

Editorial de la Universidad

REBOLOS & abrasivos tecnología básica

VOLUME II

CONSEJO EDITORIAL

Editorial de la Universidad
Calle 14 No. 127-128
Guatemala
Teléfono 222-222-2222
Fax 222-222-2222

Guillaume Ch. Nussbaum

REBOLOS & abrasivos tecnologia básica

VOLUME III



EDIÇÃO ESPECIAL

Livraria e Editora Jacomo Ltda
01039 - Av. Ipiranga, 1216
Sobreloja
Fones: (011)229-7846/229-5819
São Paulo - SP

CAPÍTULO III

OPERAÇÕES COM ABRASIVOS

III.1 INTRODUÇÃO

Recomendar um rebolo para uma determinada operação não é sempre um assunto fácil. A interdependência comentada anteriormente entre peça/rebolo/máquina, incluído o refrigerante, pode transformar em quebra-cabeças um problema de solução aparentemente simples.

A retífica foi considerada durante muito tempo como sendo uma operação "cosmética", onde uma pequena remoção de cavaco deixa a peça mais "apresentável". Este conceito errado contribuiu muito para criar um mito onde não existe outra coisa senão engenharia mecânica e conhecimento de materiais.

O estudo do comportamento das ferramentas metálicas e algumas sinterizadas tradicionais alcançou limites muito mais elevados do que o conhecimento atual das ferramentas abrasivas. Porém num futuro próximo, com a ajuda dos computadores, as variáveis (que mais adiante veremos individualmente, numa série de tópicos) na usinagem por abrasão poderão ser introduzidas num processamento de dados e o INPUT/OUTPUT poderá ser assim:

INPUT	OUTPUT
- Material (características mecânicas)	- Esforços de retífica (normais e tangenciais)
- Rebolo (características abrasivo/liga)	- Ratio "G" $\frac{V \text{ removido peça}}{V \text{ gasto peça}}$
- Parâmetros de dressagem	- Qualidade superfície peça:
- Flúido refrigerante (característica pH, concentração...)	- Rugosidade
- Parâmetros da máquina (Velocidade, passe...)	- micro-trincas e tensões
	- Precisão dimensional

Teoricamente os problemas que se apresentam deveriam ter uma solução rápida através do estudo pormenorizado das variáveis envolvidas, porém este em muitas ocasiões não é nem cogitado e encontra-se a saída fácil trocando o rebolo e às vezes até mesmo o fornecedor. Em resumo, ignorando o problema ele não mais existirá. Acontece que inúmeras vezes o desempenho de uma retífica muda por razões "desconhecidas", aumentando as rejeições, o número de dressagens, etc. Este "desconhecimento", costumadamente é debitado na conta do rebolo, esquecendo a participação na operação de todos os outros envolvidos, reafirmando a falta de conhecimento sobre o processo de retífica. Esta é a essência da questão. É preciso aprofundar o estudo das variáveis do conjunto, entendendo o rebolo como um participante a mais, e não o único, e, desta forma, começar a desmistificar a usinagem por abrasão.

A resistência ao desgaste por abrasão pode ser definida pela relação:

$$\frac{dV}{dl} = K \frac{P}{H}$$

onde $\frac{dV}{dl}$ = relação de desgaste RD $\left[\frac{L^3}{L} \right]$ (abrasão)

H = dureza da superfície mais mole

K = coeficiente de abrasão dependente da geometria das asperezas ou da qualidade do grão abrasivo

Krutchov e Babichev descobriram há 20 anos uma lei de variação entre desgaste por atrito e as durezas das matérias antagonistas.

Complementando este trabalho e comparando a dureza Mohs e Vickers, Tabor contribuiu ao estabelecimento do gráfico mostrado na Figura 157 para o estudo dos valores relativos dureza/resistência à abrasão que mostra o incremento da ação abrasiva à medida em que o valor da dureza do abrasivo aumenta.

A relação RD está diretamente ligada à dureza e a outros fatores, como a difusão química e o meio ambiente (fluido refrigerante) do material que está sendo usinado.

O teor de carbono dos aços influi sobre a dureza e sobre o RD como mostra o gráfico. A dureza dos abrasivos e minerais acompanha os valores da escala Mohs.

A ação abrasiva começa a ser eficiente a partir de um valor de dureza do abrasivo duas vezes superior ao valor da dureza do metal.

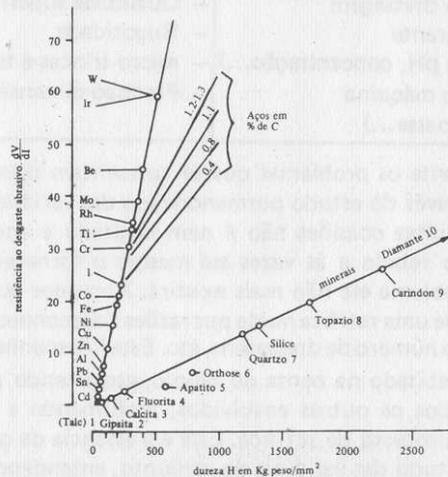


Figura 157. Gráficos de dureza e resistência à abrasão (Krutchov - Babichev - Tabor).

Sob o ponto de vista prático, encontramos uma variação de capacidade de abrasão constante para o OA e com inflexões para o SiC (veja Figura 158), cuja dureza é a característica mais importante a ser considerada para usinar materiais muito duros, inclusive nos casos onde tradicionalmente por motivo da reatividade SiC/Fe, o OA leva vantagem. Os aços altamente ligados com Cr, Ni, Mo, Mn que são facilmente formadores de carbonetos, possuem altas durezas, sendo necessário um abrasivo muito friável e duro para a sua usinagem.

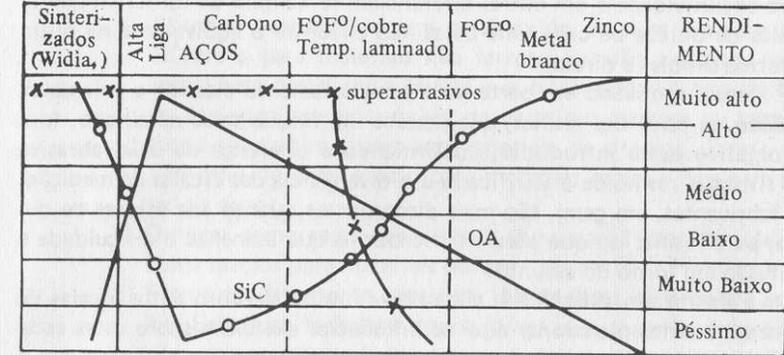


Figura 158. Gráficos de rendimento OA/SiC/Superabrasivos (Diam. NCB).

O painel da Figura 158 tem valor orientativo e os valores mostrados não têm escala, apresentando unicamente as tendências de comportamento para famílias típicas de materiais.

As ligas já foram comentadas no capítulo de fabricação e lembramos aqui alguns conceitos ou características daquelas chamadas "universais", empregadas em abrasivos clássicos e em superabrasivos: resinóide e vitrificada (cerâmica). Em princípio, as ligas resinóides degradam-se por efeito do calor. Aparentemente a pressão tem um efeito relativamente menor e a resistência para suportar choques mecânicos e vibrações é grande, como confirmam os testes de resiliência. As operações de precisão em acabamento com granas 150, 180 e mais finos em grandes rebolos requerem este tipo de liga, principalmente por esta qualidade elástica. Os rebolos resinóides suportam melhor os choques térmicos do que os vitrificados e por esta razão são preferidos para trabalhos de corte e desbaste pesado, realizados em seco.

Os rebolos vitrificados resistem a qualquer tipo de refrigerante, até ao de pH mais elevado, aceitando e mantendo o perfilado (diamantado), especialmente para retífica em "plongée" (mergulho) de formas complexas. A pressão de trabalho é a maior responsável pela degradação das ligas

cerâmicas. Nos trabalhos de alta precisão e naqueles onde a remoção é relativamente baixa ou onde seja preciso manter um perfil constante as ligas vitrificadas levam grande vantagem sobre as resinóides.

Em outra ordem, e com referência às dificuldades de fabricação, é necessário e às vezes aconselhável fabricar o rebolo em resina no lugar de vitrificado, como, por exemplo, os grandes Centerless Ø 600/650 em grandes finas 400-800. Ou nos casos em que é necessária uma porosidade induzida, ela é muito mais fácil de ser obtida em liga vitrificada do que em resinóide.

