua podem causar ranhuras na ferramenta que prejudicam o acabamento superficial, além de ocasionarem variações de forças, que defletem a ferramenta e provocam sulcos na superfície usinada. Cavacos contínuos, mas com formação de aresta postiça de corte provocam um problema similar, pois a aresta postiça é instável e fratura periodicamente, depositando partículas de material na superfície usinada da peça. Aumentando-se a velocidade de corte, haverá um aumento da temperatura de corte, a qual provoca uma recristalização e uma mudança de fase do material da aresta postiça de corte. A aresta postiça perde sua dureza, não podendo opor resistência às forças de usinagem. Tem-se assim o desaparecimento da aresta postiça. A esta velocidade em que a aresta postiça desaparece, denomina-se velocidade crítica. A influência do avanço se faz sentir no sentido de diminuir a velocidade crítica quando se aumenta o avanço [1, 6].

A rugosidade máxima $R_{m\bar{a}x}$ está relacionada com o avanço e o raio de ponta da ferramenta, através da expressão [1]

$$R_{m\bar{a}x} = \frac{a_t^2}{8.R} \quad (5.21)$$

onde R é o raio de ponta da ferramenta.

Assim, para um dado acabamento superficial e uma geometria da ferramenta, existe um valor máximo admissível do avanço, o qual deve ser usado para o cálculo do mínimo custo. Para um dado acabamento superficial as velocidades e avanços podem ser relacionados, como ilustrado na fig. 5.3 [6]

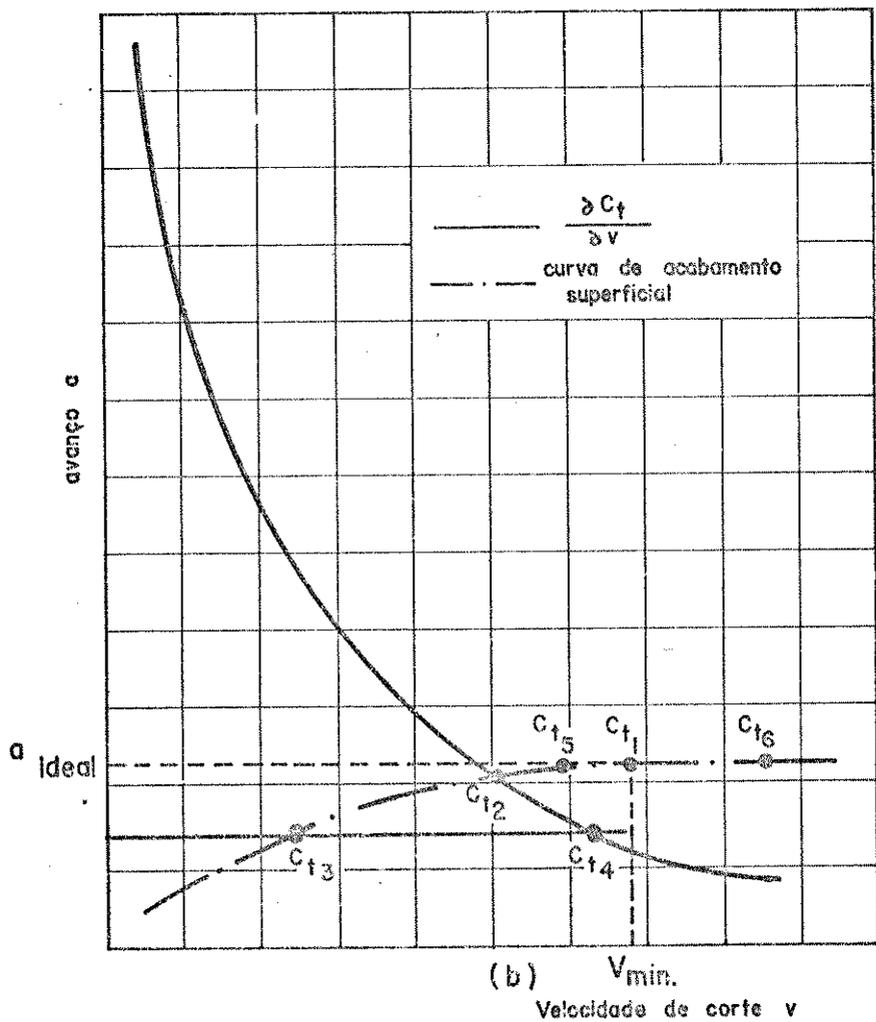
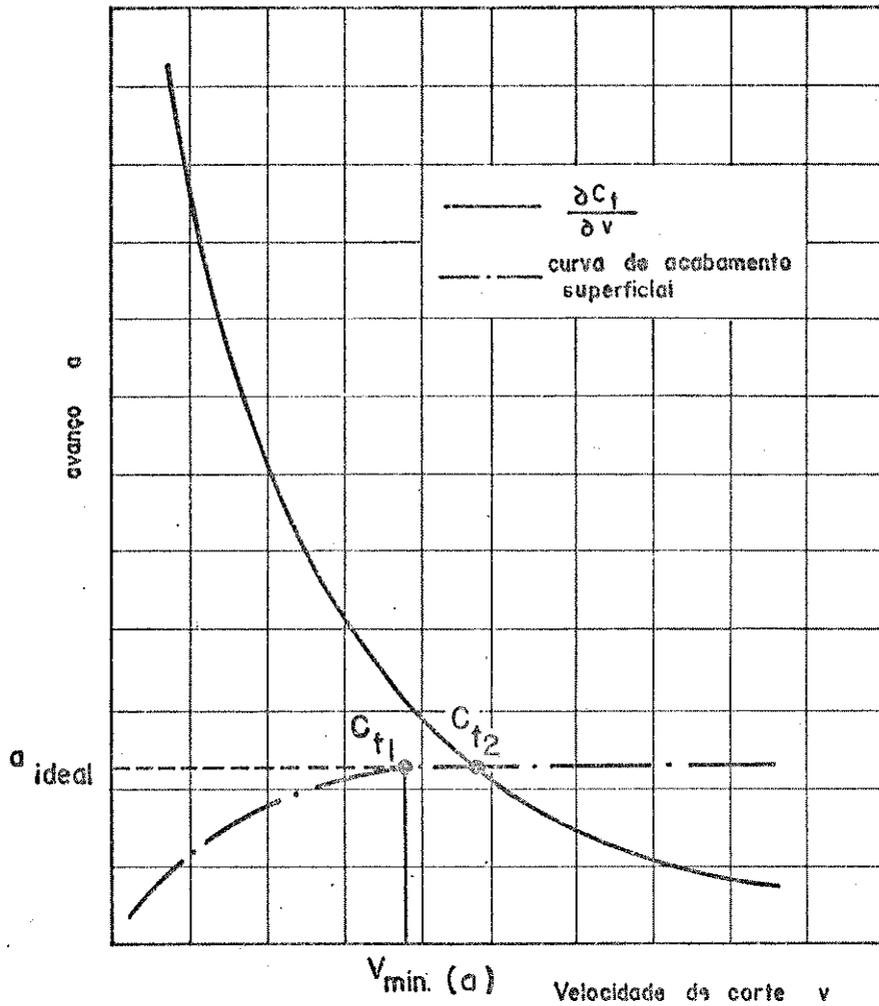


FIGURA 5.3- Curvas velocidade-avanço para mínimo custo relacionadas com as curvas de acabamento superficial [6]

Da figura 5.3, nota-se que quando a velocidade é diminuída abaixo de V_{min} , o avanço também deve diminuir para que se mantenha o acabamento superficial desejado. No entanto, esta relação entre a velocidade e o avanço não foi ainda totalmente estudada. Está claro, entretanto, que se a curva $\partial C_t / \partial v = 0$ cruza a curva de acabamento superficial além de V_{min} (fig. 5.3a), então $C_{t_2} < C_{t_1}$ e as condições de usinagem são selecionadas para corresponder a C_{t_2} .

Se as curvas se cruzam como ilustrado na fig. (5.3b), o custo ao longo da curva de acabamento superficial deve ser testado com a curva de mínimo custo. Na fig. 5.3b nota-se que $C_{t_2} < C_{t_4} < C_{t_3}$ e $C_{t_1} < C_{t_6}$.

Pode ocorrer também, que $C_{t_5} < C_{t_2}$ e $C_{t_5} < C_{t_1}$.

Assim, o custo C_{t_2} não é necessariamente menor que o custo C_{t_1} , ou seja, um mínimo custo por peça pode ocorrer entre C_{t_2} e C_{t_1} . Como a região $C_{t_2} - C_{t_1}$ é pequena, as condições de usinagem podem ser tomadas para C_{t_1} , isto é, a_{ideal} e V_{min} , para simplificar [6]

5.3- MÁXIMA PRODUÇÃO

Observando-se as mesmas considerações feitas para a condição de mínimo custo (item 5.2), a determinação do mínimo tempo de fabricação por peça é feita derivando-se a expressão em relação à velocidade de corte e ao avanço da ferramenta por peça.

Desta forma, obtêm-se

$$\frac{\partial t_t}{\partial v_1} = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot l_{a_1}}{1000 \cdot a_{t_1} \cdot v_1^2} + \frac{(x_1 - 1) \cdot \pi \cdot d_1 \cdot l_{a_1} \cdot v_1^{x_1 - 2} \cdot a_{t_1}^{y_1 - 1} \cdot p_1^{z_1} \cdot t_{f_1}}{1000 \cdot Q_1} = 0 \quad (5.22)$$

$$v_{mxp_1} = \sqrt[x_1]{\frac{Q_i}{(x_1-1) \cdot a_{t_1}^{y_1} p_1^{z_1} \cdot t_{f_1}}} \quad (5.23)$$

Substituindo-se v_{mxp_1} na expressão (3.3) resulta

$$T_{mxp_1} = (x_1-1) \cdot t_{f_1} \quad (5.24)$$

Da mesma forma procede-se com as demais ferramentas.

Analogamente, em relação ao avanço, tem-se

$$\frac{\partial t_t}{\partial a_t} = - \frac{\pi \cdot d \cdot l_a}{1000 \cdot a_t \cdot v} + \frac{(y-1) \cdot \pi \cdot d \cdot l_a \cdot v^{x-1} \cdot a_t^{y-2} \cdot p^z \cdot t_f}{1000 \cdot Q} = 0 \quad (5.25)$$

As equações (5.22) e (5.25) não podem ser simultaneamente resolvidas, e um único tempo mínimo de produção por peça, não existe.

Usando-se raciocínio análogo ao usado para o mínimo custo, conclui-se que o tempo de produção diminui à medida que o avanço aumenta (fig. 5.4).

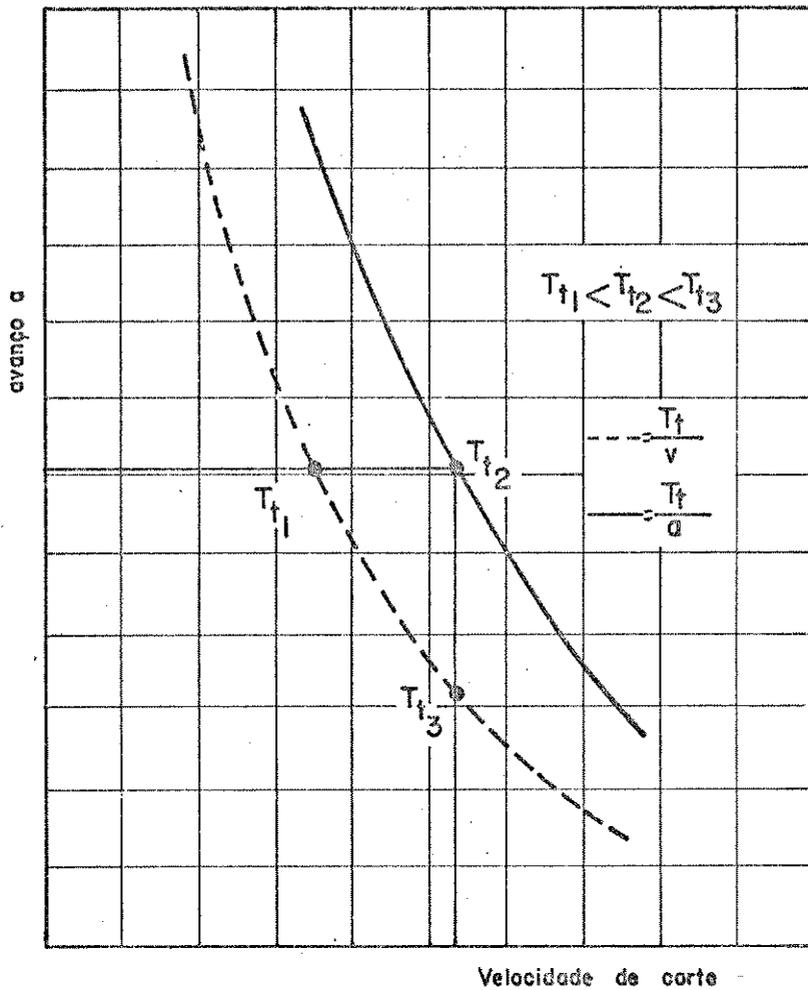


FIGURA 5.4- Representação gráfica das equações (5.22) e (5.25)

As restrições citadas para o mínimo custo são válidas para a condição de máxima produção.

5.4- INTERVALO DE MÁXIMA EFICIÊNCIA

Define-se intervalo de máxima eficiência, ao intervalo compreendido entre as velocidades v_0 e v_{mxp} (fig. 5.5)

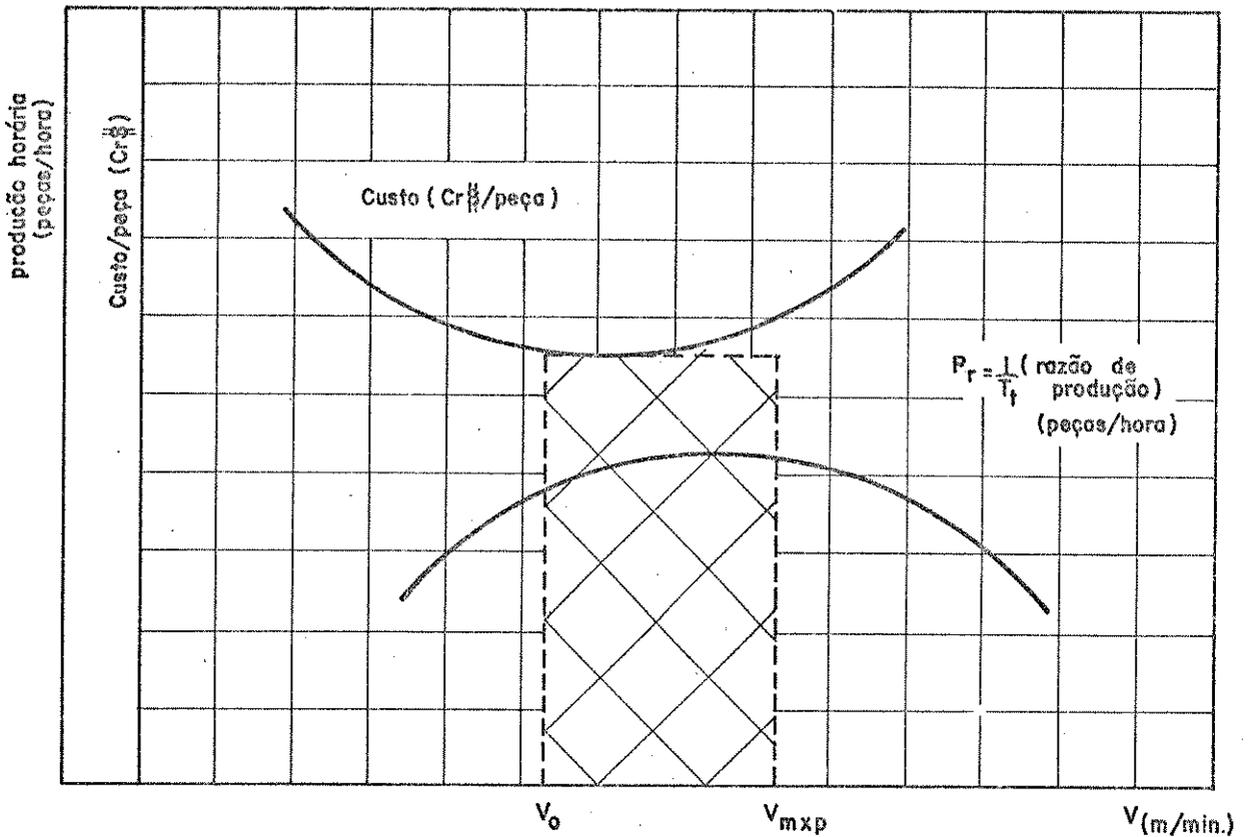


FIGURA 5.5- Intervalo de máxima eficiência

Este intervalo define a faixa ótima de trabalho, dentro da qual se tem as condições de máxima produção e mínimo custo.

Para velocidades menores que v_0 , tem-se um aumento do custo de produção por peça e uma queda de produção. Analogamente, para valores da velocidade de corte maiores que v_{mxp} , há um acréscimo do custo de produção e uma queda da produção. Porém, para valores crescentes de v , a partir de v_0 até v_{mxp} , haverá um aumento do custo por peça e um correspondente aumento da produção [1].