Em resumo, as ligas são complementares. Em algumas operações possuem exclusividade e em outras diferenciam-se, sempre de forma tal que as escalas de dureza de cada uma delas não encontre o equivalente na outra de forma simples e direta.

Isto é motivado em parte pelo comportamento elástico e pela sensibilidade ao calor das resinas, que merece um estudo mais detalhado, fora do objetivo desta introdução, confirmando a diferença de ação abrasiva dos sistemas resinóide e vitrificado e a divergência das escalas de medição. Os fabricantes, em geral, são mais discordantes quanto aos valores de dureza, para resinas do que para vitrificados, o que aumenta a dificuldade e confusão em torno do assunto.

Falando em dificuldade para obter um paralelismo entre escalas de dureza, devemos mencionar aqui as influências exercidas sobre estas escalas pelas variedades de ligas usadas pelos fabricantes e que constituem o verdadeiro segredo industrial de fabricação. Assim, de forma genérica temos:

- Ligas Cerâmicas (de alta e baixa temperatura)
- Vitrificadas
- Desvitrificadas ou refratárias
- Ligas Resinóides
- Fenólicas
- Fenólicas modificadas
- Outros tipos (acrílicas, polivinílicas, uréicas).

cada uma delas com um desempenho característico na operação de retífica.

A caracterização destas ligas constitui um dos maiores desafios do analista e do engenheiro de produto ao tentar reproduzir um rebolo de um concorrente.

A escolha das Características: Fatores a Considerar

Considerando-se que de um modo geral são usados dez ou doze tipos de abrasivos ou suas misturas (tipos de OA e de SiC), cada um deles em 15/20 granulometrias diferentes, e que para cada tipo e granulometria usamos 8/12 estruturas, quinze durezas e dez ou doze tipos de ligas diferentes, chegamos a 400.000 possibilidades teóricas de formulação ou especificações. Na verdade aproximadamente 20.000 são as que resolvem todos os problemas atuais na indústria e 3.000 a 4.000 as que representam 80/90% destas aplicações industriais.

Como indicamos no início, com a exposição do INPUT/OUTPUT da operação, existem fatores essenciais que condicionam a escolha de uma destas 20.000 possibilidades reais e que passamos a analisar individualmente a seguir, sendo: (1) Material, (2) Operação, (3) Área de contato, (4) Acabamento e (5) Fatores variáveis.

1) Qualidade do material da peça a ser usinada

Conhecendo esta característica poderemos determinar:

- a) Abrasivo aconselhável: em geral óxido de alumínio para aço, SiC preto para materiais não ferrosos ou não metálicos e SiC verde para metal duro (wórdia e outros). Dependendo do tipo de aço escolheremos: óxido de alumínio marrom ou branco/rosa e estes últimos para aços especiais, de alta liga, duros.
- b) Tamanho do grão: grosso para materiais moles e fino para materiais duros.
- c) Dureza: como regra geral rebolo duro para material mole, rebolos macios para materiais duros.
- d) Estrutura: este ponto apresenta dificuldades na primeira escolha. Estrutura fechada é aconselhável para material duro e frágil e estrutura mais aberta para materiais de baixa tenacidade.
- e) Liga em geral: vitrificada para aços e resinóide para outros tipos de material (os FoFos em desbaste, pesado e médio, especialmente).

2) Tipo de operação: Desbaste, Retífica, Cilíndrica, Plana, etc.

- a) Abrasivo aconselhável: tenaz para desbaste e mais ou menos friável para operações de retífica.
- b) Tamanho do grão: basto para desbaste, médio até fino em função do acabamento desejado.
- c) Dureza: alta para desbaste, média para retificação em geral e baixa para acabamento e/ou superacabamento.
- d) Estrutura: média para desbaste, retífica cilíndrica ou interna e mais aberta para retífica plana.
- e) Liga: vitrificada para retífica cilíndrica, interior, Centerless; e resina para desbaste pesado, Centerless, corte, superacabamento, etc.

3) Áreas de contato – pode influir em:

- a) Tamanho do grão: grosso para grandes áreas de contato, fino para pequenas áreas de trabalho.

- b) Dureza: baixa para grandes áreas, alta para pequenas áreas.
- c) Estrutura: aberta para grandes áreas e fechada para pequenas áreas.

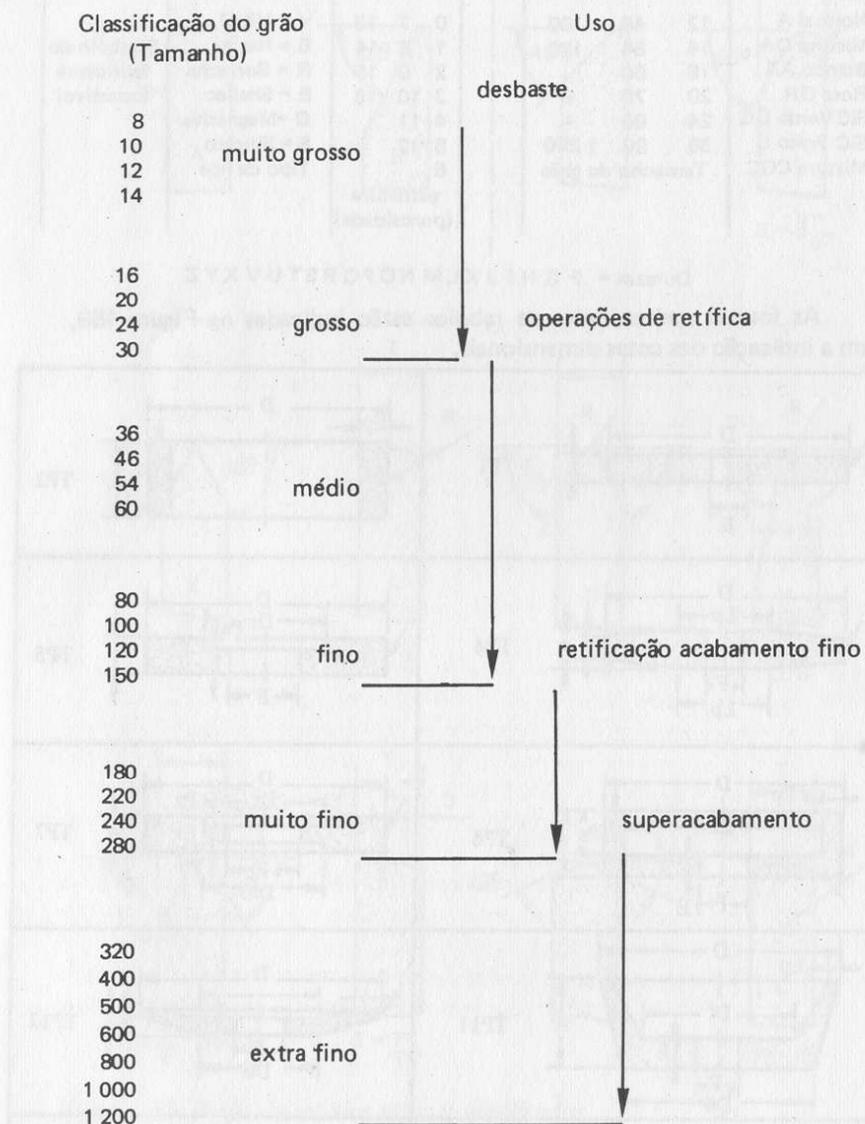
4) Acabamento desejado – Rugosidade, Precisão:

- a) Abrasivo: aços de alta dureza e/ou alta liga podem requerer até mesmo SiC, contrariando a teoria ou conceito primitivo que aconselha óxido de alumínio.
- b) Tamanho da grana: evidentemente, mais fina quanto menor for a rugosidade desejada. Procurar grana similar ou inferior em tamanho ao raio que deve ser mantido na peça que está sendo usinada.
- c) Dureza: deve-se escolher a maior possível, compatível com o desempenho do rebolo, para manter um perfil ou raio.
- d) Estrutura: escolha estrutura mais fechada quanto maior for a precisão desejada, tanto na forma como na rugosidade.
- e) Liga: em geral vitrificado para desbaste em retíficas e acabamento, e resina (em alguns casos Shellac) para superacabamento.

5) Fatores variáveis

- a) Velocidade: existem algumas limitações para as ligas. Até velocidades de 60 m/s tanto as resinóides quanto as vitrificadas são competitivas, considerando sempre que um incremento de velocidade para uma operação representará um aumento na dureza do rebolo (“dureza dinâmica” – Ver teoria de Alden). Como consequência, especificar durezas menores para velocidades elevadas.
- b) Avanço e profundidade de corte (Passe): *maior* dureza para maior avanço e/ou profundidade de passe (para um mesmo comportamento relativo).
- c) Tipo de máquina: rebolos duros para máquinas velhas e rebolos mais macios para máquinas novas, robustas e isentas de vibrações.
- d) Habilidade do operador: nos trabalhos manuais, este item pode determinar a rejeição ou aceitação do rebolo. É muito importante o controle da operação por parte do técnico para evitar julgamentos subjetivos.

Os abrasivos apresentam granulometrias definidas conforme normas ASTM. O número que define cada tamanho de grão corresponde ao de malhas por polegada linear das peneiras usadas na classificação (Veja Tabela 7).



Os sistemas normalizados de marcação – ISO, DIN, FEPA, GWI – estabelecem que os rebolos devem ser marcados especificando abrasivo, tamanho, dureza, estrutura e liga; a ABNT acrescenta que o tipo de grão deve ser discriminado. Na Tabela 8 um exemplo explicativo.

TABELA 8

Tipo	AA	36			J	7			V		
Abrasivo											
Normal A	12	46	100		0	7	13	V = Vitrif.			
Mistura DA	14	54	120		1	8	14	B = Resina	Símbolo do fabricante (optativo)		
Branco AA	16	60	-		2	9	15	R = Borracha			
Rosa DR	20	70	-		3	10	16	E = Shellac			
SiC Verde GC	24	80	-		4	11		O = Magnesita			
SiC Preto C	30	90	1 200		5	12		S = Silicato			
Mistura CGC		Tamanho do grão			6			Tipo de liga			
					estrutura (porosidade)						

Durezas = F G H I J K L M N O P Q R S T U V X Y Z

As formas padronizadas de rebolos estão indicadas na Figura 159, com a indicação das cotas dimensionais.

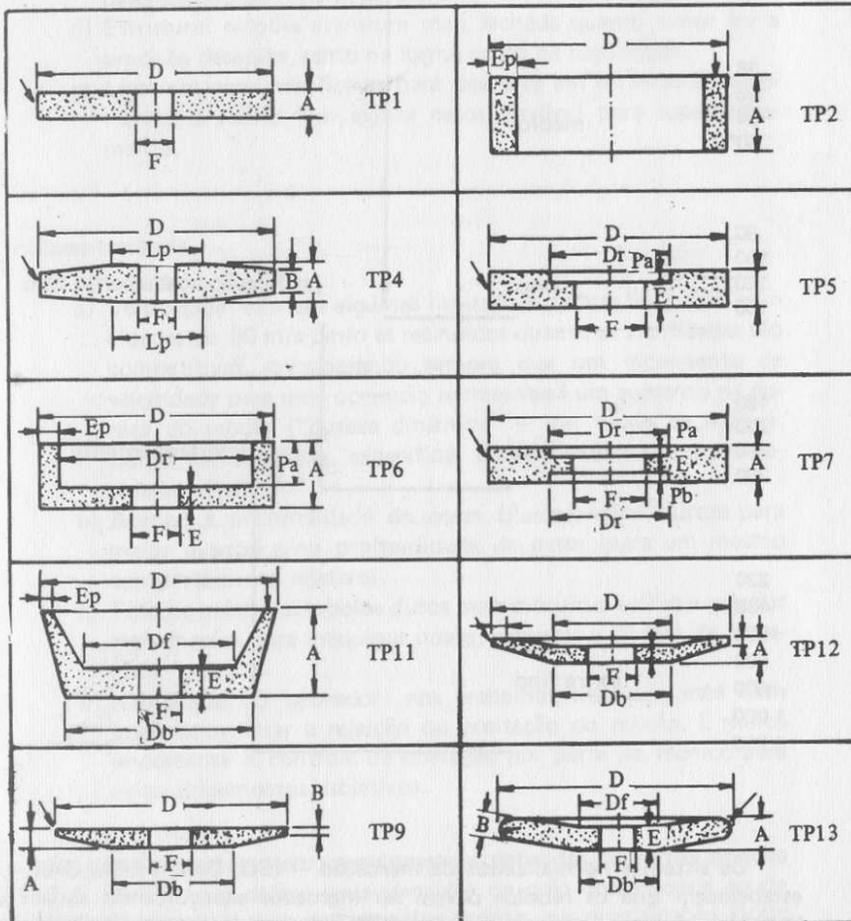


Figura 159. Formas padronizadas dos rebolos

Os perfis dos rebolos retos, normalizados, correspondem aos mostrados na Figura 160.

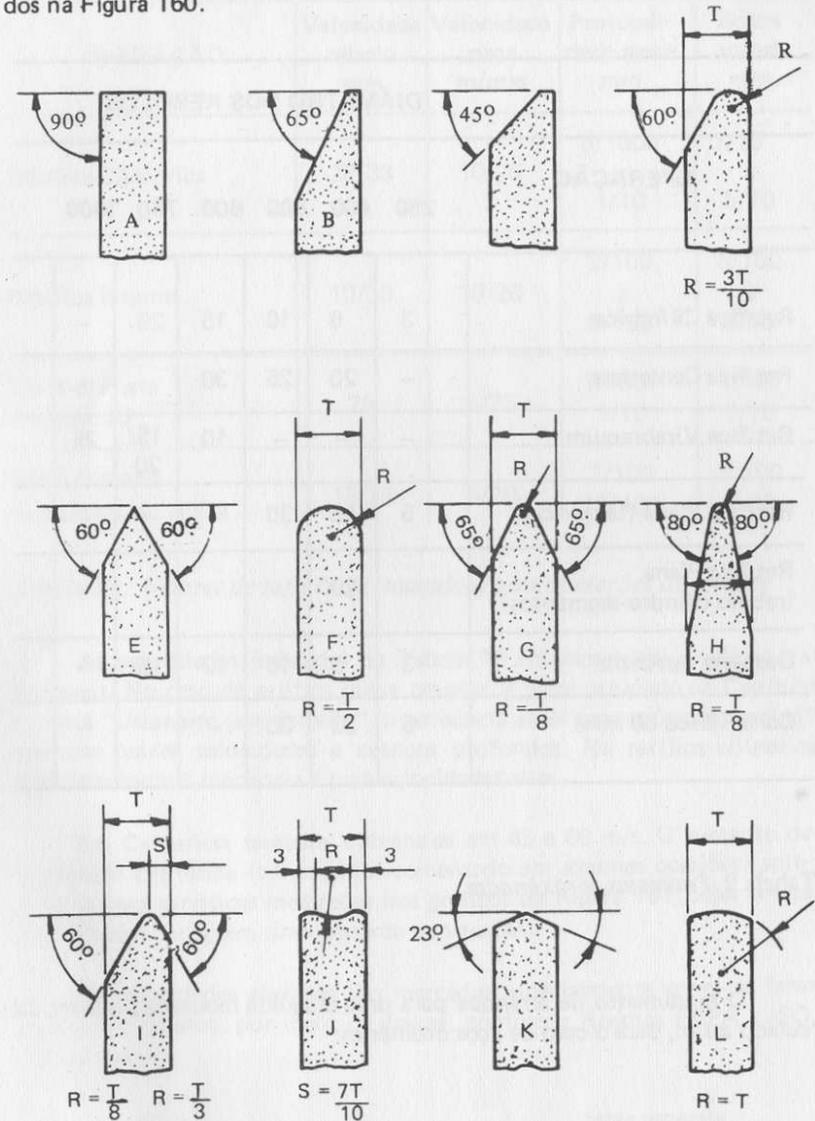


Figura 160. Perfis de rebolos retos normalizados

Para complementar a informação introdutória as especificações de aplicação, mostramos na Tabela 9 alguns resumos para orientar os valores de potência, velocidade e profundidade de passe que, por serem valores aproximados, servem como referência.