SIMBOLOGIA

- $C_{a\delta}$ - custo de afiação da ferramenta (Cr\$/min);
 $C_{\delta T}$ - custo da ferramenta por vida (Cr\$/vida);
 C_m - custo da máquina (Cr\$/hora);
 C_s - custo da pastilha (Cr\$/pastilha);
 C_t - custo total de confecção, por peça (Cr\$/peça);
 C_{t_c} - custo devido ao tempo de corte (Cr\$/peça);
 C_{t_i} - custo devido aos tempos improdutivos (Cr\$/peça);
 C_{t_p} - custo devido ao tempo de preparação (Cr\$/peça);
 C_{t_n} - custo de reposição das ferramentas (Cr\$/peça);
 η - rendimento da máquina operatriz;
 h - espessura de corte (mm);
 H - número de horas trabalhadas por ano (horas);
 k - idade da máquina (anos);
 k_s - pressão específica de corte (N/mm^2)
 k_{s1} - constante específica do metal para uma secção de corte de 1 mm de espessura por 1 mm de largura;
 N - potência do motor (W);
 n_{δ} - número de afiações possíveis da ferramenta;
 n_{δ}' - número de afiações já efetuadas pela ferramenta;
 $n_{\delta p}$ - vida média do porta-ferramenta em quantidade de fios de corte;
 $n_{\delta p}'$ - número de fios de corte já efetuados pelo porta-ferramenta;
 n_s - número de fios de corte da pastilha;

- P_c - força de corte (N);
- P_h - razão de produção (peças/horas);
- R - raio de ponta da ferramenta (mm);
- $R_{m\bar{a}x}$ - rugosidade máxima (μm);
- S - salário por hora do operador (Cr\$/hora);
- t - taxa mínima de atratividade (%);
- $T_{c\delta}$ - taxa dos custos fixos por hora (Cr\$/hora);
- $t_{\delta a}$ - tempo de afiação da ferramenta (min);
- v_{mxp} - velocidade de máxima produção (m/min);
- v_0 - velocidade de mínimo custo (m/min);
- $v_{0\delta}$ - valor atual da ferramenta (Cr\$);
- $v_{R\delta}$ - valor residual da ferramenta (Cr\$);
- Z - número de peças do lote;
- Z_T - número de peças usinadas por vida.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- [1] FERRARESI, Dino - Fundamentos da usinagem dos metais São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 1970.
- [2] BRIERLEY, Robert G. & SIEKMANN, A. J. - Machining principles and cost control, Mc Graw Hill Book Company New York, USA 1964.
- [3] PALLEROSI, Carlos Amadeu - Formulação de um método geral de análise das condições econômicas de usinagem Faculdade de Engenharia de Campinas, 1973. Tese (doutoramento) - Faculdade de Engenharia da UNICAMP.
- [4] COOK, Nathan H. - Manufacturing analysis Massachusetts, USA, 1966.
- [5] SCHAUAMANN, R. - Ermitlung und Berechnung der kostengünstigsten Standzeit und Schnittgeschwindigkeit Wt-Z. ind. Fertig, 60 (1): 14-21, 1970.
- [6] ARMAREGO, E. J. A. & BROW, R. H. - The Machining of metals Prentice - Hall, Inc., USA, 1969.

VI- ESTUDO SOBRE A DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE MÁXIMO LUCRO6.1- INTRODUÇÃO

Produzir um dado lote de peças com uma precisão dimensional e determinado acabamento superficial envolve a escolha correta da máquina-ferramenta, ferramentas de corte e condições de operacionais como a velocidade, avanço e profundidade de corte. A escolha dos parâmetros de corte envolve:

- a- identificação dos elementos dos custos;
- b-, desenvolvimento de equações para mínimo custo e máxima produção em função da velocidade de corte;
- c- desenvolvimento de equações para máxima produção.

No capítulo anterior foi visto que os valores otimizados da velocidade de corte devem estar contidos no intervalo compreendido entre a velocidade de mínimo custo v_0 e a velocidade de máxima produção v_{mxp} . Neste intervalo, os valores crescentes a partir de v_0 acarretam um aumento de produção, porém um aumento do custo por peça. Desta forma, deve-se verificar até que ponto compensa aumentar a velocidade. No entanto, para uma dada receita por peça, o lucro não é o ótimo quando o critério do mínimo custo é usado. Isto é devido ao fato de que a *razão de lucro* é dependente tanto do custo por peça quanto do tempo total de confecção por peça. Da análise do mínimo custo por peça, sabe-se que as condições de corte exigidas para esta condição são independentes dos tempos improdutivos e da receita por peça. Para a taxa de lucro máximo, tanto os tempos improdutivos como a receita por peça são necessários para a seleção dos parâmetros de corte [1,2,3,4] .

Analogamente ao que foi visto no item 1.3, o lucro por peça é definido por

$$L_t = R_t - C_t \quad (6.1)$$

onde

R_t = receita por peça (receita média);

C_t = custo por peça (custo total médio).

6.2- CONDIÇÃO DE MÁXIMO LUCRO

No capítulo I foi visto que a condição de máximo lucro ocorre quando a receita marginal iguala ao custo marginal, ou seja quando a 1ª derivada do lucro total em relação ao número de peças produzidas num determinado período for igual a zero. De acordo com a equação (1.15) tem-se,

$$L_T = R_T - C_T \quad (6.2)$$

onde

$$R_T = R_t \cdot P_n \quad (6.3)$$

$$C_T = C_t \cdot P_n \quad (6.4)$$

em que P_n é o número de peças produzidas por minuto.

Diferentemente do exposto no capítulo I, os conceitos de custo marginal e receita marginal são agora definidos em relação à velocidade de corte.

Diferenciando-se a expressão (6.2) em relação à velocidade de corte, tem-se

$$\frac{\partial L_T}{\partial v} = \frac{\partial R_T}{\partial v} - \frac{\partial C_T}{\partial v} = 0 \quad (6.6)$$

ou seja, a velocidade de máximo lucro ocorre quando houver a igualdade entre a receita marginal e o custo marginal.

$$\frac{\partial R_T}{\partial v} = \frac{\partial C_T}{\partial v} \quad ,$$

Substituindo-se as equações (2.11) e (5.13) nas expressões (6.3) e (6.4) e diferenciando-se em relação à velocidade de corte, chegou-se a

$$\frac{\partial R_T}{\partial v} = \frac{\frac{l_a \cdot R_t}{\lambda v^2 \cdot a_t} \left[1 - \frac{(x-1) \cdot v^x \cdot a_t^y \cdot t_\delta}{A} \right]}{t_t^2} \quad (6.7)$$

e

$$\frac{\partial C_T}{\partial v} = \frac{\frac{l_a}{\lambda v^2 \cdot a_t} \left\{ \frac{(C_3 - C_2) \cdot t_p}{Z} \left[1 - \frac{(x-1) \cdot v^x \cdot a_t^y \cdot t_\delta}{A} \right] + \frac{C_{\delta T} \cdot a_t^{y-1}}{A} \left[\frac{x \cdot l_a \cdot v^{x-1}}{\lambda} + (x-1) \cdot a_t \cdot v^x \left(t_1 + \frac{t_p}{Z} - \frac{t_{\delta T}}{Z} \right) \right] \right\}}{t_t^2} \quad (6.8)$$

Igualando-se as equações (6.7) e (6.8), obtêm-se

$$R_t \left[1 - \frac{(x-1) \cdot v^x \cdot t_\delta \cdot a_t^y}{A} \right] = \frac{(C_3 - C_2) \cdot t_p}{Z} \left[1 - \frac{(x-1) \cdot v^x \cdot a_t^y \cdot t_\delta}{A} \right] + \frac{C_{\delta T} \cdot a_t^{y-1}}{A} \left[\frac{x \cdot l_a \cdot v^{x-1}}{\lambda} + (x-1) \cdot a_t \cdot v^x \left(t_1 + \frac{t_p}{Z} - \frac{t_{\delta T}}{Z} \right) \right] \quad (6.9)$$

ou ainda

$$1 = w + \frac{C_{\delta T} \cdot a_t^{y-1} \cdot x \cdot l_a \cdot v^{x-1}}{\lambda \cdot A \cdot R_t} + \frac{(x-1) \cdot a_t^y \cdot v^x}{R_t \cdot A} \left[C_{\delta T} \left(t_1 + \frac{t_p}{Z} - \frac{t_{\delta T}}{Z} \right) + R_t \cdot t_\delta (1 - w) \right] \quad (6.10)$$

onde

$$A = \frac{Q}{P^2} \quad ; \quad \lambda = \frac{1000}{\pi \cdot d} \quad ; \quad w = \frac{(C_3 - C_2) t_p}{R_t \cdot Z}$$

Considerando-se a receita por peça (R_t) constante, a receita total (R_T) será função da razão de produção (P_π), ou seja, a curva representativa de R_T será semelhante à curva da razão de produção P_π , cujo valor máximo se dá com v_{mxp} (fig. 6.1).

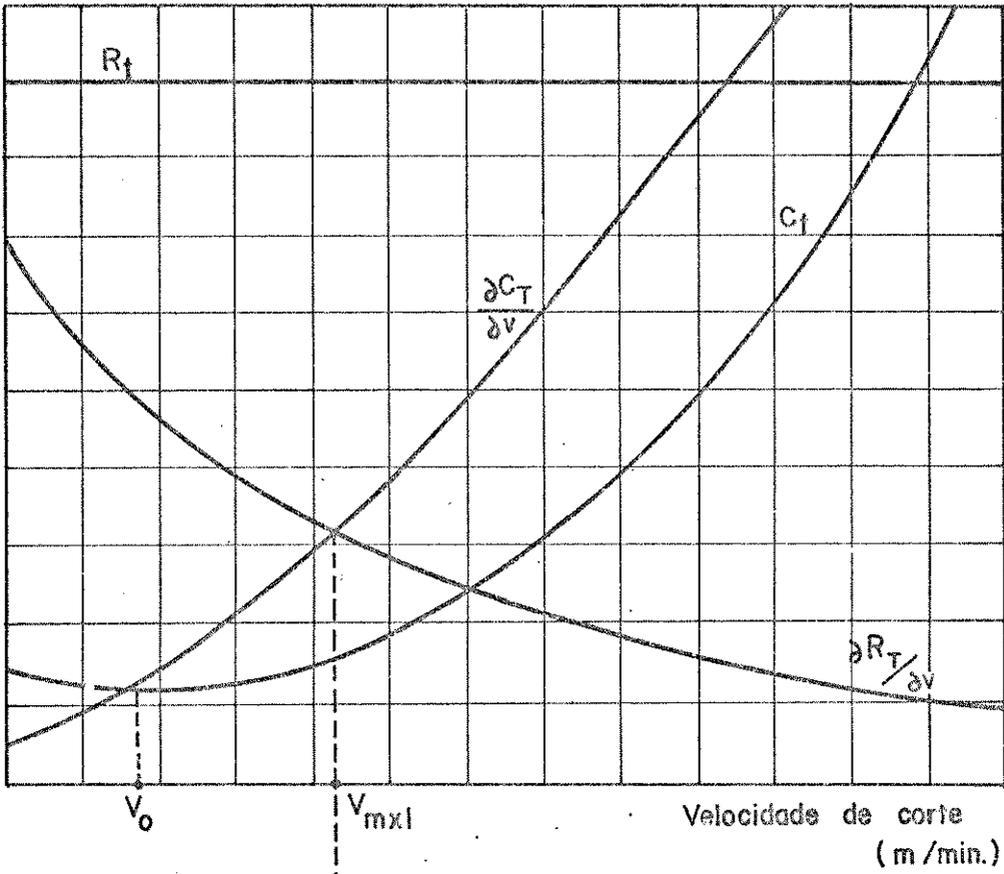
Observa-se através da substituição da equação 5.23 na expressão (6.7), que a receita marginal $\frac{\partial R_T}{\partial v}$ é nula para a v_{mxp} , ou seja, a velocidade de máxima produção é a velocidade limite de máximo lucro, acima da qual tem-se prejuízo.

Quando a receita por peça (R_t) for igual ao valor do mínimo custo (C_{tmin}), o lucro é zero e, portanto, a velocidade de máximo lucro é igual à velocidade de mínimo custo (fig. 6.2).

Quando R_t for menor que C_{tmin} tem-se prejuízo trabalhando com qualquer velocidade (fig. 6.3). Para uma velocidade $v > v_0$ o prejuízo será maior do que quando se trabalha a uma velocidade $v < v_0$, pois neste último caso a quantidade de peças produzidas é menor, diminuindo o volume de prejuízo.

Cr\$/peça

Cr\$/min.



Cr\$/min.

peças/min.

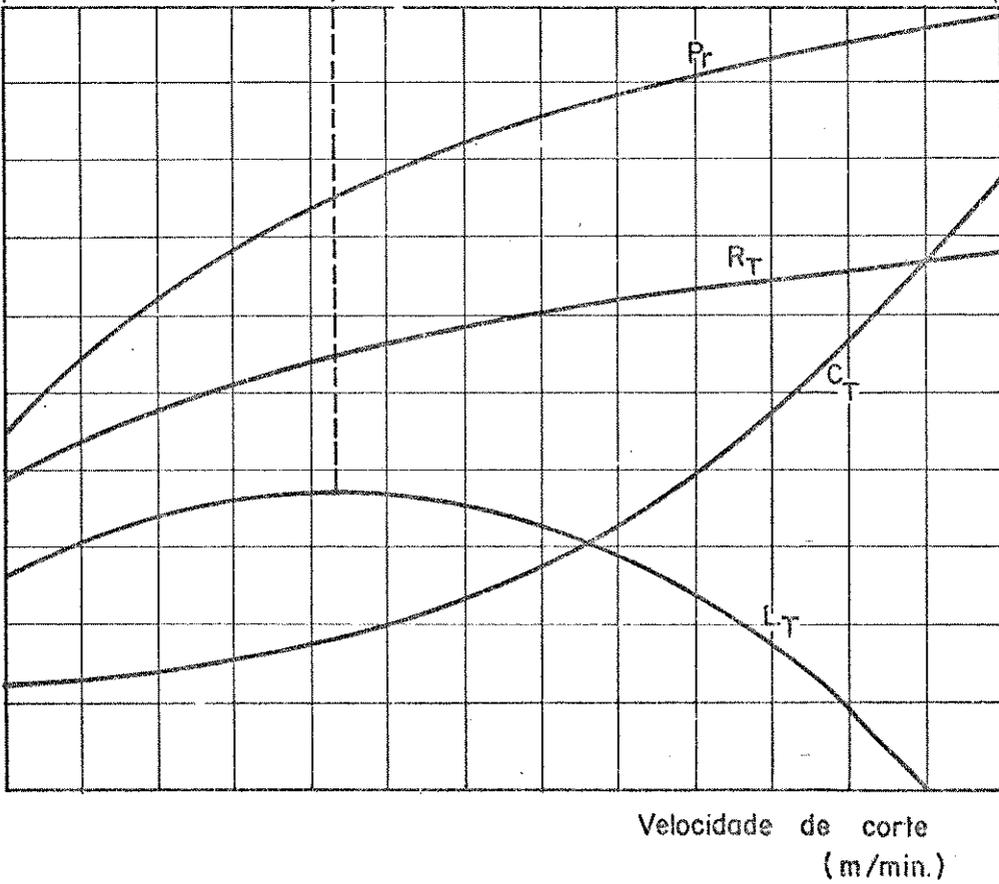


FIGURA 6.1- Velocidades de mínimo custo e máximo lucro, onde a velocidade de máximo lucro é maior que a de mínimo custo

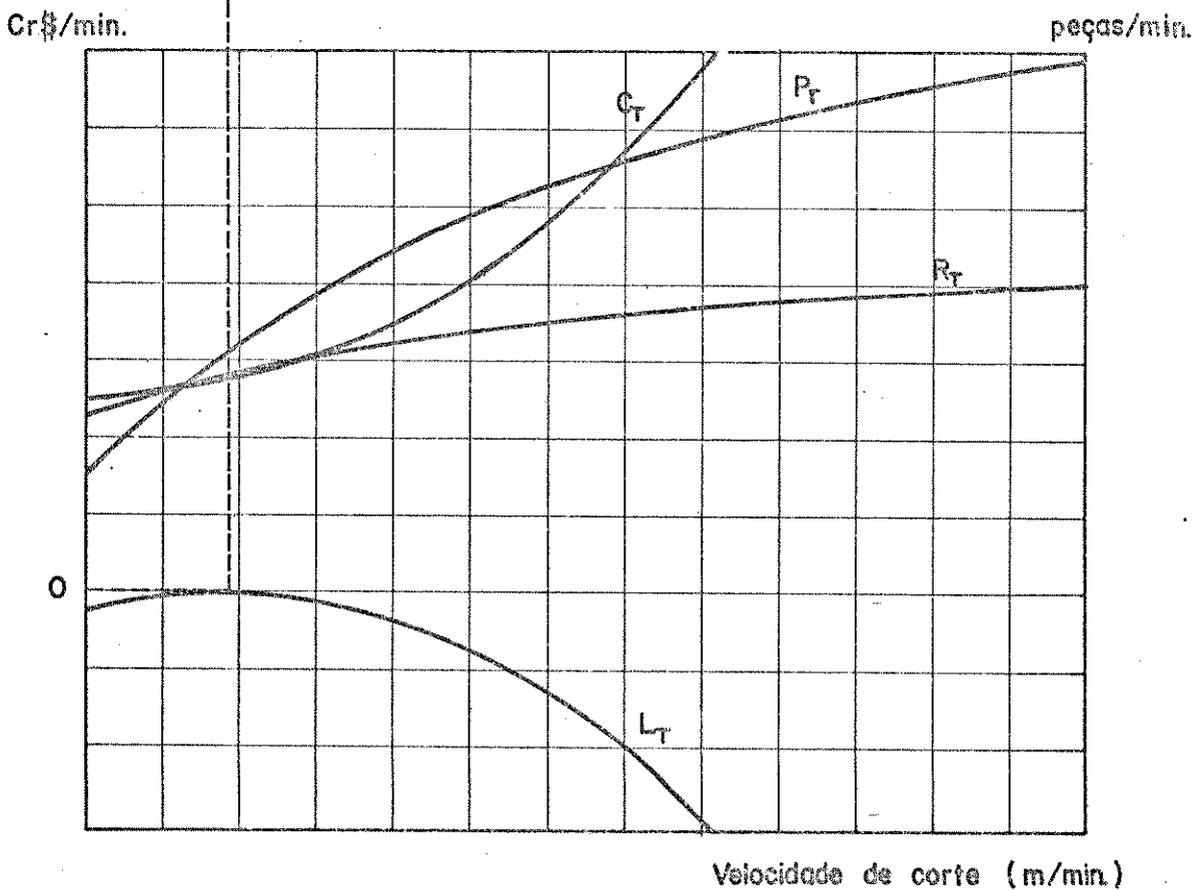
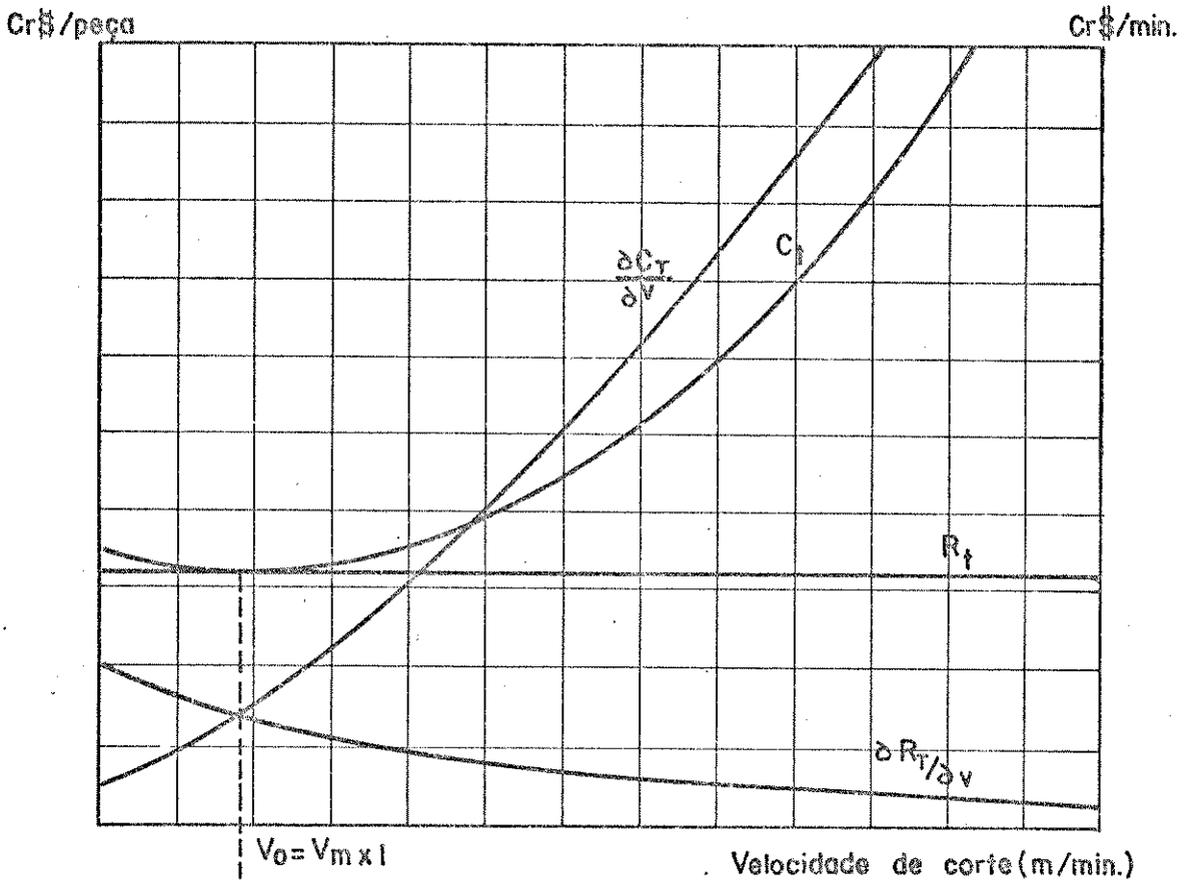