DIÂMETRO DOS REBOLOS						
OPERAÇÃO	DIÂMETRO DOS REBOLOS					
	250	400	500	600	760	1000
Retífica Cilíndrica	3	6	10	15	25	—
Retífica Centerless	—	20	25	30	—	—
Retífica Virabrequim	—	—	—	10	15/20	25
Retífica Plana (tangencial)	5	15	20	—	—	—
Retífica Plana (rebolo cilindro-segmentos)	—	20	—	—	—	—
Desbaste - pedestal	3	5	10	12	15	—
Corte (disco 80 m/s)	5	20	30	—	—	—

Tabela 9. Potências aproximadas

O rendimento de arranque para uma máquina moderna pode ser calculado assim, para o caso de aços ordinários:

$$A_c = 0,75 N$$

sendo A_c = arranque horário em kg e N a potência em HP da máquina.

Os dados básicos de cada tipo de operação são estudados nas páginas a seguir, porém de uma forma resumida, a Tabela 10 mostra valores médios de referência.

OPERAÇÃO	Velocidade rebolo m/s	Velocidade peça m/min	Profundidade passe mm	Sobre metal mm
Retífica Cilíndrica	28/33	10/25	5/1000 a 1/10	1/10 a 5/10
Retífica Interna	10/30	10/20	2/100 a 5/100	5/100 a 5/10
Retífica Plana (tangencial)	25	5/25	1/100 1/10	1/100 5/10
Retífica plana (segmentos ou anéis)	15/25	5/20	1/100 15/100	5/100 2,00

Tabela 10. Valores de referência (máquina) para operações de retífica

As velocidades indicadas na Tabela 10 correspondem a valores tradicionais. No caso de retífica plana tangencial já foi estudado no Capítulo I, tema "Usinagem por abrasão", a tendência atual para o "creep feeding" que usa baixas velocidades e avanços profundos. Na retífica cilíndrica especialmente a tendência é para velocidades altas.

Em Centerless também trabalha-se em 45 e 60 m/s. O aumento de velocidade periférica (como já foi comentado em algumas ocasiões) apresenta as características mostradas nos gráficos da Figura 161, cujas curvas aproximadas permitem tirar bastante conclusões.

As velocidades elevadas são marcadas especialmente sobre as faces planas dos rebolos, por meio de faixas, conforme Normas FEPA e ISO, como a seguir:

45 m/s	.....	faixa amarela
60 m/s	.....	faixa azul
80 m/s	.....	faixa vermelha
100 m/s	.....	faixa verde

TABELA DE EQUIVALÊNCIAS DE TIPOS DE GRÃO

FABRICANTE	ÓXIDO DE ALUMÍNIO										MISTURA		CARBURETO DE SILÍCIO	
	Normal	Tenaz	Semi friável	Mono cristal	Branco	Rosa	Rubino	Mistura A/AA	Mistura A/SiC	Preto	Verde escuro	Verde claro		
Norton	A	75 A	57 A	32 A	38 A		25 A	19 A	AC	37 C	74 C	39 C		
Carborundum	A - BA	WA	GA	PA	AA	AA	5A	DA	CA	C	RC	GC		
Bay State	A	RA - TA VA - 11A	3 A	-	9 A	9 A	5 A	2 A	MA CA	C	3 C	1 C		
Besly	AL	AL	FA BA	-	WA	-	-	WFA WBA BFA	AC	C	C	GC		
Gardner	A - 84 A 87 A	-	82 A	-	80 A	-	-	81A-83 85-86 88-89A	AC	C	AC	GC		
Muvisa	15 A	10 A	16 A	18 A	19 A	21 A	31 A	17 A	AC	22 C	23 C	24 C		
Universal	A	FA	-	-	WA	41 A	25 A	MA	AC	BC	-	C		
Winterthur	Vito A	-	-	67 A	42 A	57 A	68 A	61 A	AC	C	11 C	3 C		
Naxos Union	NK	-	HKS	EKa	EK	EKd	-	HK	-	SC	-	SCg		
Naxos Vastervik	21 A	81 A	31 A	51 A	41 A 43 A	-	-	62 A	-	13 C	11 C	15 C		
Atlantik	NK	-	HK	EK7	EK1	EK8	EK6	NK/EK1	NS	SCd	-	SCg		
Efesiz	13 A	-	-	-	22 A	-	21 A	41 A	-	32 C	-	31 C		
Sivat e outros fabricantes Brasil (cf. ABNT)	A	A	AR	-	AA	DR	-	DA	CA	C	CGC	GC		
Tyrolit	A,10 A	15 A	52 A	90 A	89 A	88 A	91 A	50 A	AC	1 C	50 C	C		
Cincinnati	2 A	2 A	12 A 97 A 4A	-	9 A	-	-	97 A	C 2A C 12A C 4A	6 C	7 C	5 C		

Nota: A Tabela inclui os abrasivos típicos. Não mostra os altamente tenazes como Zircônio/Alumina nem os Sinterizados. Também estão excluídos os superabrasivos.

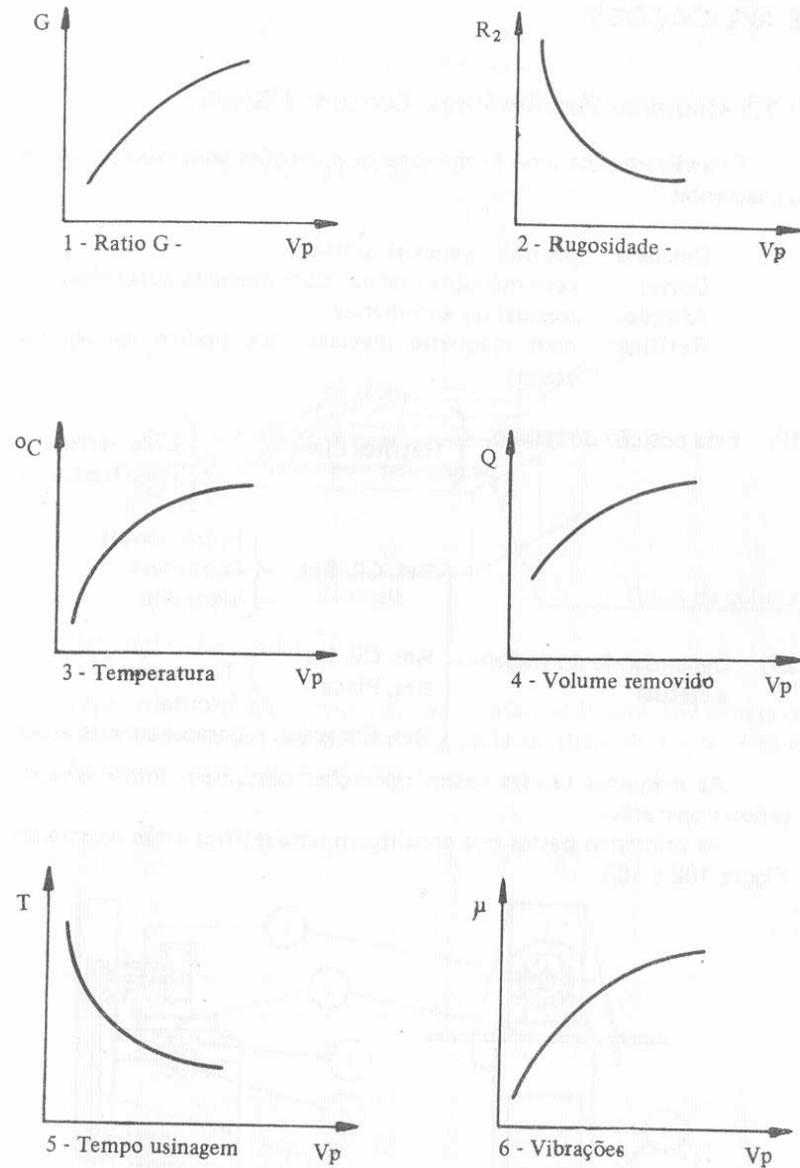


Figura 161. Gráficos mostrando tendências de variação de alguns dos fatores de operação por incremento da Velocidade periférica Vp.

OPERAÇÕES COM ABRASIVOS, MÁQUINAS USOS E APLICAÇÕES

II.1.1 Máquinas Retificadoras. Conceitos Gerais.

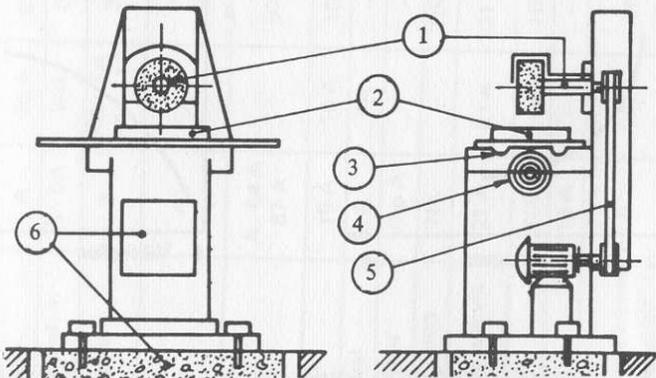
Classificamos de uma forma geral as operações com rebolos nas famílias seguintes:

- Desbaste: pêndulo, pedestal, portátil
- Corte: com máquina manual, com máquina automática
- Afiação: manual ou automática
- Retífica: com máquinas diversas, que podem ser agrupadas assim:

- 19) Pela posição do rebolo
 - Retífica Plana
 - Eixo vertical
 - Eixo horizontal
 - Ret. Cil. Ext.
 - Entre pontos
 - Centerless
 - Mergulho
- 20) Dependendo do trabalho a efetuar
 - Ret. Cil. Int.
 - Ret. Plana
 - Tangencial
 - Frontal
 - Ret. Especiais, superacabamento e outras.

As máquinas usadas nestas operações costumam tomar o nome da própria operação.

As principais partes que constituem uma retífica estão mostradas nas Figura 162 e 163.



- 1 Suporte do Rebolo
- 2 Suporte da Peça
- 3 Sistema de Transmissão do Rebolo
- 4 Sistema de Transmissão da peça
- 5 Guias
- 6 Bancada e Fundação

Figura 162. Elementos de uma retificadora.

O comportamento e rendimento de uma operação de retífica depende da interligação do sistema Máquina-Rebolo-Peça-Lubrificante-Dressador, que estudaremos neste capítulo, de forma individual, dando as diretrizes para uma escolha aproximada para cada caso e lembrando que é necessária uma estreita colaboração usuário-fabricante para atingir o resultado desejado.

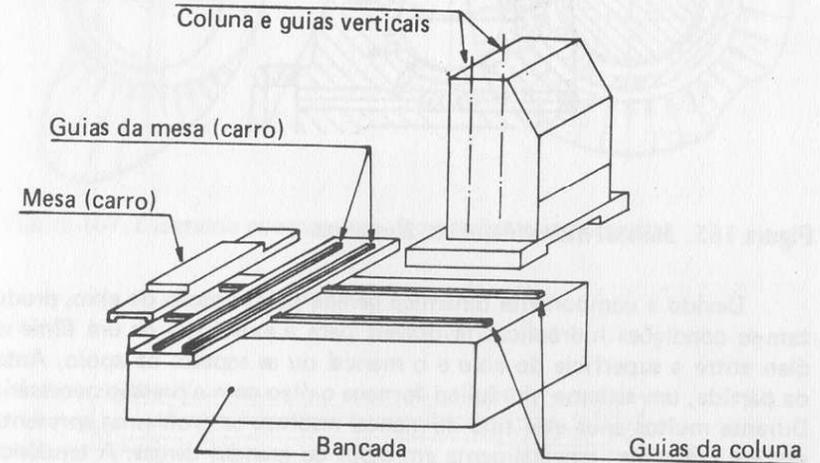


Figura 163. Bancadas e guias

O suporte do rebolo (convencional) conforme Figura 162 consta de eixo de apoio dianteiro, apoio traseiro e polia de transmissão. Na Figura 164 estão alguns exemplos de montagens.

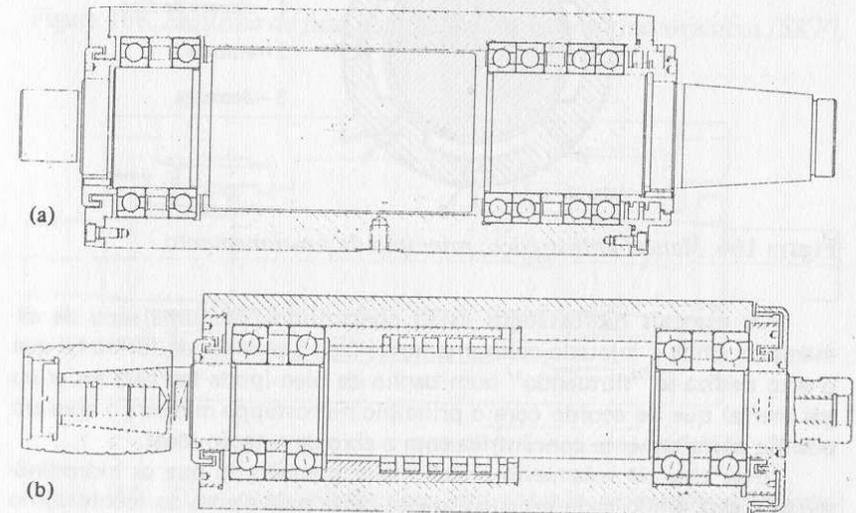


Figura 164. Fusos porta-rebolos para: retificadora cilíndrica externa (a) e Interna (b)

A maioria das retíficas usam mancais hidrodinâmicos, cujo princípio de funcionamento aparece na Figura 165.

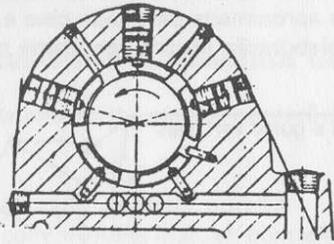


Figura 165. Mancais hidrodinâmico. Esquema.

Devido a componente dinâmica gerada pela rotação do eixo, produzem-se condições hidráulicas favoráveis para a existência de um filme de óleo entre a superfície do eixo e o mancal ou as sapatas de apoio. Antes da partida, um sistema hidráulico fornece o óleo com a pressão necessária. Durante muitos anos este tipo de mancal resolveu os problemas apresentados em máquinas, especialmente em casos de grandes cargas. A tendência atual, porém, é para os mancais hidrostáticos, que comentaremos agora com auxílio da Figura 166.

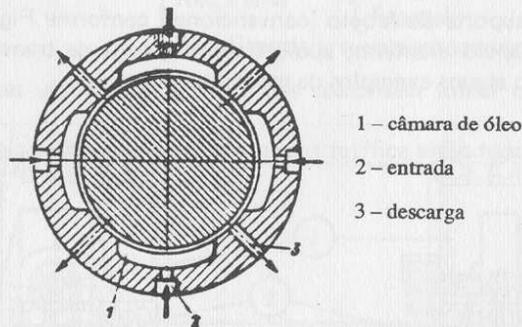


Figura 166. Mancais hidrostático, princípio de funcionamento.

Os mancais hidrostáticos estão constituídos por uma série de câmaras (c) onde é injetado constantemente óleo a pressão, de forma tal que o eixo desliza-se "flutuando" num banho de óleo (pode também ser ar ou gás inerte) que de acordo com o princípio hidrostático manterá o eixo em posição perfeitamente concêntrica com o eixo de rotação ideal.

Este tipo de rolamento possui maior precisão do que os hidrodinâmicos e está sendo cada vez mais usado, tanto para o eixo do rebolo como para o eixo do movimento da peça, especialmente em retíficas cilíndricas, pois, apesar do custo mais elevado, a precisão obtida é muito maior.

Mancais hidrostático, Princípio de funcionamento

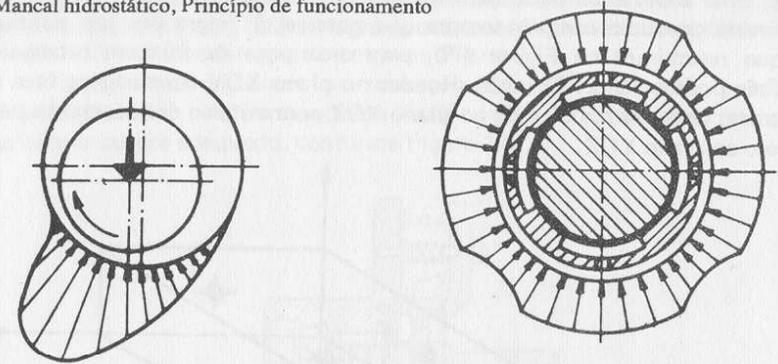


Figura 167. Diagrama comparativo de pressões nos mancais.