FIGURA 6.2- Velocidades de mínimo custo e máximo lucro, onde ambas as velocidades coincidem

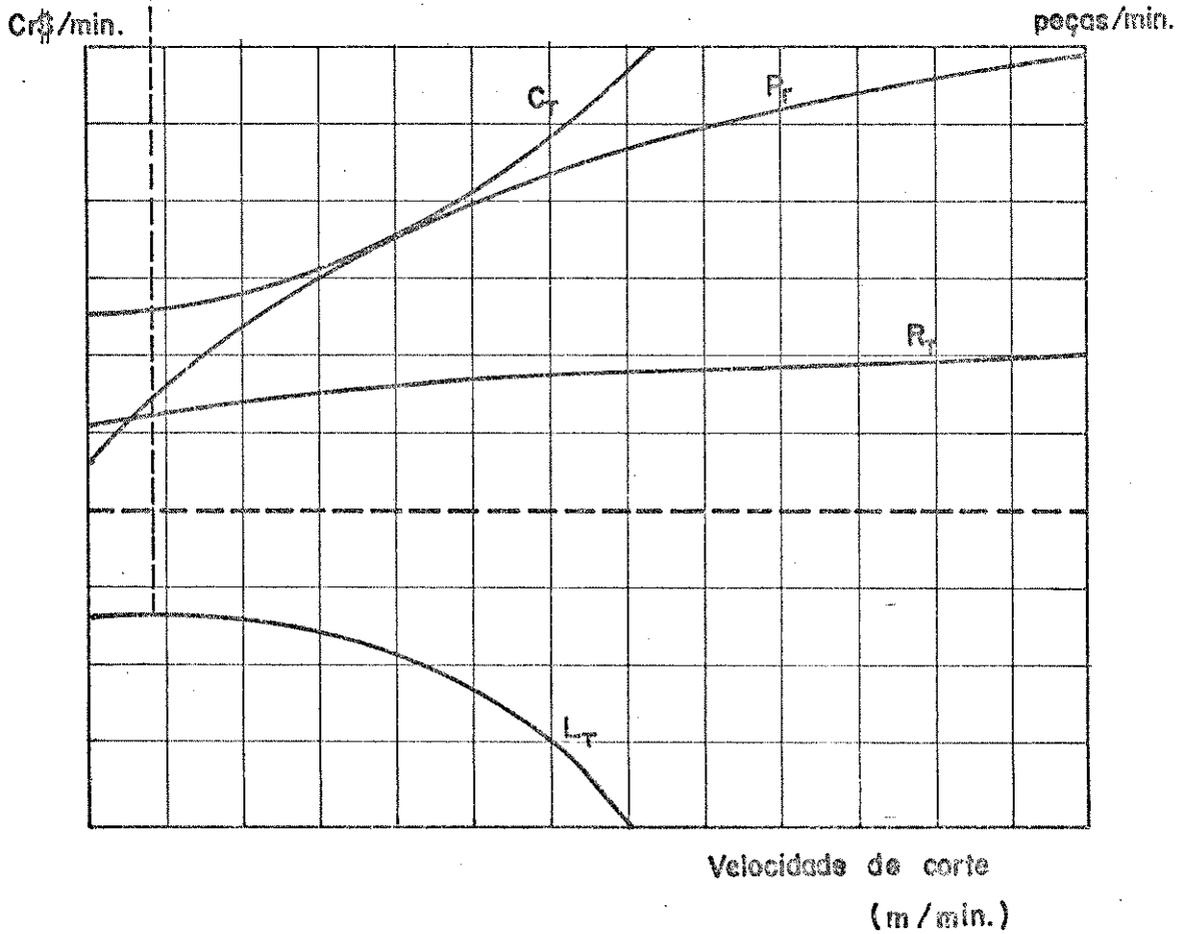
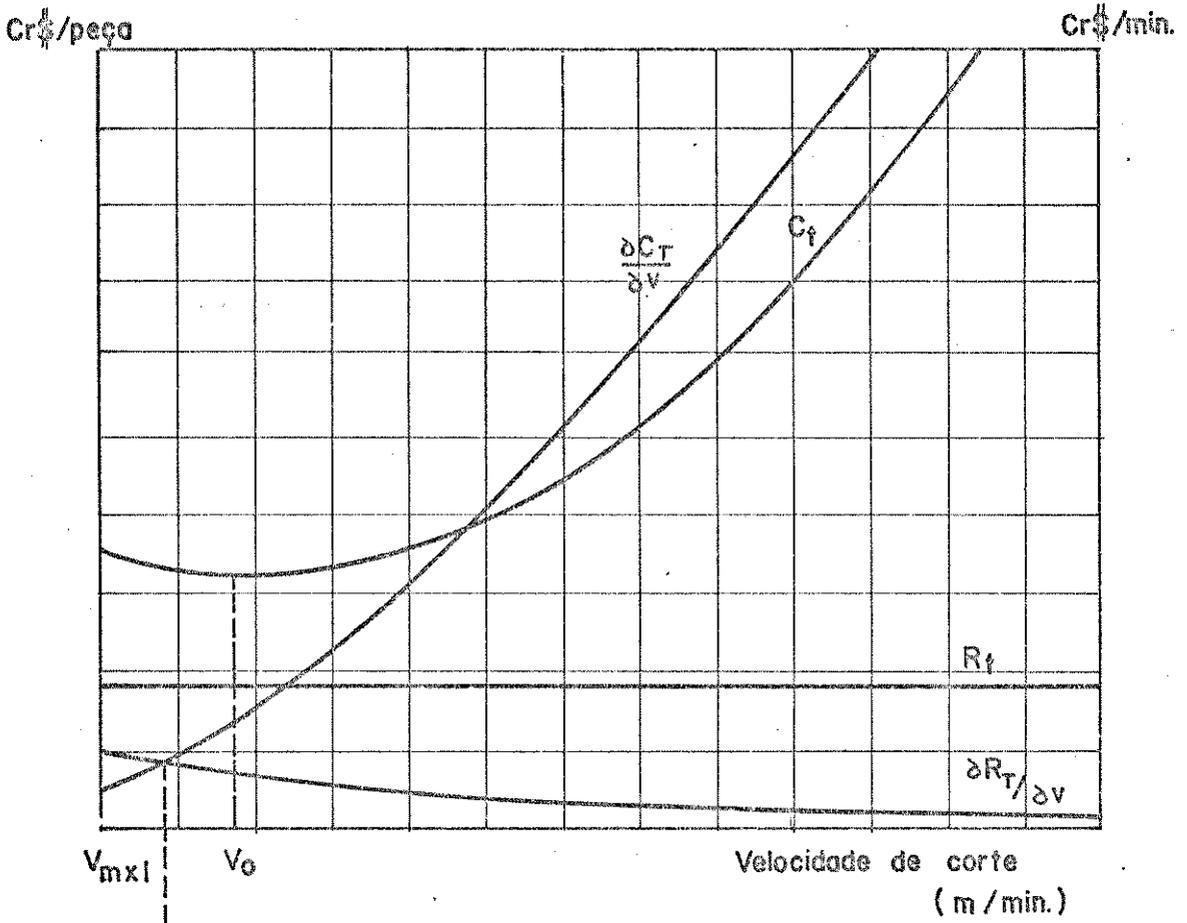


FIGURA 6.3- Velocidades de mínimo custo e máximo lucro, onde a velocidade de de máximo lucro é menor que a de mínimo custo

Pode-se verificar, dadas as condições de usinagem em que uma máquina ferramenta está sendo operada, se a mesma está trabalhando com lucro, lucro zero ou prejuízo; isto é feito pela substituição da equação 5.15 na expressão 6.10, que resulta

$$R_x = \frac{(C_3 - C_2) \cdot t_p}{Z} + \frac{C_{\delta T} \cdot C_2 \left[x \cdot l_a + \left(t_1 + \frac{t_p}{Z} \cdot \frac{t_{\delta t}}{Z} \right) \right]}{59C_2 \cdot t_{\delta t} + 60C_{\delta T}}$$

$$a_t \cdot \lambda \cdot (x-1) \sqrt{\frac{x \cdot C_2 \cdot K}{(x-1) \cdot a_t^y \cdot p^Z \cdot 60(C_2 t_{\delta t} + C_{\delta T})}}$$

(6.11)

Se o preço de venda do produto for maior que o valor de R_x obtido da equação acima, está se obtendo lucros e o ponto de máximo lucro está acima do ponto de mínimo custo (fig. 6.1).

Se for igual, não se está obtendo nem lucros, nem prejuízos, ou seja, o ponto de mínimo custo é igual ao ponto de máximo lucro (fig. 6.2).

Se for menor, tem-se prejuízo, e o ponto de mínimo prejuízo está abaixo do ponto de mínimo custo (fig. 6.3).

SIMBOLOGIA

- C_T - custo total (Cr\$/min);
- C_t - custo total médio (Cr\$/peça);
- L_T - lucro total (Cr\$/min);
- L_t - Lucro por peça (Cr\$/peça);
- R_T - receita total (Cr\$/min);
- R_t - receita média (Cr\$/peça)

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- [1] FRIEDMAN, M. Y. & TIPNIS, V. A. - Cutting Rate - Tool Life Characteristic Functions for Material Removal Processes - Part 1. Journal of Engineering for Industry, May 1976.
- [2] HAITI, S. K. & RAO, S. S. - Determination of Optimum Machining Conditions - Determinist and Probabilistic Approaches, Transactions of the ASME, February 1976.
- [3] ARMAREGO, E. J. A. & RUSSEL, J. K. - Maximum Profit Rate as a Criterion for the Selection of Machining Conditions Mach. Tool Des. Res., 6, pg. 15-23, 1966.
- [4] WU, S. M. & ERMER, D. S. - Maximum Profit as the Criterion in the Determination of the Optimum Cutting Conditions Journal of Engineering for Industry, pg. 435-442, november 1966.

VII- COMPARAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES MÉTODOS DE OBTENÇÃO DAS CONDIÇÕES DE MÍNIMO CUSTO E MÁXIMO LUCRO

7.1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

No capítulo I foi visto que o ponto de mínimo custo é obtido quando o custo por peça C_x for igual ao custo marginal C_{mg} . Da mesma forma, segundo a conceituação daquele capítulo, o ponto de máximo lucro é obtido quando o custo marginal C_{mg} for igual à receita marginal R_{mg} .

Portanto, a partir dessas igualdades encontra-se o número de peças produzidas em um determinado período para o qual o custo é mínimo e da mesma forma, determina-se o número de peças para o qual o lucro é máximo.

Com esta produção de peças, determina-se o número de peças produzidas por minuto, e conseqüentemente a velocidade de corte correspondente.

De acordo com as definições de velocidade de mínimo custo e máximo lucro, tratados nos capítulos V e VI, os valores destas grandezas coincidirão com os valores daquelas obtidas pelo método anterior. Para a obtenção do valor da velocidade de máximo lucro segundo os métodos clássicos de usinagem, é necessário a dedução das equações da receita marginal e custo marginal em relação à velocidade de corte a partir das equações da receita total e do custo total, como mostrado nos capítulos V e VI.

Ambos os métodos conduzem aos mesmos resultados, como ilustra o exemplo a seguir.

7.2- EXEMPLO NUMÉRICO

Serão apresentados dois métodos de cálculo: um baseado nos capítulos V e VI, que apresentam as condições de custo em relação à velocidade de corte; outro baseado no capítulo I, que apresenta as condições de custo em relação ao número de peças produzidas num determinado período.

7.2.1- VALORES PARA CÁLCULO

(fornecidos por Equipamentos Clark Ltda)

DADOS GERAIS	
Peça	Fornecida centrada e faceada (figs. 7.1, 7.2 e 7.3)
Material	Aço ABNT 8620 forjado
Máquina	Torno copiador CHURCHILL - 20 HP Gama de Rotações Baixa: 192-220-255-280-320-360-440-545-640-720-820-930-1065-1200 Alta : 384-440-510-560-640-720-880-1090-1280-1440-1640-1860-2130-2400 Avanços: em velocidade de avanço 38,1 - 1371,6 mm/min (variação contínua) Angulo δ do copiador 120°
Ferramenta	Porta-ferramentas L 171.38.4025.22 Sandvik Pastilha TNMG 220412 P 30
MAQUINA E MAO-DE-OBRA	
	VALOR CR\$
Valor atual da máquina (já depreciada)	8.965.000,00
Salário do operador + sobretaxas Cr\$/h	1.375,00
Salário do preparador + sobretaxas Cr\$/h	1.650,00
FERRAMENTA	
Custo do porta-ferramentas	89.270,50
Custo da pastilha	2.717,00

Observação:- Na época da realização dos cálculos 1 dólar = Cr\$... 550,00

DADOS AUXILIARES	
Tempo de troca da ferramenta, min	1
Tempo de preparação, horas	5,33
Tempos $t_s + t_a$ min/peça	0,127
Número de peças do lote, Z	110
Receita R_t Cr\$/peça	5.500,00
Taxa de custos fixos T_{c_f} Cr\$/hora	11.000,00
Horas trabalhadas por ano	4596

7.3- PROCEDIMENTO DE CÁLCULO7.3.1- DETERMINAÇÃO DO AVANÇO DA FERRAMENTA

Segundo as recomendações do fabricante, a rugosidade de média superficial da peça R_a deve ficar em torno de $4 \mu\text{m}$, que em valor de rugosidade máxima R_{mx} é aproximadamente $12 \mu\text{m}$. Utilizando-se a expressão (5.21), obtêm-se, então para o avanço da ferramenta

$$a_t = \sqrt{8 \cdot \kappa \cdot R_{mx}} = \sqrt{8 \cdot 1,2 \cdot 0,012} = 0,34 \text{ mm/v}$$

Baseando-se em ensaios realizados no Centro de Tecnologia da UNICAMP, relacionando a rugosidade média superficial R_a , a velocidade de corte, o raio de arredondamento da ferramenta e o avanço (fig. 7.4); tem-se para o Aço ABNT 8620, pastilha de metal duro P 10, avanço $a_t = 0,29 \text{ mm/v}$ e raio de arredondamento da ferramenta $\kappa = 1,2 \text{ mm}$, o valor da rugosidade média superficial $R_a = 2,5 \mu\text{m}$, para velocidades de corte acima de 100 m/min . Utilizando-se para o avanço da ferramenta o valor $a_t = 0,30 \text{ mm/v}$, as condições impostas pelo fabricante, com relação ao acabamento superficial serão satisfeitas.