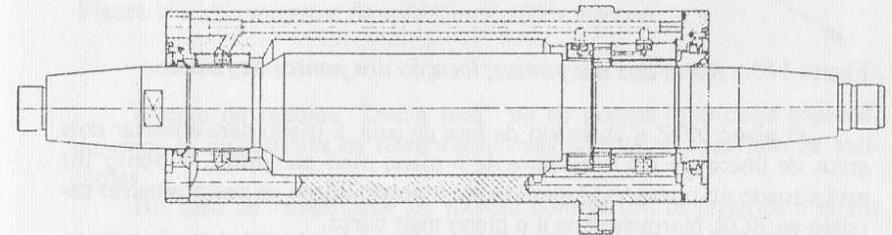


Figura 168. Esquema de fuso do rebolo com mancais hidrostáticos. (SKF).

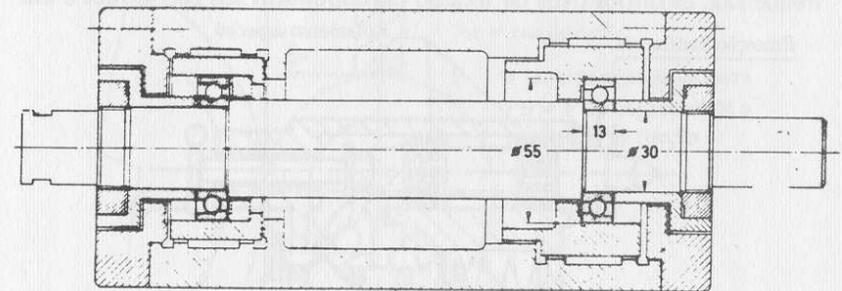


Figura 169. Fuso porta-rebolo para alta rotação montando rolamentos radicais de contato angular sobre mancais hidrostáticos. (FAG).

O suporte da peça, dependendo do formato e da operação a realizar, deverá procurar cumprir sempre que possível a "regra dos seis pontos", que resumimos na Figura 170, para uma peça de formato retangular. Três pontos (1, 2, 3) estão situados no plano XOY chamado de face suporte; dois pontos (4 e 5) no plano XOZ para evitar o deslocamento paralelo ao plano YOZ. Um ponto (6) está situado no plano YOZ eliminando a possibilidade de deslocamento paralelo ao XOZ. Normalmente é o plano mais curto.

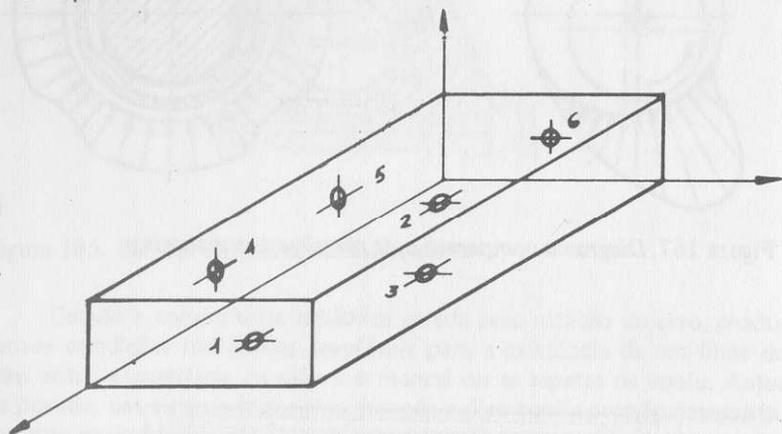


Figura 170. Regra dos seis pontos; locação dos pontos de fixação.

O plano XOZ é chamado de face de guia. É usado para eliminar dois graus de liberdade e é normalmente o plano mais comprido. O ponto (6) está situado no plano YOZ eliminando a possibilidade de deslocamento paralelo ao XOZ. Normalmente é o plano mais curto.

As peças para operações de retífica plana normalmente são fixadas sobre mesas magnéticas.

No caso de peças cilíndricas estáticas é também possível aplicar a regra dos seis pontos. Porém, no caso de peças rotativas, que são de maior frequência, os dispositivos de fixação correspondem aos conhecidos e usa-

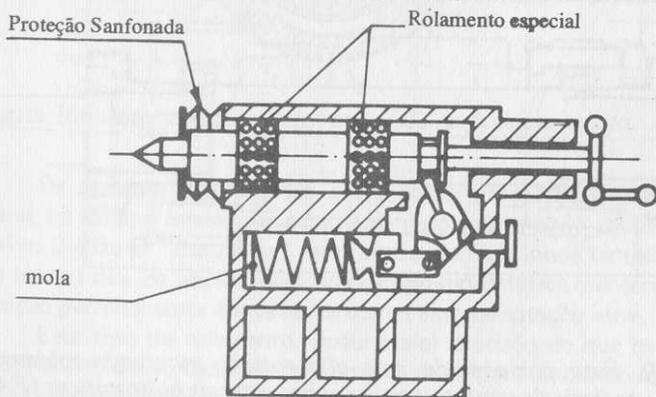


Figura 171. Contraponto para peças pesadas.

dos nos tornos. A operação de retífica cilíndrica entre pontos é feita por meio de apoios cônicos (Morse) e grampo de arraste, com excentricidade máxima de 0,001 mm e contraponto como na Figura 171.

As peças que requerem uma operação de retífica interna são fixadas convenientemente pela parte externa plana ou pela periferia, sendo centradas com o calibre adequado, conforme Figura 172.

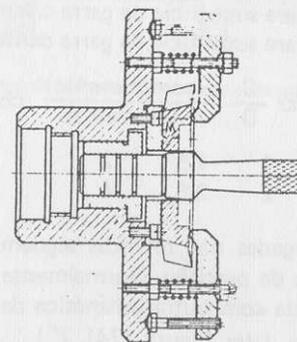


Figura 172. Montagem e fixação para retífica interna.

O caso de rebolos "Dupla face" ou de porcas inseridas é especial. Veremos os dispositivos de sustentação mais adiante, no capítulo de aplicações.

No caso de necessidade de fixação com garras, os critérios a serem usados são os mesmos que no caso de usinagem num torno, Figura 173.

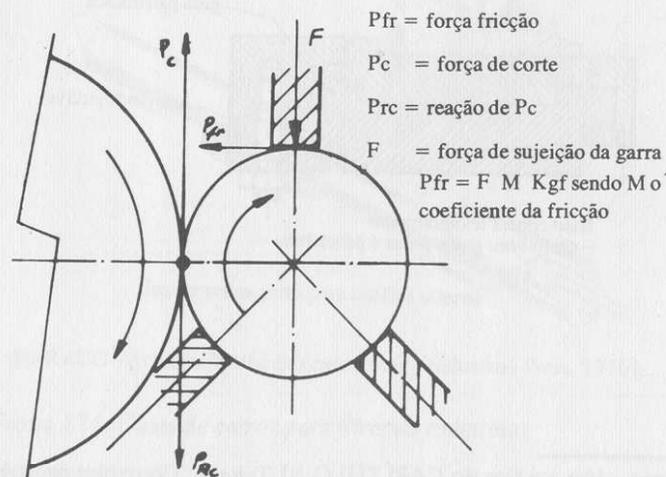


Figura 173. Forças de corte.

O valor de F corresponde à:

$$F = \frac{\text{Prc K}}{\mu} \text{ kgf, e para cada garra} = \frac{F}{3}$$

onde:

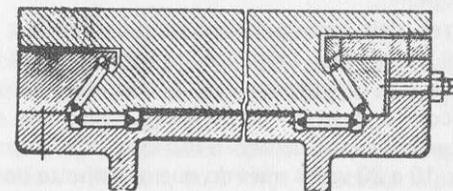
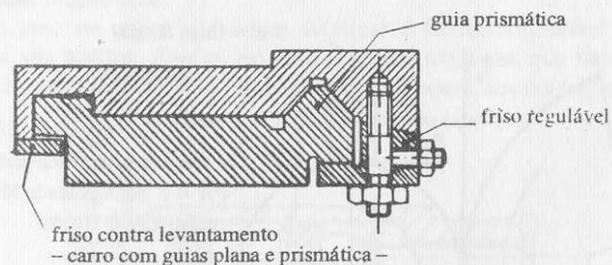
μ	
0,2 - 0,25	para superfície da garra lisa
0,3 - 0,4	para superfície da garra c/fendas
0,8 - 1,0	para superfície da garra dëntada

e K, depende da relação $\frac{C}{D}$, $\frac{\text{(comprimento)}}{\text{(diâmetro)}}$ com estes valores

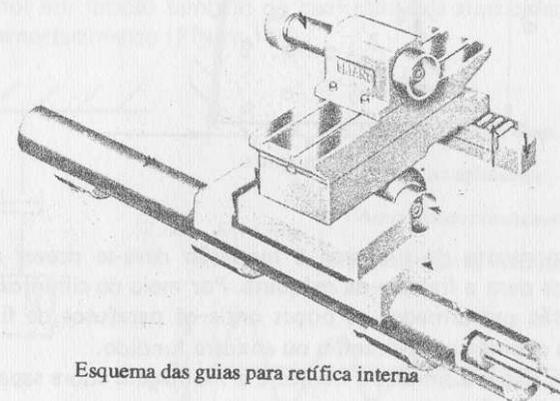
C/D	0,5	1	1,5	2
K	1,5	2	2,5	4

As guias empregadas nas retíficas seguem os critérios de desenho aplicados às máquinas de precisão. Normalmente, para pequenas retíficas, a guia plana combinada com outra prismática de friso levantável e regulável é um bom sistema. (Ver Figura 174). (*)

Para máquinas maiores é aconselhável o uso de guias de rolos ou guias hidrostáticas, cujo princípio de funcionamento é igual ao dos mancais do mesmo



carro de avanço de máquina Centerless com guias de rolos.



Esquema das guias para retífica interna

(FARAGO - Abrasive Methods Engineering - Industrial Press, 1976)

Figura 174. Guias de carros para diversas máquinas.

(*) Nota - Ver no fim do CAPÍTULO III Tabela "Controles geométricos nas máquinas retificadoras".

As guias devem possuir, além de precisão uma boa resistência ao desgaste. Para isso, no caso de retíficas, a compressão média da superfície oscila entre 0,5 e 1 kg/cm².

Como veremos mais adiante é necessário conseguir o máximo amortecimento possível para evitar prejuízos na peça que está sendo usinada. Todos os fatores: eixos, rolamentos e guias têm relação com este problema, juntamente com o desenho da bancada, a fundação e a situação da máquina. Empiricamente está demonstrado que a estrutura e a bancada devem pesar entre 10 a 20 vezes mais do que o conjunto de elementos móveis, para evitar vibrações apreciáveis na massa rígida da máquina. O aumento da massa reduz a frequência vibratória, daí que podemos modificar esta frequência aumentando o peso da fundação. A forma construtiva da fundação é indicada na Figura 175, para o caso de bloco de concreto.

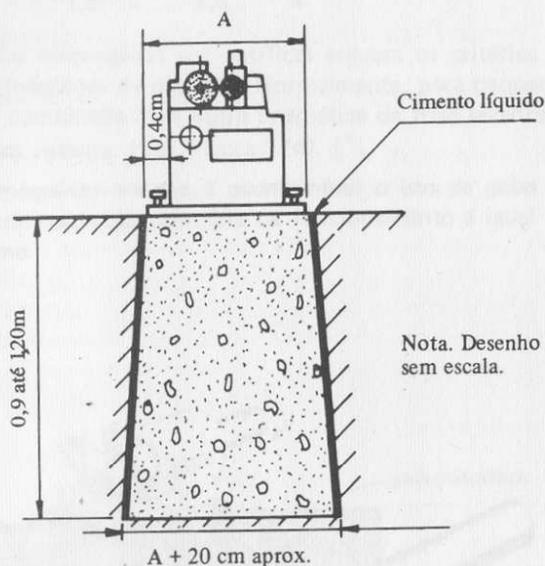


Figura 175

No momento de preparar a fundação deve-se prever a colocação de parafusos para a fixação da máquina. Por meio de cilindros de madeira molhados são préformados os poços onde os parafusos de fixação serão chumbados com cimento-chumbo ou enxofre fundido.

Outro sistema simples e barato é a montagem sobre sapatas amortecedoras de vibrações.

É importante, em especial, no caso de retíficas de precisão, que as vibrações do local de instalação não ultrapassem a amplitude de 0,3 mm/s, medida em redor do lugar de montagem.

A temperatura deve sofrer poucas variações no local da instalação da máquina e se situar perto dos 20/22°C, quando vamos trabalhar com alta precisão.

A RIGIDEZ ESTRUTURAL: rigidez estática e rigidez dinâmica

As forças atuantes durante a operação de retífica (relativas e lineares) produzem oscilações e tensões que devem ser absorvidas pelos elementos estáticos (estrutura e bancada) de forma que não sejam ultrapassados os limites admissíveis para a operação.

Krug define a rigidez estática como um coeficiente de elasticidade $ce = F/h$ expressado em $Kp/\mu m$, ou a força F necessária para provocar uma deformação de $h = 1 \mu m$. Assim, podemos medir a deformação da peça entre pontos devido a força de corte do rebolo, ou a deformação da bancada devida ao esforço a que é submetido o carro deslizante.

Naturalmente a relação $\frac{L}{D}$ ($\frac{\text{comprimento}}{\text{diâmetro}}$) da peça a usinar tem uma grande importância para facilitar ou impedir esta deformação. Uma relação $\frac{L}{D} > 12$ vai apresentar sérias dificuldades de usinagem dentro

das tolerâncias desejadas, devendo ser adotados precauções como o uso de luneta de apoio, diminuição de velocidade periférica e diminuição da profundidade de passe, entre outras.

A rigidez dinâmica depende fundamentalmente da frequência própria ou natural do sistema, definida como aquela na qual o sistema vibrará com maior facilidade quando solicitado por um esforço determinado.

Aplicando uma força F num sistema de um grau de liberdade, aparecerá unicamente uma frequência própria, cuja amplitude com o tempo será cada vez menor em função também do coeficiente de elasticidade e da capacidade de amortecimento (Figura 176).

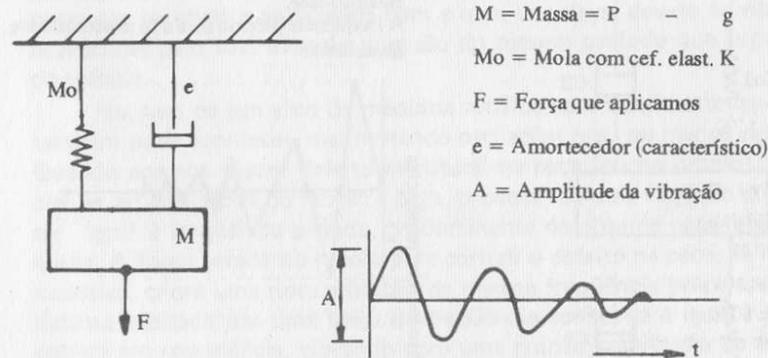


Figura 176. Sistema de um grau de liberdade - Representação esquemática.

A frequência própria depende dos valores da massa e do coeficiente ou constante da mola (e da capacidade de absorção do sistema representa-

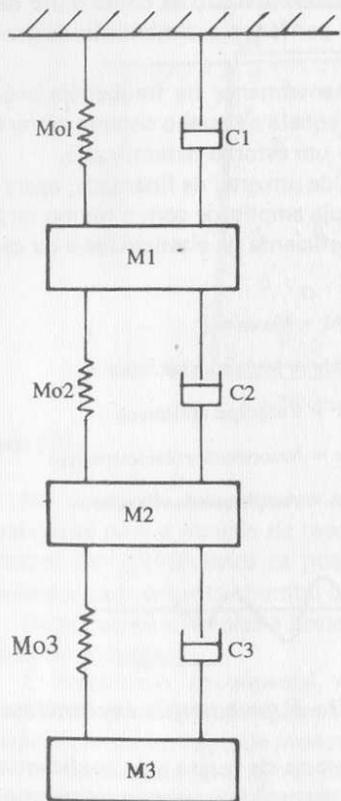
do pelo "e" amortecedor) que representamos pela letra "K", de forma que podemos escrever:

$$F_p = \sqrt{\frac{K}{M}} \quad \text{ou} \quad F_p = \sqrt{\frac{K \cdot g}{P}} \quad \text{sendo } g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

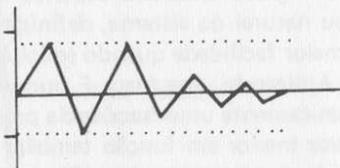
O valor da F_p dependerá, conseqüentemente, de um valor elevado de rigidez M (máquina ou elemento de grande peso) e de um valor K adequado de rigidez.