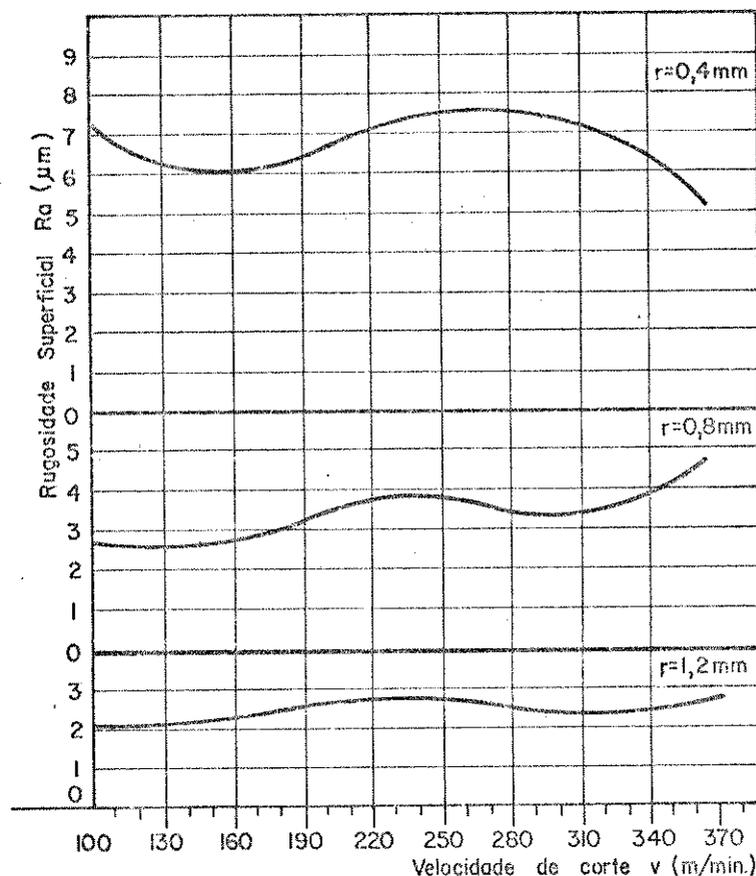


FIGURA 7.4- Relação entre R_a , v , r e a_t

Material da peça: Aço ABNT 8620

Material da ferramenta: Pastilha de Metal Duro P 10

7.3.2- DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO-EQUIVALENTE DA PEÇA

Devido ao fato dos chanfros da peça serem muito pequenos, pode-se considerá-la como sendo usinada cilindricamente em diferentes diâmetros, ou seja, pode-se calcular o diâmetro-equivalente da peça através da expressão (4.6), qual seja

$$d_e = \sqrt[x]{\frac{1}{l_a} \sum_{i=1}^m d_i^x \cdot l_{a_i}}$$

Os valores de x e de K da Equação Simplificada de Taylor para o par ferramenta-peça P 30-8620 e avanço $a_t = 0,30$ mm / v são respectivamente 4,01 e $9,4273 \times 10^{10}$ (valores obtidos do Manual do MIC-CT). Para o diâmetro-equivalente da peça, tem-se, então (fig. 7.3)

REFERÊNCIA	d_i (mm)	l_{a_i} (mm)	$d_i^x \cdot l_{a_i}$
1	41,28	22,20	$6,69 \times 10^7$
2	33,97	22,20	$3,06 \times 10^7$
3	41,28	62,90	$1,90 \times 10^8$
4	41,28	84,06	$2,53 \times 10^8$
5	46,85	42,26	$2,12 \times 10^8$
6	26,67	22,20	$1,16 \times 10^7$
7	39,63	62,90	$1,61 \times 10^8$
8	35,78	84,06	$1,43 \times 10^8$
9	45,54	17,84	$7,97 \times 10^7$
10	46,19	24,42	$1,16 \times 10^8$
11	56,15	3,30	$3,42 \times 10^7$
12	88,75	33,90	$2,20 \times 10^9$
$l_a = 482,24$			$\sum_{i=1}^{12} d_i^x \cdot l_{a_i} = 3,49 \times 10^9$

$$d_e = 51,38 \text{ mm}$$

7.3.3- DETERMINAÇÃO DO AVANÇO DO CARRO

Como a peça pode ser considerada usinada cilindricamente, os ângulos de rampa da peça são 0° e portanto os avanços do carro são iguais aos avanços da ferramenta, ou seja $a_c = 0,30$ mm/v, dispensando-se o cálculo do avanço equivalente.

7.3.4- DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES ECONÔMICAS DE USINAGEM

O quadro abaixo apresenta os valores das grandezas envolvidas nos custos de usinagem, calculados para diferentes rotações da máquina, com auxílio de computador.

	**	384.000 *	448.000 *	512.000 **
	**	560.000 *	640.000 *	720.000 **
Rotações do eixo	**	620.000 *	680.000 *	730.000 **
árvore (rpm)	**	1865.000 *	1098.000 *	1080.000 **
	**	1288.000 *	1443.000 *	

Velocidade de corte

equivalente

$$v_e = \frac{\pi \cdot d_e \cdot n}{1000}$$

(m/min)

Equação 4.2

**	61.952 *	70.567 *	82.202 **
**	86.347 *	103.717 *	116.187 **
**	132.293 *	141.970 *	153.043 **
**	171.828 *	175.081 *	190.836 **
**	286.595 *	322.726 *	

Vida da ferramenta

$$T = \frac{K}{v^x} \quad (\text{min})$$

Equação 3.1

**	5141.111 *	3037.784 *	1263.102 **
**	1352.637 *	731.833 *	492.755 **
**	293.104 *	238.821 *	176.529 **
**	182.741 *	97.613 *	63.661 **
**	49.146 *	30.347 *	

Tempo de corte

$$t_c = \frac{l_a}{a \cdot n} \quad (\text{min})$$

Equação 2.3

**	4.186 *	3.655 *	3.132 **
**	2.876 *	2.512 *	2.233 **
**	1.968 *	1.827 *	1.728 **
**	1.509 *	1.475 *	1.348 **
**	1.296 *	1.116 *	

Número de peças usadas por vida	**	1467,020 *	973,824 *	624,434 **
	**	471,224 *	315,262 *	221,158 **
$Z_T = \frac{T}{t_c}$	**	149,518 *	120,887 *	102,362 **
	**	68,069 *	63,477 *	47,527 **
(peças/vida)	**	39,136 *	27,454 *	

Tempos improdutivos + tempo de preparação

$$t_1 = t_s + t_a + \frac{t_p}{Z}$$

(min)

	**			**
	**			**
	**		3,636	**
	**			**
	**			**

Tempo de reposição

$$t_n = \left(\frac{1}{Z_T} - \frac{1}{Z} \right) \cdot t_{\delta t}$$

(min)

	**	0,000 *	0,000 *	0,000 **
	**	0,000 *	0,000 *	0,000 **
	**	0,000 *	0,000 *	0,000 **
	**	0,006 *	0,007 *	0,012 **
	**	0,016 *	0,027 *	

Equação 2.8

Tempo total de confecção

$$t_t = t_1 + t_n + t_c \text{ (min)}$$

	**	7,214 *	6,681 *	6,180 **
	**	5,900 *	5,542 *	5,264 **
	**	4,994 *	4,862 *	4,765 **
Equação 2.2	**	4,551 *	4,517 *	4,388 **
	**	4,308 *	4,180 *	

Custo da máquina

$$C_m = \frac{1}{H} \left[V_0 - \frac{k(V_0 - V_R)}{n} \right] (i+T) c_f$$

(Cr\$/hora)

12950,503

Equação 5.2

Custo de utilização da máquina

$$C_2 = C_m + S$$

(Cr\$/hora)

14320,420

Custo de preparação da máquina

$$C_3 = C_m + S$$

(Cr\$/hora)

14800,500

Custo de preparação para o lote de peças

$$C_{t_p} = C_3 \cdot \frac{t_p}{Z}$$

(Cr\$/peça)

707,900

Equação 5.4

Custo de reposição

$$C_{t_n} = C_2 \left[\frac{1}{Z_T} - \frac{1}{Z} \right] t_{\delta t}$$

(Cr\$/peça)

**	0.000 *	0.000 *	0.000 **
**	0.000 *	0.000 *	0.000 **
**	0.000 *	0.000 *	0.000 **
**	1.337 *	1.591 *	2.853 **
**	3.930 *	6.526 *	

Equação 5.5

Custo da ferramenta

$$C_{\delta e} = \frac{1}{Z_T} \left[\frac{n_{\delta p} (V_0 - V_R)}{V_0} + \frac{C_s}{n_s} \right]$$

(Cr\$/peça)

**	61.217 *	92.371 *	144.055 **
**	190.092 *	285.328 *	406.737 **
**	601.623 *	744.187 *	873.772 **
**	1321.493 *	1417.086 *	1890.804 **
**	2296.588 *	3276.526 *	

Equação 5.10

Custo do tempo de corte

$$C_{t_c} = C_2 \cdot t_c$$

(Cr\$/peça)

**	999.477 *	872.278 *	753.547 **
**	585.355 *	599.686 *	523.054 **
**	458.048 *	436.175 *	412.687 **
**	360.375 *	352.169 *	319.632 **
**	299.843 *	266.527 *	

Equação 5.3

Custo dos tempos im-
produtivos

$$C_{t_i} = C_2 (t_s + t_a)$$

(Cr\$/peça)

**			**
**			**
**		30.323	**
**			**
**			**

Custo total de confecção	**	1797.016 *	1700.947 *	1633.045 **
	**	1612.015 *	1621.031 *	1676.931 **
$C_t = C_{t_p} + C_{t_n} + C_{t_e} + C_{t_c} + C_{t_i}$	**	1807.325 *	1918.278 *	2029.852 **
	**	2421.435 *	2509.017 *	2953.600 **
(Cr\$/peça)	**	3340.504 *	4287.810 *	

Equação 5.1

Produção por minuto	**	0.139 *	0.150 *	0.162 **
$P_n = \frac{1}{t_t}$	**	0.170 *	0.180 *	0.190 **
(peças/min)	**	0.200 *	0.206 *	0.210 **
	**	0.220 *	0.221 *	0.228 **

Equação 6.5

**	0.232 *	0.239 *	
----	---------	---------	--

Receita total por minuto	**	762.428 *	823.186 *	889.896 **
$R_T = R_t \cdot P_n$	**	932.267 *	992.450 *	1044.810 **
(Cr\$/min)	**	1101.319 *	1131.236 *	1154.195 **
	**	1208.512 *	1217.489 *	1253.534 **

Equação 6.3

**	1276.580 *	1315.877 *	
----	------------	------------	--

Custo total por minuto	**	249.108 *	254.581 *	264.225 **
$C_T = C_t \cdot P_n$	**	273.377 *	292.652 *	318.559 **
(Cr\$/min)	**	361.898 *	394.550 *	425.972 **
	**	532.061 *	555.400 *	673.170 **

Equação 6.4

**	775.349 *	1025.860 *	
----	-----------	------------	--

Receita marginal em	**	7.138 *	6.335 *	5.507 **
relação \bar{a} velocidade	**	5.009 *	4.340 *	3.791 **
de corte	**	3.234 *	2.953 *	2.743 **
$\frac{\partial R_T}{\partial v}$ (Cr\$/v)	**	2.264 *	2.187 *	1.883 **
Equação 6.7	**	1.692 *	1.364 *	

Custo marginal em re				
lação \bar{a} velocidade	**	0.510 *	0.708 *	1.018 **
de corte	**	1.264 *	1.737 *	2.292 **
$\frac{\partial C_T}{\partial v}$ (Cr\$/v)	**	3.103 *	3.651 *	4.144 **
	**	5.636 *	5.938 *	7.359 **
Equação 6.8	**	8.487 *	10.973 *	

Lucro total por mi-				
nuto	**	513.320 *	568.605 *	625.671 **
	**	658.890 *	699.798 *	726.251 **
$L_T = R_T - C_T$	**	739.420 *	736.686 *	728.223 **
(Cr\$/min)	**	676.452 *	662.089 *	580.363 **
Equação 6.2	**	501.231 *	290.017 *	

Receita marginal em				
relação \bar{a} produção	**	0.000 *	5500.000 *	5500.000 **
$R_{mg_i} = \frac{R_{T_i} - R_{T_{(i-1)}}}{P_{n_i} - P_{n_{(i-1)}}}$	**	5500.000 *	5500.000 *	5500.000 **
	**	5500.000 *	5500.000 *	5500.000 **
Cr\$/peça - Capítulo I	**	5500.000 *	5500.001 *	5500.000 **
	**	5500.000 *	5499.999 *	

Custo marginal em relação à produção	**	0.000 *	495.394 *	795.156 **
$C_{mg}^i = \frac{C_T^i - C_T^{(i-1)}}{P_{r_i} - P_{r^{(i-1)}}}$	**	1187.928 *	1761.505 *	2721.309 **
	**	4218.232 *	6002.687 *	7527.440 **
Cr\$/peça	**	10742.132 *	14299.890 *	17970.473 **
	**	24384.717 *	35061.486 *	

Capítulo I

Velocidade de mínimo custo v_0	**			**
	**			**
m/min	**		94.345	**
	**			**
Equação 5.15	**			**

Velocidade de máxima produção v_{mxp}	**			**
	**			**
m/min	**		414.392	**
	**			**
Equação 5.23	**			**

Velocidade de máximo lucro	**			**
	**			**
m/min	**		133.900	**
	**			**
Equação 6.10	**			**

ROTACAO DE MAXIMO LUCRO = 820.000

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

VALOR OBTIDO PELA FORMULA 6.11

7.3.4.1- SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA AS CONDIÇÕES ECONÔMICAS DE USINAGEM EM RELAÇÃO À VELOCIDADE DE CORTE

A tabela I e a fig. 7.5 mostram o resumo dos resultados das condições econômicas de usinagem, obtidos pelas equações apresentadas nos capítulos V e VI. A faixa de rotações (384 a 930) apresentada nesta síntese abrange as condições de mínimo custo e máximo lucro.

A velocidade de mínimo custo obtida pela equação (5.15) resultou em 94,345 m/min, valor esse que se encontra na pg 121.

O valor da receita mínima calculada pela expressão (6.11) também fornece graficamente o valor da velocidade de mínimo custo (fig. 7.5). Isto porque o valor da receita mínima é o valor limite abaixo do qual tem-se prejuízo e acima do qual se obtêm lucros, ou seja, o valor do lucro por peça é nulo e consequentemente o valor da receita por peça é igual ao valor do custo por peça.

Como foi visto anteriormente, a condição de máximo lucro ocorre quando $\frac{\partial R_t}{\partial v} = \frac{\partial C_t}{\partial v}$ ou quando é satisfeita a expressão (6.10). O valor calculado foi de 133,9 m/min, o qual se encontra na pg 121. A página seguinte mostra a tabela I e a fig. 7.5, mostra os gráficos obtidos a partir desta tabela.

Devido ao fato que as rotações são escalonadas, os valores calculados das rotações para mínimo custo e máximo lucro, deverão ser corrigidos para as rotações existentes na máquina. Para o mínimo custo escolheu-se a rotação 640 rpm e para o máximo lucro a rotação 820 rpm.

TABELA I- Resumo dos resultados obtidos do quadro 7.3.4, em relação a velocidade de corte

n (rpm)	P_{μ} (peças/min)	C_{μ} (Cr\$/peça)	C_T (Cr\$/min)	R_{μ} (Cr\$/peça)	R_T (Cr\$/min)	$\frac{\partial C_T}{\partial v}$ (Cr\$/v)	$\frac{\partial R_T}{\partial v}$ (Cr\$/v)	L_T (Cr\$/min)
384	0,139	1797,016	249,108	5500,00	762,428	0,510	7,138	513,320
440	0,150	1700,947	254,581	5500,00	823,186	0,708	6,335	568,605
510	0,162	1633,045	264,225	5500,00	889,896	1,010	5,507	625,671
560	0,170	1612,815	273,377	5500,00	932,267	1,264	5,009	658,890
640	0,180	1621,831	292,652	5500,00	992,450	1,737	4,340	699,798
720	0,190	1676,931	318,559	5500,00	1044,810	2,292	3,791	726,251
820	0,200	1807,325	361,898	5500,00	1101,319	3,103	3,234	739,420
880	0,206	1918,278	394,550	5500,00	1131,236	3,651	2,953	736,686
930	0,210	2029,852	425,972	5500,00	1154,195	4,144	2,743	728,223

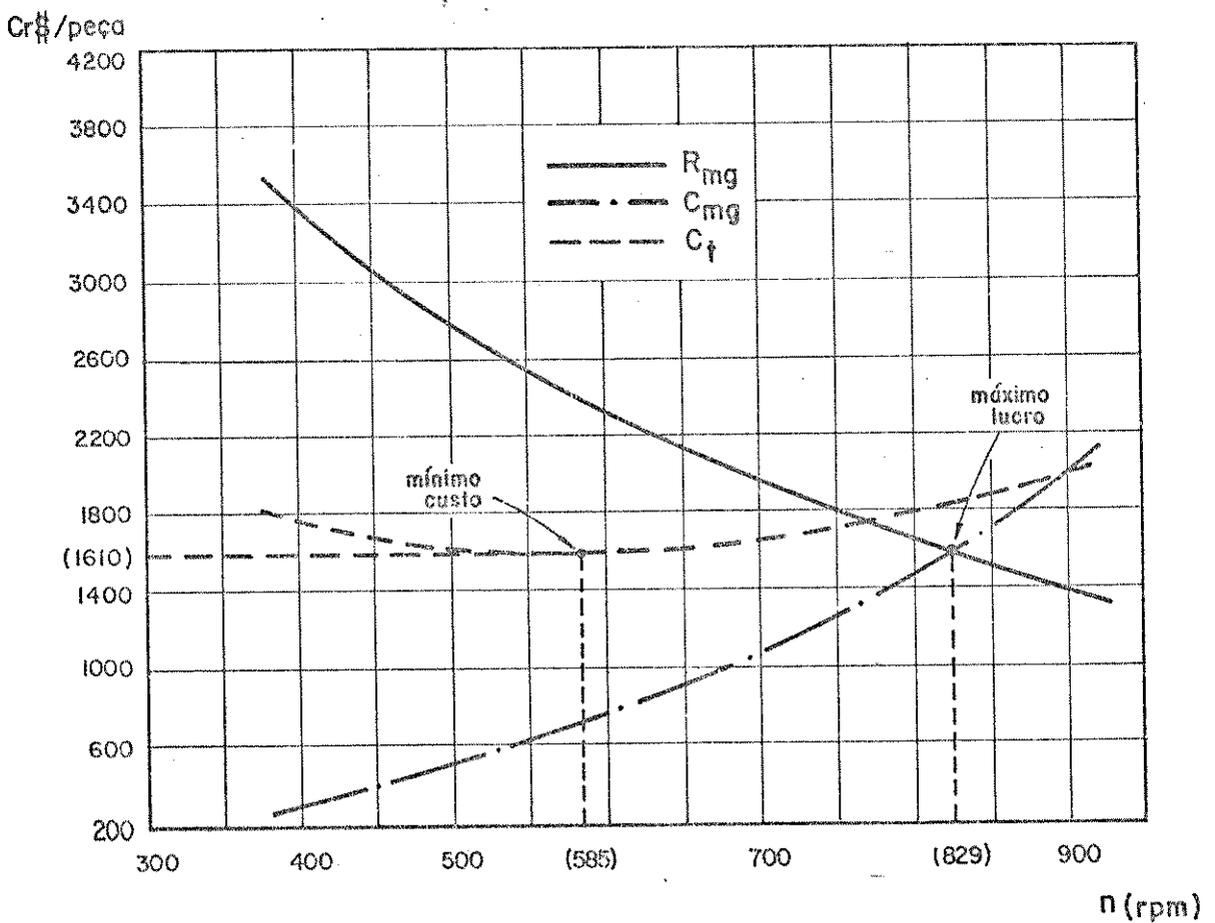
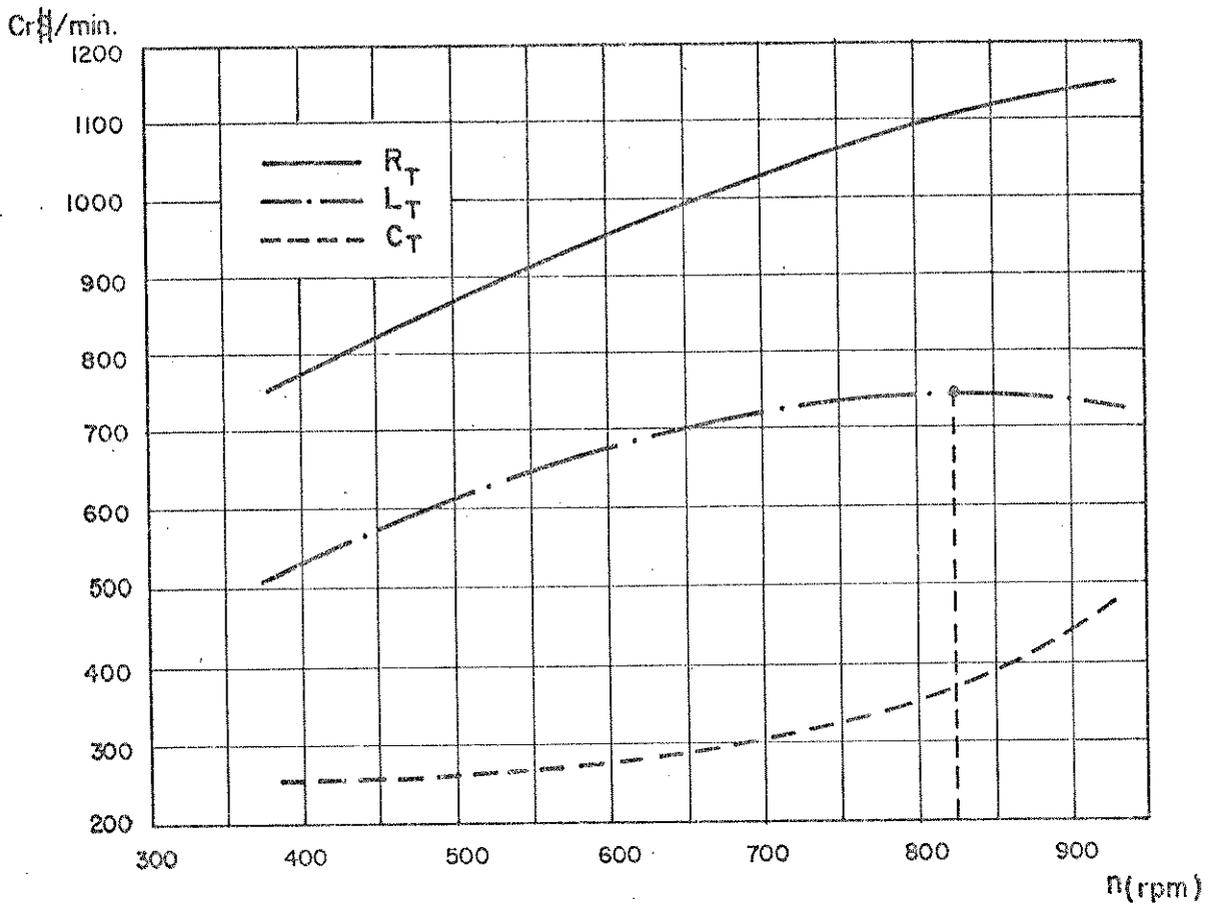


FIGURA 7.5- Condições de mínimo custo e máximo lucro obtidas em relação à velocidade de corte

7.3.4.2- SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA AS CONDIÇÕES ECONÔMICAS DE USINAGEM EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE PEÇAS PRODUZIDAS NUM DE TERMINADO PERÍODO

A tabela II e a fig. 7.6 mostram o resumo dos resultados das condições econômicas de usinagem obtidos através dos conceitos apresentados no capítulo I.

Como foi visto anteriormente, a condição de mínimo custo é obtida quando o valor do mínimo custo por peça iguala o valor do custo marginal ($C_x = C_{mg}$). Observando-se a tabela II, esta igualdade ocorre entre as rotações 560 e 640 rpm.

A condição de máximo lucro obtém-se quando o valor do custo marginal iguala o valor da receita marginal ($C_{mg} = R_{mg}$). Observando-se a tabela II esta igualdade ocorre entre 820 e 880 rpm. No presente caso em que a receita por peça não varia com o volume de peças produzidas em um determinado período, o valor da receita marginal é igual ao valor da receita por peça.

TABELA II- Resumo dos resultados obtidos do quadro 7.3.4, em relação ao número de peças produzidas

n (rpm)	P_h (peças/min)	C_t (Cr\$/peça)	C_T (Cr\$/min)	R_t (Cr\$/peça)	R_T (Cr\$/min)	C_{mg} (Cr\$/peça)	R_{mg} (Cr\$/peça)	L_T (Cr\$/min)
384	0,139	1797,016	249,108	5500,00	762,428	-	-	513,320
440	0,150	1700,947	254,581	5500,00	823,186	495,394	5500,00	568,605
510	0,162	1633,045	264,225	5500,00	889,896	795,156	5500,00	625,671
560	0,170	1612,815	273,377	5500,00	932,267	1187,928	5500,00	658,890
640	0,180	1621,831	292,652	5500,00	992,450	1761,505	5500,00	699,798
720	0,190	1676,931	318,559	5500,00	1044,810	2721,309	5500,00	726,251
820	0,200	1807,325	361,898	5500,00	1101,319	4218,232	5500,00	739,420
880	0,206	1918,278	394,550	5500,00	1131,236	6002,687	5500,00	736,686
930	0,210	2029,852	425,972	5500,00	1154,195	7527,440	5500,00	728,223

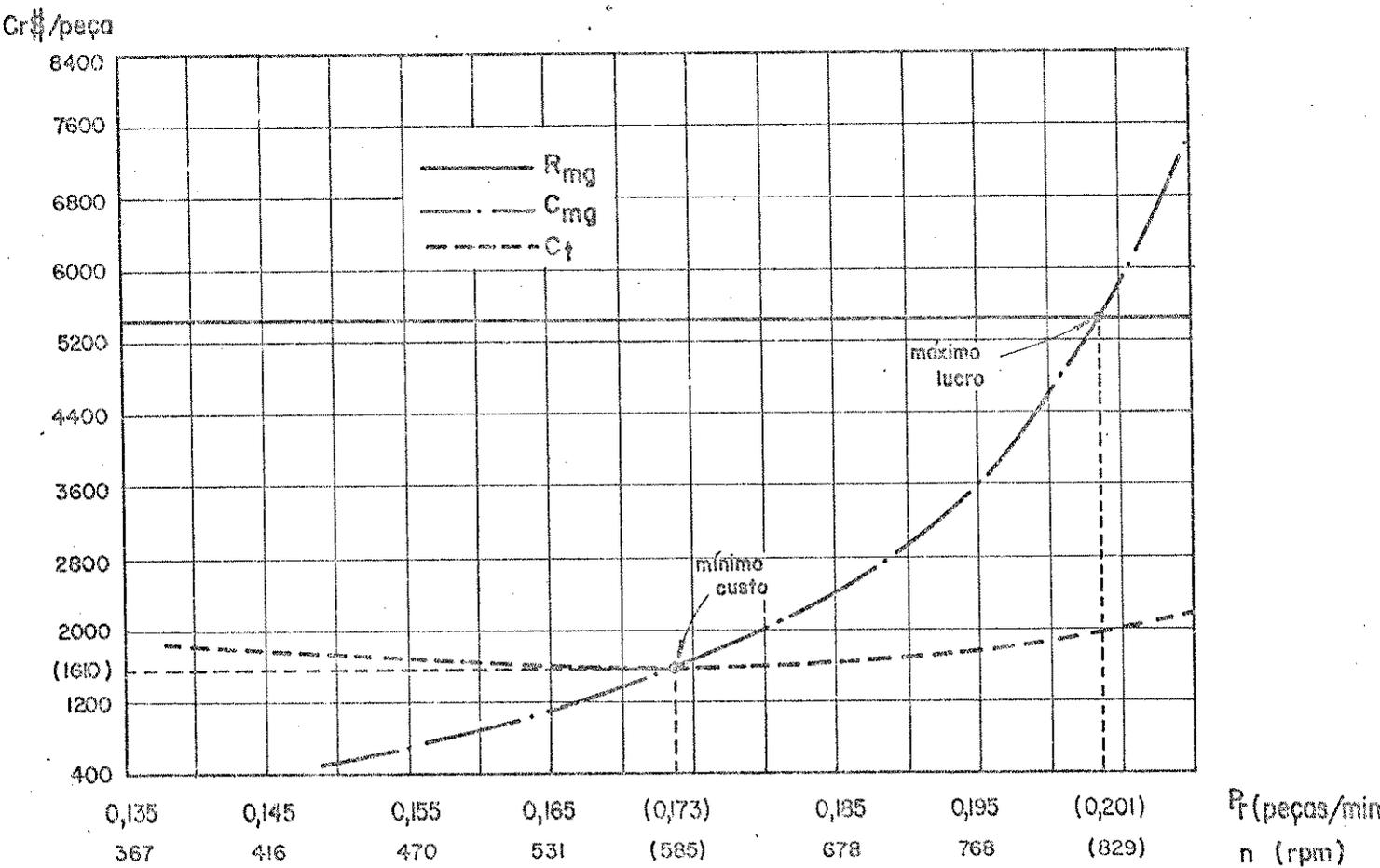
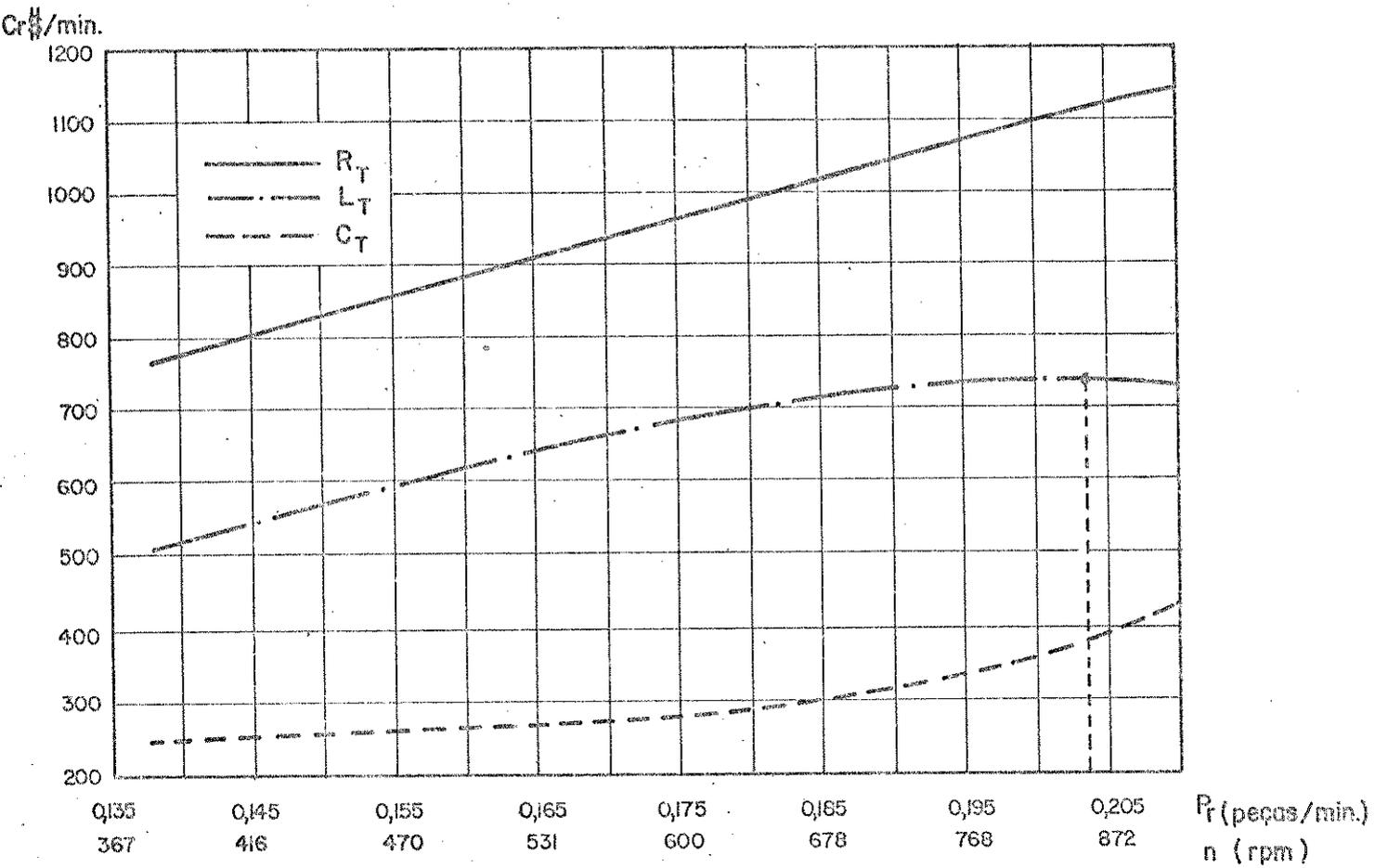


FIGURA 7.6- Condições de mínimo custo e máximo lucro baseados nos conceitos do capítulo I

VIII- CONCLUSÕES

No capítulo I foram definidas as diferentes grandezas envolvidas na determinação dos custos de fabricação. Foi mostrado que a curva de custo de fabricação por peça apresenta um ponto de valor mínimo, o qual pode ser determinado a partir da igualdade entre o custo por peça e o custo marginal. Definiu-se também as grandezas referentes às receitas geradas na Empresa. A partir dos conceitos de custos e receitas, definiu-se o lucro como a diferença entre a receita total e o custo total. O seu valor máximo é obtido quando o valor da receita marginal iguala o valor do custo marginal.

Foram apresentados ainda no capítulo I os conceitos relativos às taxas de custos fixos, depreciação e encargos sociais, conceitos estes necessários à determinação dos custos operacionais. Esta conceituação foi apresentada de uma forma dirigida àqueles que se dedicam aos processos de manufatura.

No capítulo II foram apresentados todos os conceitos relativos aos tempos de manufatura, necessários à determinação dos custos e receitas totais, num determinado período de produção.

No capítulo III tratou-se dos conceitos relacionados aos desgastes da ferramenta na operação de usinagem, curvas de desgaste e vida da ferramenta. Foram citadas também as principais equações utilizadas na determinação da vida da ferramenta.

A inclusão desses conhecimentos se torna necessária para a dedução das equações de mínimo custo, máxima produção e máximo lucro, em função da velocidade de corte.

No capítulo IV foram apresentados inicialmente os conceitos de velocidade e diâmetro equivalentes, para operação de torneamento com avanço e profundidade de corte constante. Foram abordadas as diferenças entre percurso de avanço do carro de um torno copiador e o percurso de avanço da ferramenta, quando a peça obra não é cilíndrica. Igual procedimento foi feito com os avanços e velocidades de avanço.

Estes conceitos aplicam-se da mesma forma para tornos de comando numérico, cuja tendência de utilização destas máquinas nos processos de usinagem é cada vez maior, dado o desenvolvimento deste tipo de equipamento.

Tendo em vista que o avanço da ferramenta nestas máquinas pode ser variável, há necessidade da determinação do avanço equivalente. Constatando-se na literatura especializada, a ausência de pesquisas sobre a sua determinação, procedeu-se uma série de ensaios experimentais, os quais estão descritos no Anexo.

Ainda no capítulo IV são apresentadas considerações sobre o emprego da Teoria da Equivalência, para possibilitar a determinação das condições de mínimo custo, máxima produção e máximo lucro em peças escalonadas, usinadas com avanços e velocidades de corte variáveis.

No capítulo V tratou-se das expressões do custo de manufatura por peça, mínimo custo e máxima produção, calculadas pelos métodos clássicos de determinação das condições econômicas de usinagem, ou seja, a partir da velocidade de corte.

No capítulo VI foram deduzidas as expressões para obtenção da velocidade de máximo lucro e receita mínima, também segundo os métodos clássicos de determinação das condições econômicas de usinagem. Tais expressões foram deduzidas das equações de custo apresentadas no capítulo V, as quais envolvem também os custos de reposição da ferramenta.

Observa-se ainda no capítulo VI que o valor da receita mínima, obtida pela expressão (6.11), é igual ao valor do mínimo custo por peça.

Como ilustração dos conceitos tratados, o capítulo VII apresenta um exemplo numérico dos dois métodos de cálculo para obtenção das condições econômicas de usinagem. O método clássico, no qual determinam-se as velocidades de mínimo custo, máximo lucro e máxima produção, apresenta as seguintes vantagens:

- a) Através de equações analíticas calculam-se diretamente as velocidades para aquelas condições de usinagem, sem haver necessidade do cálculo dos custos para as diferentes rotações existentes na máquina;
- b) É o método mais indicado para máquinas com variação contínua de velocidades.

O método baseado nos conceitos econômicos apresenta as seguintes vantagens:

- a) Não exige a dedução de equações específicas para a determinação das condições econômicas de usinagem para os diferen

tes processos de usinagem;

- b) Apesar deste método necessitar a elaboração de uma tabela para determinar as condições econômicas de usinagem, permite obter uma série de informações necessárias ao estudo dos custos de manufatura.

Tanto o método baseado nos conceitos obtidos por estudos econômicos, como o método baseado na velocidade de corte, conduzem aos mesmos resultados.

Como prosseguimento do trabalho ora apresentado, pretende-se estudar as condições econômicas de usinagem, aplicando-se o método geral às operações mais significativas no que concerne aos custos de manufatura. Nesta mesma linha de pesquisa pretende-se estudar a maximização da taxa de retorno de investimento no lote de fabricação, como também a interrelação entre o lote econômico e os processos variáveis de corte.

ANEXOVERIFICAÇÃO DA VALIDADE DA EXPRESSÃO DO AVANÇO EQUIVALENTE PARA VELOCIDADES DE CORTE VARIÁVEIS E PARA VELOCIDADES DE CORTE CONSTANTESA.1- INTRODUÇÃO

No Capítulo IV - Equivalência nas operações de usinagem - utilizou-se para a determinação do avanço equivalente, por analogia à expressão da velocidade de corte equivalente, a equação(4.19)

$$a_{t_e} = \sqrt[y]{\frac{1}{t_c} \int_0^{t_c} a_t^y \cdot dt}$$

Para comprovação desta expressão, realizou-se uma série de ensaios experimentais, empregando-se um torno com comando numérico marca ERI 250 CSEPEL, com comando NC BOSCH 802, existente na Divisão de Processos de Manufatura do Centro de Tecnologia da UNICAMP (fig. A.1).

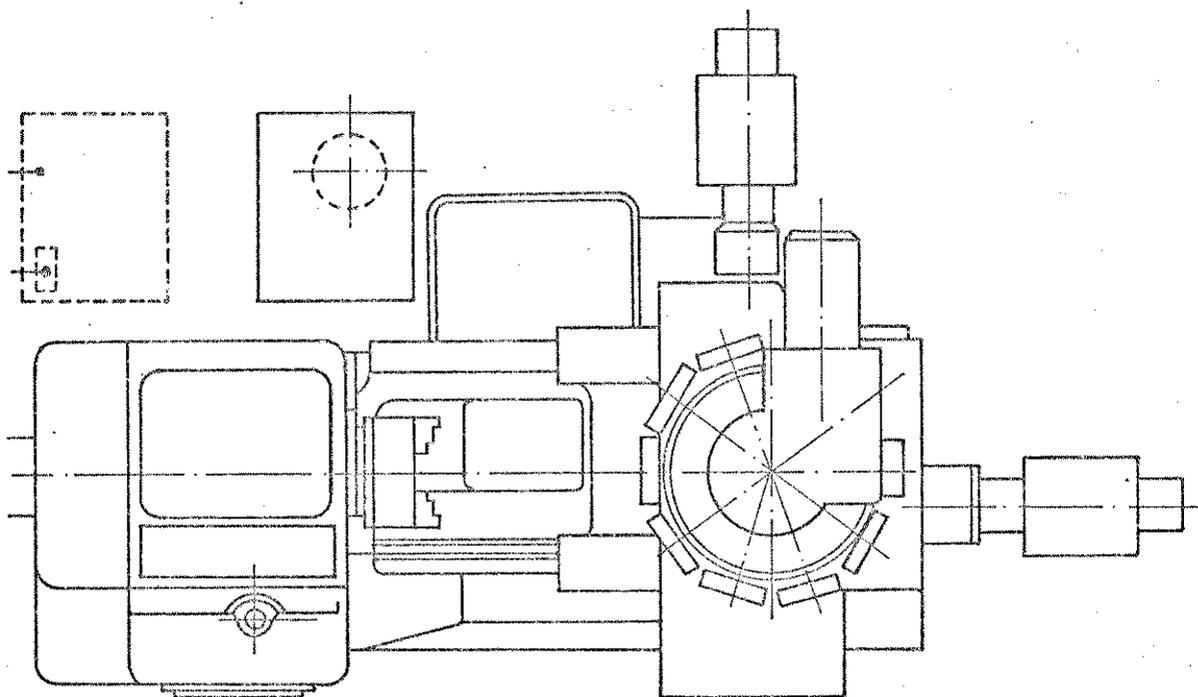


FIGURA A.1- Torno ERI 250 CSEPEL utilizado nos ensaios

Os ensaios foram efetuados com duas ferramentas, sendo a ferramenta na posição 1 a de desbaste (fig. A.2) e a ferramenta na posição 2 (fig. A.3) a dos ensaios propriamente dito. As figuras A.4 , A.5 e A.6 mostram as formas e dimensões das peças ideadas para esta comprovação. O material das peças foi de aço ABNT 1045 e o das ferramentas foi de aço rápido, fabricação VILLARES com 10% de cobalto.

Tanto o material das peças como o material das ferramentas eram de mesmo lote. As figuras A.7, A.8, A.9 e A.10 mostram as regiões de retirada dos corpos de prova para análise do material da peça.

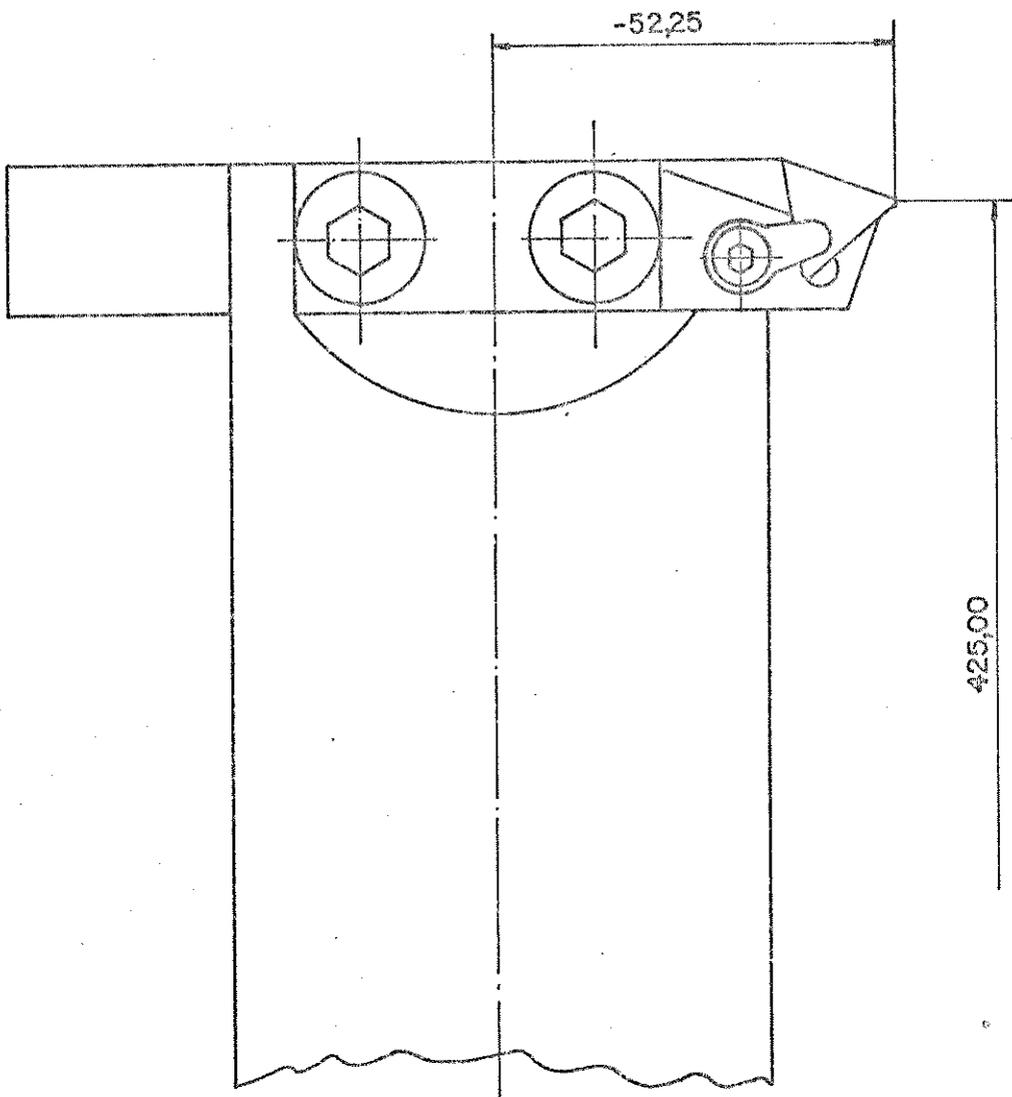


fig. A.2

Ferramenta para desbaste

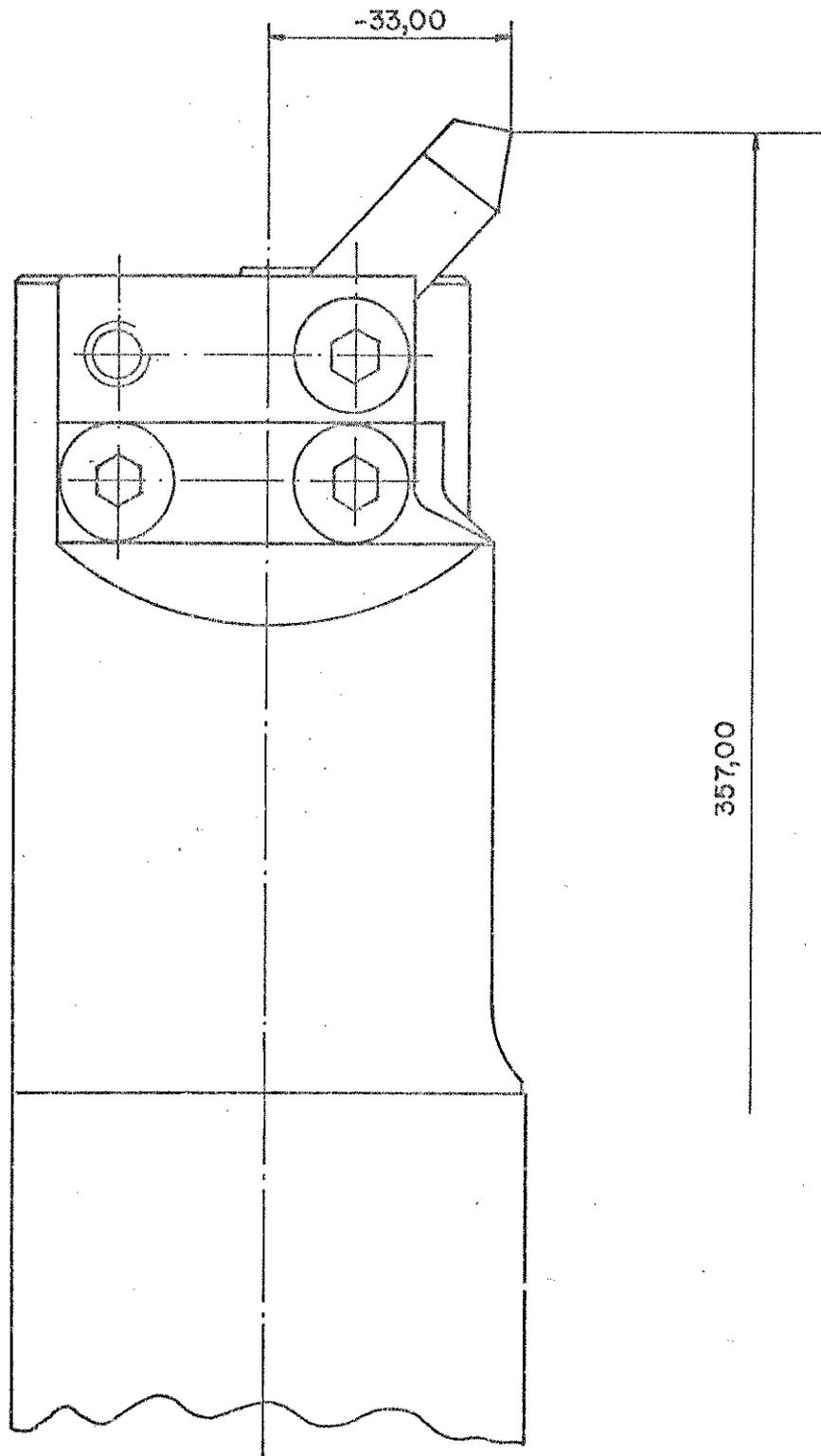


fig. A.3

Ferramenta para ensaios de torneamento

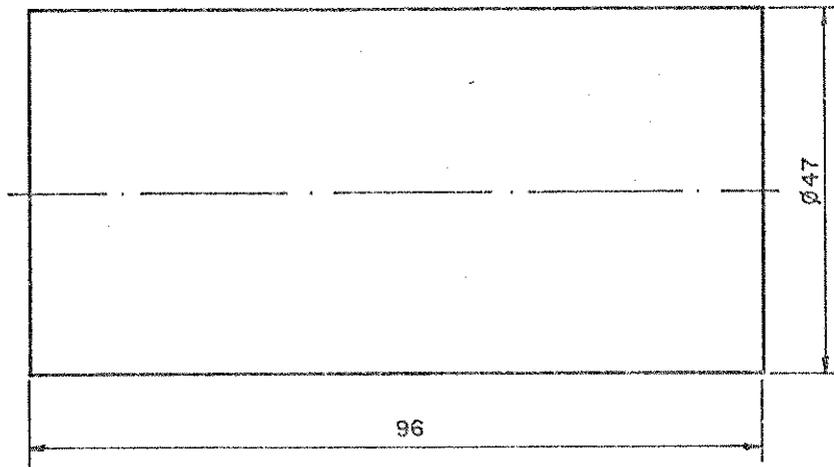


FIGURA A.4- Dimensões da parte usinada da peça para levantamento da curva de vida

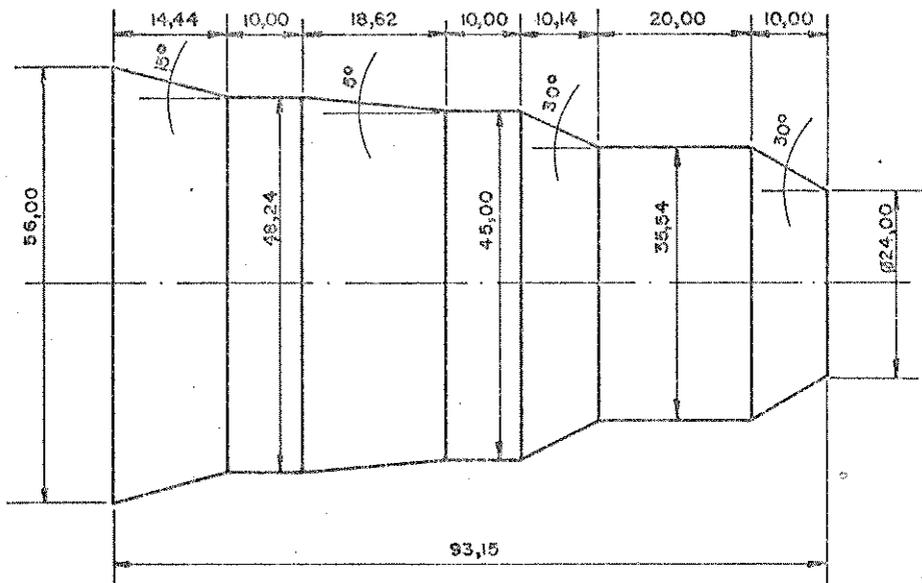


FIGURA A.5- Dimensões da parte da peça usinada com avanços e velocidades de corte variáveis

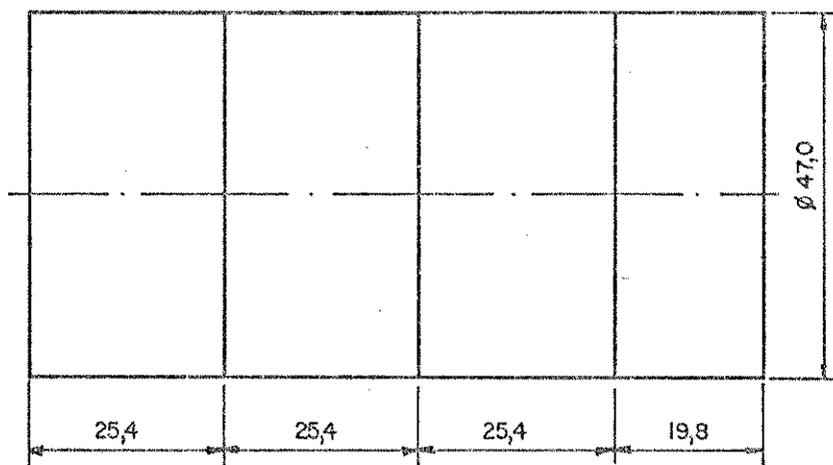


FIGURA A.6- Dimensões da parte usinada da peça para levantamento da curva de desgaste com avanços variáveis na mesma peça

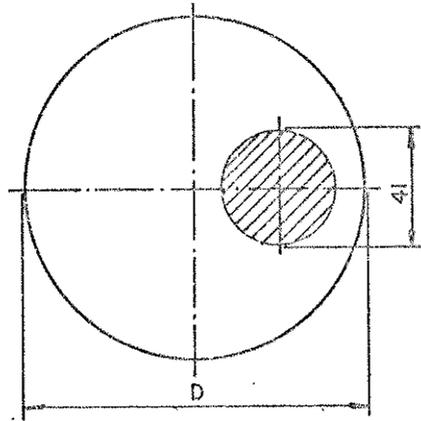


FIGURA A.7- Região de retirada do corpo de prova para análise química

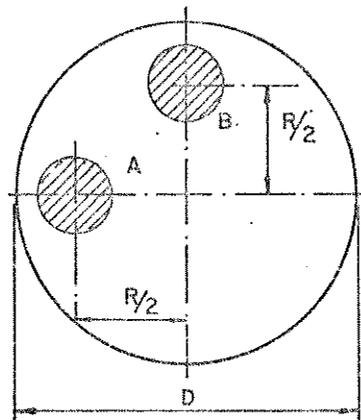


FIGURA A.8- Região de retirada do corpo de prova para ensaio de tração

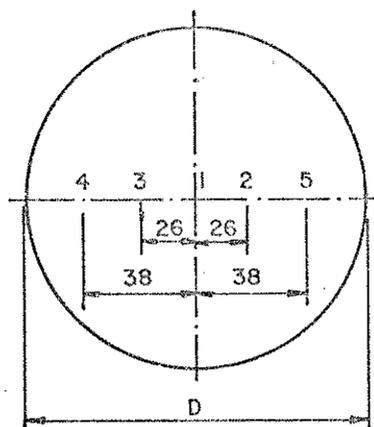


FIGURA A.9- Região de medida de dureza

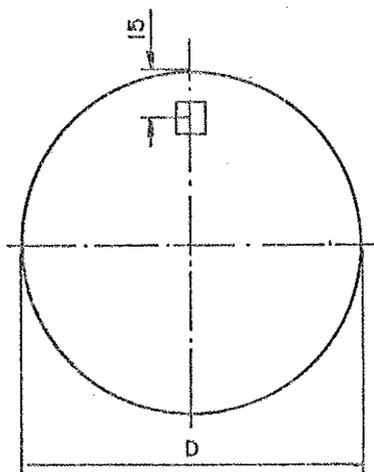


FIGURA A.10- Região de retirada do corpo de prova para o exame micrográfico

A.2- PROCEDIMENTO DOS ENSAIOS

Os ensaios para a verificação da validade da expressão do avanço equivalente (equação 4.19) foram conduzidos da seguinte maneira:

- a) levantamento das curvas de desgaste-vida para a obtenção do expoente x da expressão de Taylor $T \cdot v^x = K$, para um determinado par ferramenta/peça;
- b) levantamento da curva de desgaste para uma peça ideada com diâmetros variáveis, usinada com rotação constante e avanços da ferramenta variáveis em cada trecho da peça;
- c) determinação da velocidade de corte equivalente;
- d) levantamento da curva de desgaste para uma peça usinada com velocidade de corte equivalente (constante) calculada em b e com avanços variáveis da ferramenta;
- e) levantamento da curva de vida para a obtenção dos parâmetros y e W da expressão $T \cdot a_t^y = W$, utilizando-se a velocidade de corte equivalente.

Os objetivos destes ensaios foram:

- comprovar a afirmação g - item 4.3.4 através da comparação do valor de avanço equivalente calculado pela expressão (4.19), com o valor obtido pela curva de vida A.16, para o caso da peça usinada com diâmetros variáveis;
- comprovar a validade da expressão (4.19) através da compara-

ção do avanço determinado pela curva de vida com o avanço equivalente calculado pela equação (4.19), para o caso da peça usinada com diâmetro constante.

A.2.1- LEVANTAMENTO DAS CURVAS CITADAS EM A.2 PARA O AÇO ABNT 1045

A.2.1.1- CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL DA PEÇA

ANÁLISE QUÍMICA (ABNT NB-82)

DESIGNAÇÃO ABNT	% ELEMENTOS							
	C	S _i	M _n	C _r	N _i	M _o	P	S
1045	0,45	0,17	0,78	-	-	-	0,019	-

ENSAIO DE TRAÇÃO (ABNT MB-4)

DESIGNAÇÃO ABNT	POSIÇÃO DO CORPO DE PROVA	LIMITE DE ES- COAMENTO 0,2%	LIMITE DE RE- SISTÊNCIA TRAÇÃO	ALONGAMENTO EM 50 mm	ESTRICÇÃO
		(kgf/mm ²)	(kgf/mm ²)	%	%
1045	A	41,8	74,6	21,2	44,1
	B	42,0	74,7	23,0	44,1

ENSAIO DE DUREZA (ABNT MB-60)

DESIGNAÇÃO ABNT	DUREZA BRINELL				
	POSIÇÃO	POSIÇÃO	POSIÇÃO	POSIÇÃO	POSIÇÃO
	1	2	3	4	5
1045	194	204	202	203	204

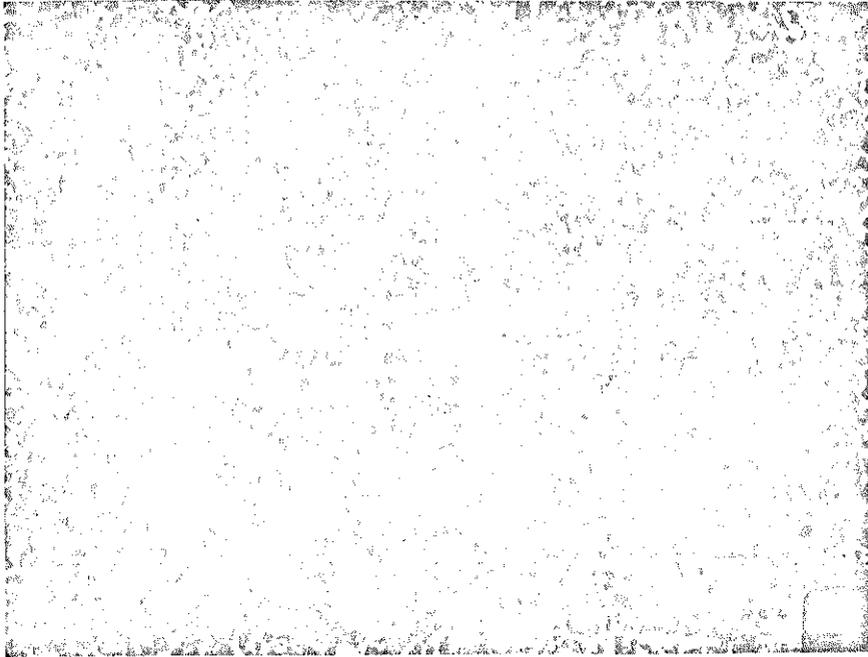
MICROGRAFIA

FIGURA A.11- Rede de ferrita envolvendo grãos de perlita fina (estrutura típica de material normalizado)

Inclusões (ASTM e 45-Método B)

$$5^{vd} - 1,17^{17} - C$$

Inclusões predominantes de sulfetos

A.2.1.2- CARACTERÍSTICAS DA FERRAMENTA

Dureza

Dureza média das ferramentas - 67R_c

Material

Aço rápido 10% C₀

Geometria

$$\alpha = 9^{\circ}, \quad \gamma = 9^{\circ}, \quad \lambda = 0^{\circ},$$

$$x = 35^{\circ}, \quad \epsilon = 85^{\circ}, \quad \lambda = 1 \text{ mm},$$

$$X_e = 75^{\circ}$$

A.2.1.3- LEVANTAMENTO DAS CURVAS DE DESGASTE-VIDA PARA A OBTENÇÃO DO EXPOENTE x DA EXPRESSÃO $T.v^x=K$, PARA AVANÇO CONSTANTE

As condições de usinagem utilizadas para a obtenção dos parâmetros citados acima foram as seguintes:

velocidades de corte $v = 62,90; 52,42; 43,68$ m/min,

profundidade de corte $p = 2,5$ mm,

avanço da ferramenta $a_t = 0,14$ mm/v,

fluido de corte = óleo solúvel 1:20.

As peças usinadas eram cilíndricas, cujas dimensões estão mostradas na fig. A.4. Após a usinagem de cada peça era medido o desgaste da ferramenta; o critério de desgaste frontal (I_ℓ) estabelecido para a vida da ferramenta foi $I_\ell = 0,40$ mm.

O ensaio foi realizado na faixa de velocidades acima, devido ao fato que para velocidades de corte acima de 62,90 m/min ocorria a quebra prematura da ferramenta e para velocidades de corte menores de 43,68 m/min ocorria a formação de aresta postiza de corte, impedindo a leitura dos valores do desgaste da ferramenta. A figura A.12 mostra as curvas de desgaste-vida da ferramenta.

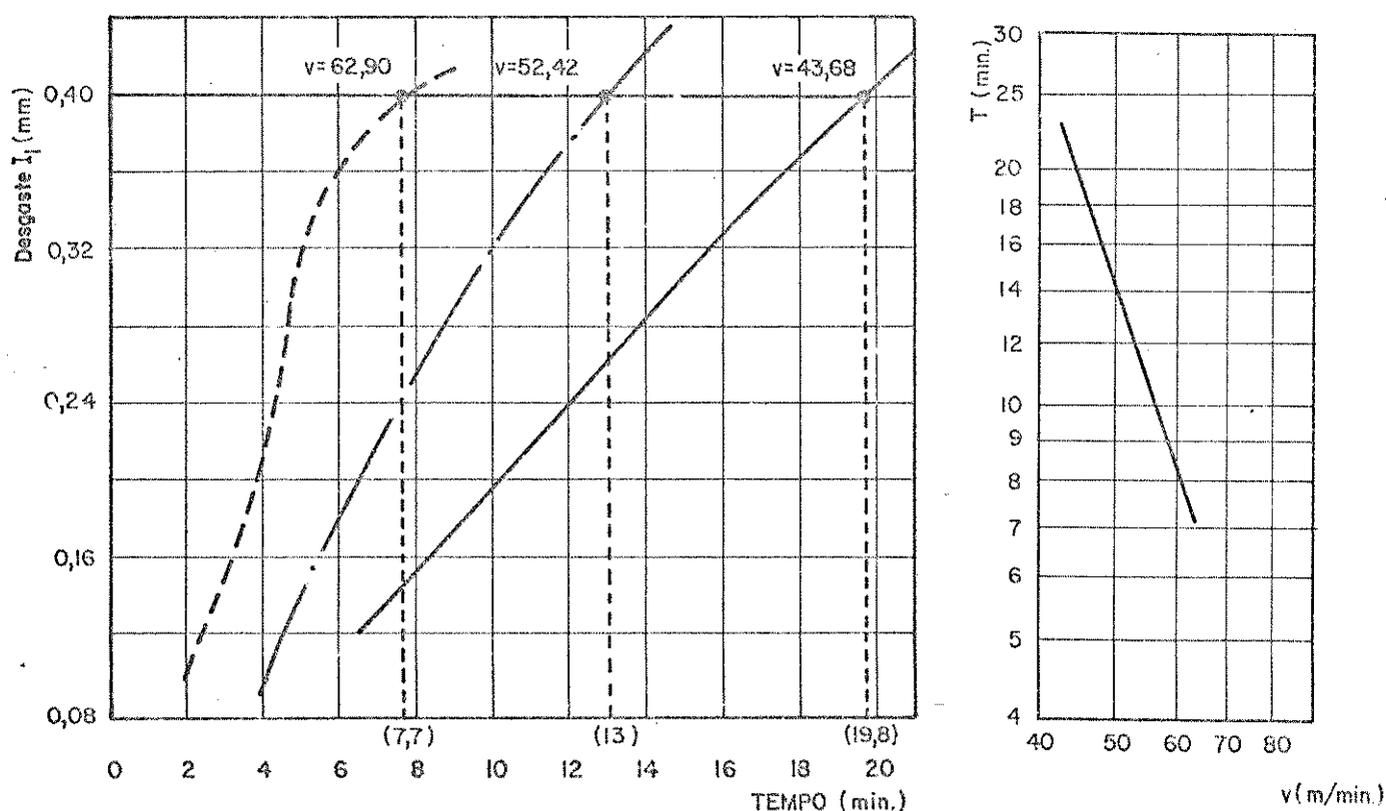


FIGURA A.12- Curvas de desgaste-vida da ferramenta para velocidades de corte e avanço constantes (fig. A.4)

Através das curvas da figura A.12 determinou-se analiticamente o valor do expoente x para o critério de desgaste $I_{\ell} = 0,40$ mm, cujo resultado foi $x = 3,30$.

A.2.1.4- LEVANTAMENTO DA CURVA DE DESGASTE PARA UMA PEÇA USINADA COM AVANÇOS E VELOCIDADES DE CORTE VARIÁVEIS

As condições de usinagem utilizadas foram as seguintes:

diâmetro da peça = variável de acordo com a figura A.5,

rotação da peça constante = 355 rpm ,

profundidade de corte $p = 2,5$ mm,

avanços da ferramenta $a_t = 0,05; 0,100; 0,112; 0,140$ mm/v,

fluido de corte = óleo solúvel 1:20

As peças foram usinadas com os quatro avanços sucessivamente, ou seja, cada determinado trecho da peça foi usinado com um dos avanços especificados acima (fig. A.5).

Após a usinagem de cada peça foi medido o desgaste da ferramenta. A partir dos valores do desgaste da ferramenta em função do tempo de usinagem traçou-se a curva de desgaste abaixo (fig. A.13).

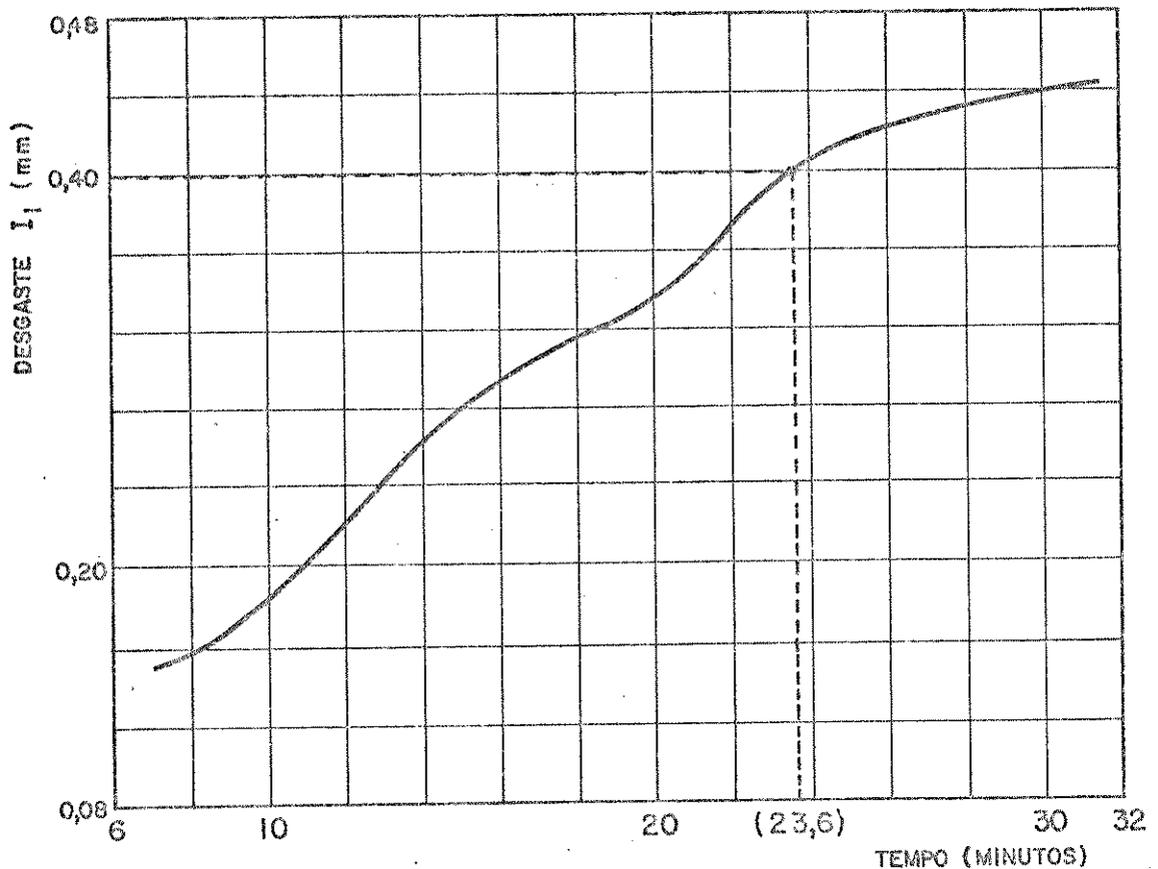


FIGURA A.13- Curva de desgaste da ferramenta em função do tempo de usinagem para velocidades e avanços variáveis (fig. A.5)

A.2.1.4.1- CÁLCULO DA VELOCIDADE DE CORTE EQUIVALENTE

De acordo com os valores experimentais de x citados nas bibliografias (1,2 e 3), constata-se que esse expoente, dentro de certos limites, praticamente não varia com o valor do avanço da ferramenta a_t .

Partindo-se desta hipótese calculou-se o diâmetro-equivalente da ferramenta com o valor de x obtido com avanço constante.

Para o cálculo do diâmetro-equivalente da peça em questão, calculou-se inicialmente o diâmetro-equivalente dos quatro cones através da expressão (4.5) que resultou nos valores 30,19; 40,52; 46,65 e 52,42 mm respectivamente (fig.A.14).

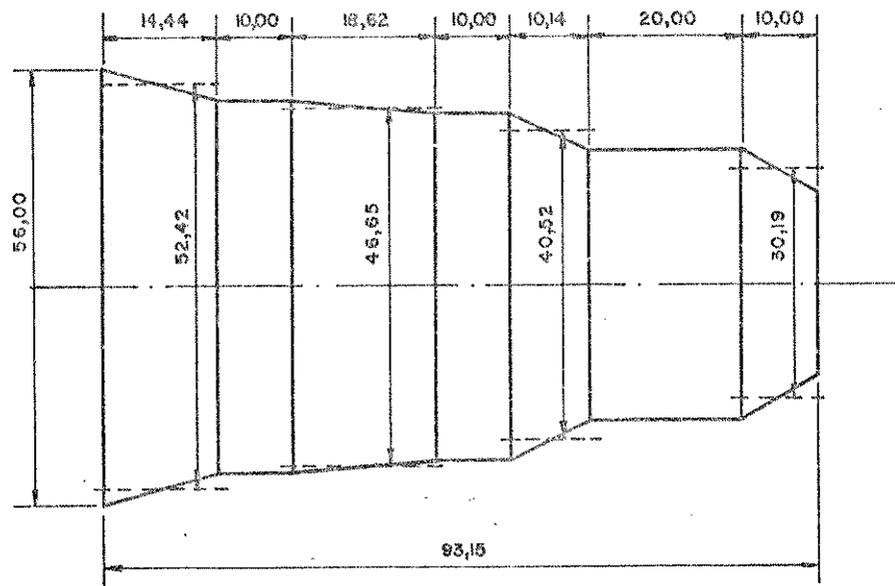


FIGURA A.14- Peça escalonada com os diâmetros equivalentes dos cones

De posse destes valores procedeu-se então, ao cálculo do diâmetro-equivalente da peça, utilizando-se a expressão (4.6) como segue

d_i (mm)	l_{a_i} (mm)	$d_i^x \cdot l_{a_i}$
30,19	10,00	$7,6 \times 10^5$
35,54	20,00	$2,6 \times 10^6$
40,52	10,14	$2,0 \times 10^6$
45,00	10,00	$2,8 \times 10^6$
46,65	18,52	$5,9 \times 10^6$
48,24	10,00	$3,6 \times 10^6$
52,42	14,49	$6,8 \times 10^6$
$d_e = 47,00$	$\Sigma l_{a_i} = 93,15$	$\Sigma d_i^x \cdot l_{a_i} = 3,14 \times 10^7$

A velocidade de corte equivalente para a rotação $n = 355$ rpm resulta, portanto, no valor $v_e = 52,42$ m/min (equação 4.2).

A.2.1.5- LEVANTAMENTO DA CURVA DE DESGASTE PARA UMA PEÇA USINADA COM VELOCIDADE DE CORTE CONSTANTE E AVANÇOS SUCESSIVOS VARIÁVEIS

As condições de usinagem utilizadas foram as seguintes:

diâmetro constante $d = 47,00$ mm,

velocidade de corte $v = 52,42$ m/min,

profundidade de corte $p = 2,5$ mm,

avanços da ferramenta $a_t = 0,05; 0,100; 0,112$ e $0,140$ mm/v,

fluido de corte = óleo solúvel 1:20

A velocidade de corte utilizada foi a velocidade de corte equivalente calculada em A.2.1.4.1, a fim de que todos os ensaios fossem realizados com a mesma velocidade.

As peças foram usinadas com os quatro avanços sucessivamente, ou seja, cada determinado trecho da peça foi usinado com um dos avanços especificados acima (fig. A.6). Após a usinagem de cada peça foi medido o desgaste da ferramenta. A partir dos valores dos desgastes em função do tempo de usinagem traçou-se a curva de desgaste abaixo.

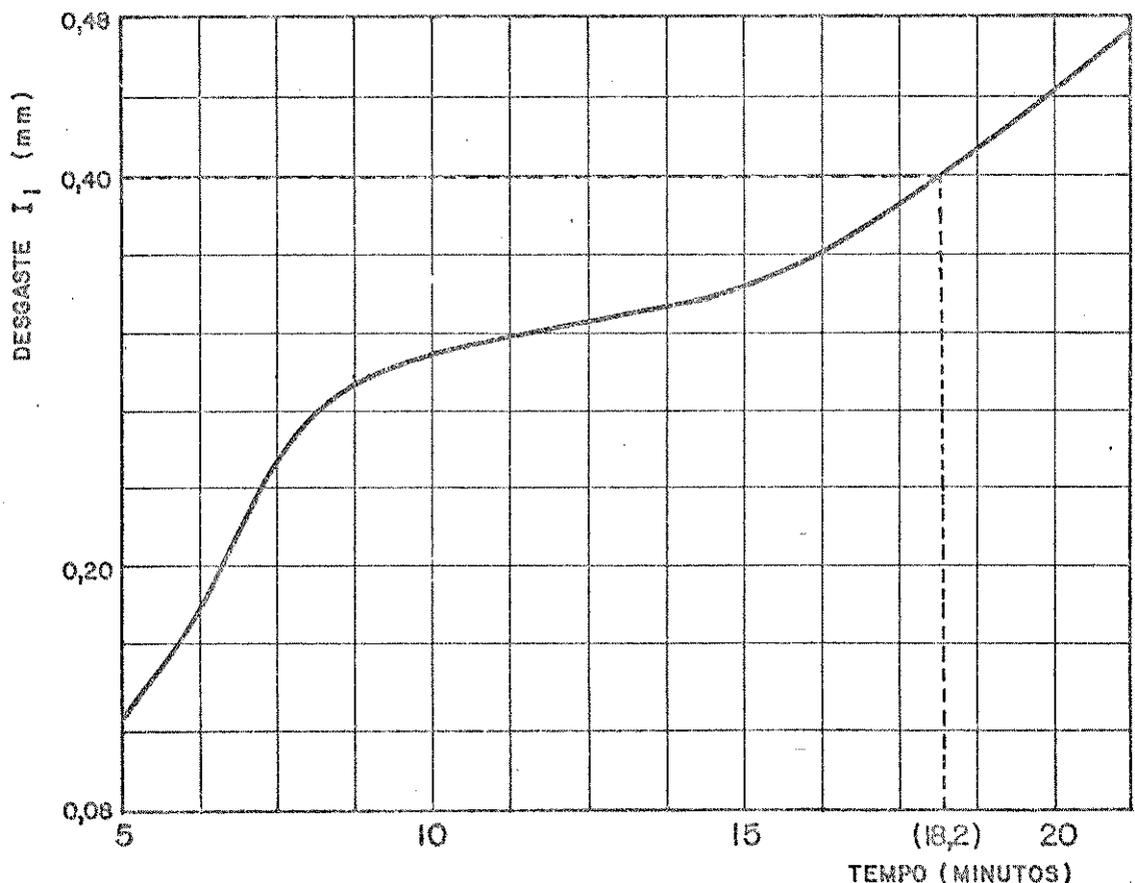


FIGURA A.15- Curva de desgaste da ferramenta em função do tempo de usinagem para velocidade de corte constante e avanços variáveis (fig.A.6)

A.2.1.6- LEVANTAMENTO DA CURVA DE VIDA PARA A OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS γ e w DA EXPRESSÃO $T \cdot a_t^\gamma = w$

As dimensões das peças utilizadas nestes ensaios estão mostradas na fig. A.4. As condições de usinagem utilizadas foram as seguintes:

velocidade de corte $v = 52,42$ m/mim,

profundidade de corte $p = 2,5$ mm,

avanços da ferramenta $a_t = 0,05; 0,100; 0,112$ e $0,140$

fluido de corte = óleo solúvel 1:20

O desgaste das ferramentas foi medido após a usinagem de cada peça. A fig. A.16 mostra as curvas de desgaste em função do tempo de usinagem.

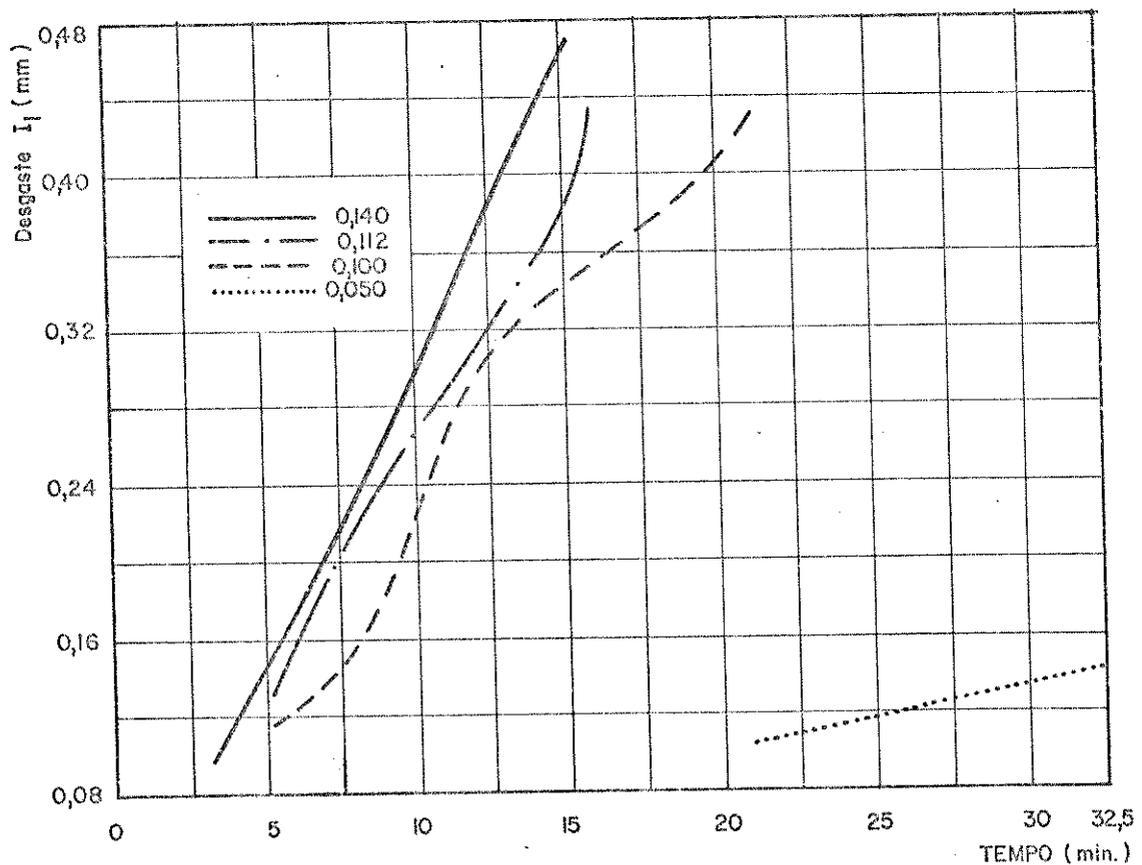


FIGURA A.16- Curvas de desgaste da ferramenta em função do tempo de usinagem para avanços e velocidade de corte constantes

A partir das curvas de desgaste acima procedeu-se ao levantamento da curva de vida $T - a_t$ para o critério de desgaste frontal $I_\ell = 0,40$ mm (fig. A.17).

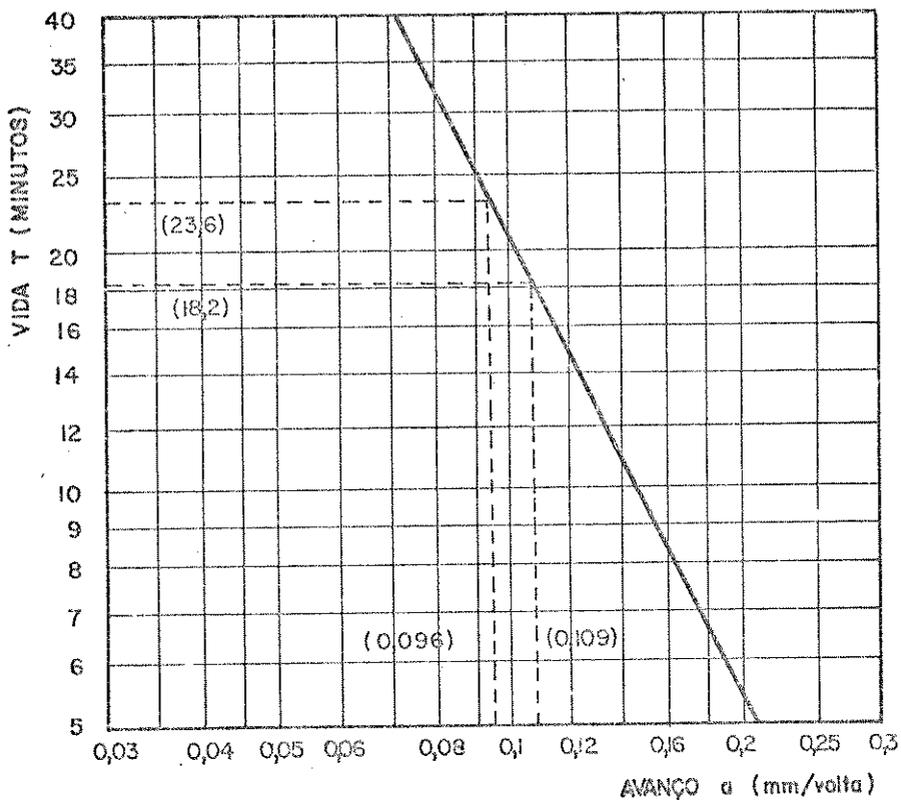


FIGURA A.17- Curva de vida da ferramenta $T - a_t$ para o critério de desgaste frontal $I_\ell = 0,40$ mm

Utilizando-se meios estatísticos determinou-se analiticamente os seguintes parâmetros para $I_\ell = 0,40$ mm:

$$y = 1,98 \quad ; \quad w = 0,229$$

A.3- CÁLCULO DOS AVANÇOS EQUIVALENTES DA FERRAMENTA

A.3.1- CÁLCULO DO AVANÇO EQUIVALENTE DA FERRAMENTA PARA O CASO DE UMA PEÇA USINADA COM VELOCIDADES DE CORTE E AVANÇOS DA FERRAMENTA VARIÁVEIS

A.3.1.1- MÉTODO DA CURVA DE VIDA

Para o caso especificado acima (fig. A.5) tem-se para o critério $I_\ell = 0,40$ mm, através da curva de desgaste da fig. A.13 o valor da vida da ferramenta $T = 23,6$ min. Entrando-se

com este valor ($T = 23,6$ min) na curva de vida mostrada na fig. A.17 obtêm-se para o avanço equivalente da ferramenta o valor $a_{t_e} = 0,096$ mm/v.

A.3.1.2- MÉTODO MATEMÁTICO

Devido ao fato que a máquina de ensaios utilizada foi um torno de comando numérico com avanços da ferramenta programáveis, houve necessidade do cálculo dos avanços na direção principal de avanços, para obtenção dos respectivos tempos de corte, partindo-se de avanços da ferramenta admitidos inicialmente para os ensaios em questão (fig. 4.4, pg. 70).

Desta forma, tem-se

l_{a_i} (mm)	a_{t_i} (mm)	$a_i = a_{t_i} \times \cos \alpha$ (mm/v)	t_{c_i} (min)
10,00	0,050	0,043	0,65
20,00	0,050	0,050	1,13
10,14	0,100	0,090	0,32
10,00	0,100	0,100	0,28
18,52	0,112	0,111	0,47
10,00	0,112	0,112	0,25
14,49	0,140	0,135	0,30
			$t_c = 3,40$

Admitindo-se para o cálculo do avanço equivalente a expressão

$$a_{t_e} = \sqrt[3]{\frac{1}{t_c} \int_0^{t_c} a_t^y \cdot dt}$$

e substituindo-se os valores de y , a_{t_i} , t_{c_i} e t_c , tem-se $a_{t_e} = 0,091$ mm/volta.

A.3.2- CÁLCULO DO AVANÇO EQUIVALENTE DA FERRAMENTA PARA O CASO DE UMA PEÇA USINADA COM VELOCIDADE DE CORTE CONSTANTE E AVANÇOS DA FERRAMENTA VARIÁVEIS SUCESSIVAMENTE

A.3.2.1- MÉTODO DA CURVA DE VIDA

Para as peças usinadas com vários avanços sucessivos (fig. A.6) a vida da ferramenta para o critério de desgaste $I_{\ell} = 0,40$ mm foi de $T = 18,20$ min (fig. A.15). Entrando-se com este valor da vida da ferramenta na curva de vida mostrada na fig. A.17, obtêm-se para o avanço equivalente da ferramenta o valor $a_{t_e} = 0,109$ mm/v.

A.3.2.2- MÉTODO MATEMÁTICO

Tomando-se os respectivos avanços e tempos de corte para cada trecho usinado (fig. A.6) tem-se

l_{a_i} (mm)	a_{t_i} (mm/v)	t_{c_i} (min)
19,8	0,050	1,11
25,4	0,112	0,64
25,4	0,125	0,57
25,4	0,140	0,51
		$t_c = 2,83$

Substituindo-se os valores de y , a_{t_i} , t_{c_i} e t_c na expressão do avanço equivalente, obtêm-se o valor $a_{t_e} = 0,103$ mm/v.

A.4- CONCLUSÕES

Os ensaios experimentais de comprovação da fórmula proposta para o avanço equivalente, foram conduzidos para dois casos de operação de torneamento:

- peça com diâmetro constante, rotação constante e avanço variável;

- peça com diâmetro variável, rotação constante e avanços variáveis.

No primeiro caso determinou-se experimentalmente o valor do avanço equivalente $a_{t_e} = 0,109$ mm/volta. Através da expressão proposta, calculou-se para a_{t_e} o valor $a_{t_e} = 0,103$ mm/v. O erro obtido pelo cálculo foi de 5,5%.

No segundo caso, o valor achado do avanço equivalente foi $a_{t_e} = 0,096$ mm/volta e o valor calculado foi $a_{t_e} = 0,09$ mm/volta, correspondente a um erro de 5,2%.

Este erro é relativamente pequeno, tendo em vista o número de variáveis envolvidas nos ensaios de usinagem. A Divisão de Processos de Manufatura do Centro de Tecnologia da UNICAMP já realizou um número elevado de ensaios de usinagem, constatando-se sempre erros de determinação das curvas de vida, da mesma ordem de grandeza dos erros achados neste ensaio.

Desta forma, podemos empregar a fórmula acima proposta, na determinação do avanço equivalente.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- [1] KRONENBERG, M - Grundzüge der Zerspanungslehre Berlim, Springer Verlag, 1954.
- [2] VIIEEGGE, G - Zerspanung der Eisenwerkstoffe Düsseldorf, Verlag Stahleisen M.B.H., 1959.
- [3] FERRARESI, DINO - Fundamentos da Usinagem dos Metais São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 1970