Em todas as máquinas existem sistemas Massa/mola, cada um com sua freqüência própria característica.

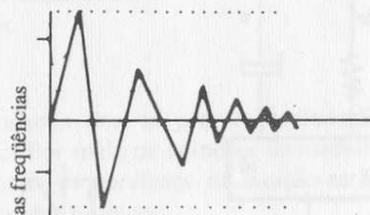
Quando uma força atua sobre o conjunto, um dos sistemas vibrará mais do que os outros, pela sua flexibilidade. A freqüência desta vibração é chamada freqüência própria predominante do sistema ou seja que o sistema vibrará na sua freqüência própria predominante quando submetido à ação da mínima força capaz de provocar uma oscilação.



O sistema vibra de um modo característico para cada conjunto M/Mo quando perturbado por uma força F .



O conjunto $M2/Mo2$ apresenta maior flexibilidade. A freqüência própria será a f_p predominante do sistema.



Amplitudes das freqüências

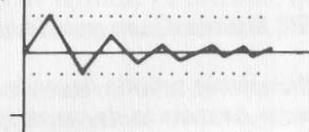


Figura 177. Sistema de 3 graus de liberdade – Representação esquemática.

Esta introdução aos fundamentos da mecânica vibratória servem para explicar os mecanismos que causam um dos problemas mais freqüentes em retífica: a trepidação. A trepidação corresponde à transmissão mútua de vibrações peça/rebolo que levam a operação até o limite prático conhecido como usinagem instável. Isto acontece por influência de forças perturbadoras capazes de induzir no circuito o fenômeno da RESSONÂNCIA ou coincidência de freqüências.

Quando um sistema está em movimento oscilante ou seja vibrando numa freqüência própria, sofre a ação de uma força perturbadora, constantemente, com um período igual ao da F_p , esta aumenta violentamente a sua amplitude, podendo atingir tal valor que é capaz de causar a ruptura do sistema oscilante. Este sistema oscilante (Figura 178).

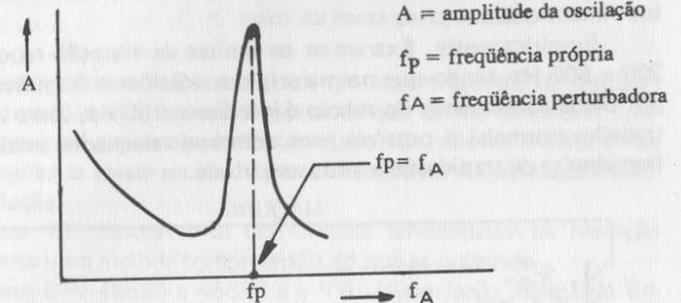


Figura 178. Fenômeno da ressonância.

Temos um exemplo prático do fenômeno de ressonância quando um veículo circulando por um terreno acidentado, com buracos e grandes pedras, começa a pular e sacudir violentamente, fazendo com que não possa ser mantida a velocidade com a qual circulava, devido às vibrações provocadas pelo solo irregular que são do mesmo período que as próprias do veículo.

No caso de um eixo de máquina retífica com rebolo este fenômeno também pode acontecer, manifestando oscilações mais ou menos violentas. Quando aparece algum defeito estrutural na peça (ou no rebolo) modificam-se as superfícies do rebolo e peça, provocando uma vibração que pode ser igual à freqüência própria, predominante do sistema peça-rebolo-máquina. A força gerada no rebolo para corrigir o defeito na peça, na rotação sucessiva, criará uma nova vibração da mesma freqüência própria, então o sistema excitado por uma força de freqüência constante e igual à própria entrará em ressonância, vibrando com uma grande amplitude. Se esta amplitude é maior do que a profundidade (ou amplitude) do defeito da peça que causou a primeira vibração, a operação tornar-se-á instável, acontecendo a chamada "trepidação regenerativa".

Em mecânica vibratória chamamos de "Velocidade Crítica" aquela em que aparece o fenômeno de Ressonância. Em geral, um eixo pode ter várias "Velocidades Críticas" devido a:

- 1) Variação de rpm necessária pela variação do diâmetro (e peso) no rebolo;
- 2) Variação de qualidade da peça usinada;
- 3) Estado dos elementos de transmissão, capazes de produzir vibrações diferentes.

Por esta razão, o motor precisa ter uma frequência muito menor que a F_p mais baixa do sistema, de forma que variando a velocidade entre o mínimo e o máximo não apareça a ressonância.

A trepidação aparece em todas as operações de retífica de uma forma mais ou menos prejudicial e dependendo das qualidades de peça e rebolos. Em muitas ocasiões a trepidação atenuada é a origem das rejeições de peças pelo controle de qualidade com a indicação de "visual não aceitável" que é uma apreciação subjetiva e não tem nada a ver com defeitos dimensionais.

Empiricamente, fixaram-se os limites de vibração rebolo-peça entre 200 e 500 Hz, sendo que na maioria das ocasiões a frequência provocada por desbalanceamento do rebolo é inferior aos 50 Hz, (para velocidades de trabalho normais) é possível com detetores adequados medir o valor das frequências de trepidação e a sua amplitude.

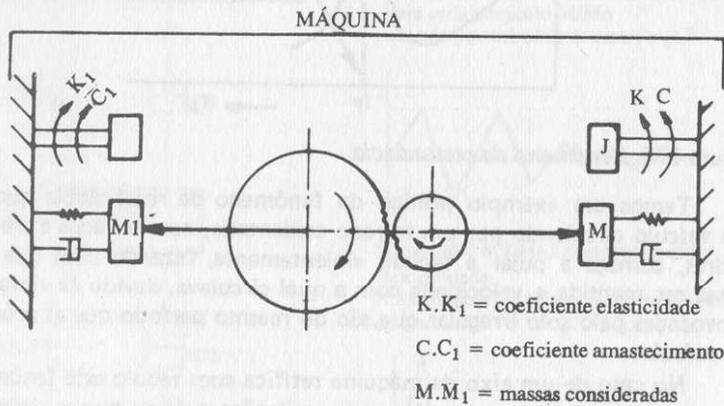


Figura 179. Esquema de influências relativas rebolo/peça.

Observando a Figura 179 vemos a interdependência do sistema elástico máquina/rebolo/peça que define/grande parte o rendimento de uma operação de retífica.

No estudo do problema devemos considerar os valores que permitam fixar os limites de operação. De uma parte os elementos dotados de movimento, como rebolo-eixo e peça-dispositivo de arraste; na outra parte os valores dependentes dos sistemas massa/mola, influenciados pelo comportamento da ferramenta e características específicas do material que está sendo usinado (a força específica de corte é a mais importante).

Se pretendemos analisar isoladamente cada um destes elementos devemos considerar:

$$f_a = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad \text{frequência da força perturbadora}$$

$$f_p = \sqrt{\frac{K}{M}} \quad \text{frequência natural ou própria}$$

$$j = \frac{1}{1 - \frac{f_a^2}{f_p^2}} \quad \text{fator de amplificação de frequência}$$

$$A = \frac{F}{K} \cdot j \quad \text{Amplitude de vibração sendo:}$$

K = constante da mola

F = valor da força perturbadora

Porém, para efeitos práticos usamos um espectrômetro de frequências para resolver a incógnita mais importante que define os valores limites de usinagem para um acabamento desejado. Os valores medidos nos aparelhos comumente usado na indústria correspondem à amplitude e velocidade da oscilação.

Na Figura 180 descrevemos um circuito fundamental de medição ideal que permite uma melhor compreensão do que se pretende.

As normas DIN 45665 e 45666 e a VDI (Associação Alemã de Engenheiros) 2056 de 1964 sugerem a medição da velocidade eficaz da oscilação em mm/s para determinar as grandezas das oscilações mecânicas. Este valor recebe o nome de intensidade de oscilação, ou velocidade de oscilação.

Na Figura 180 mostramos o critério do processo de medição:

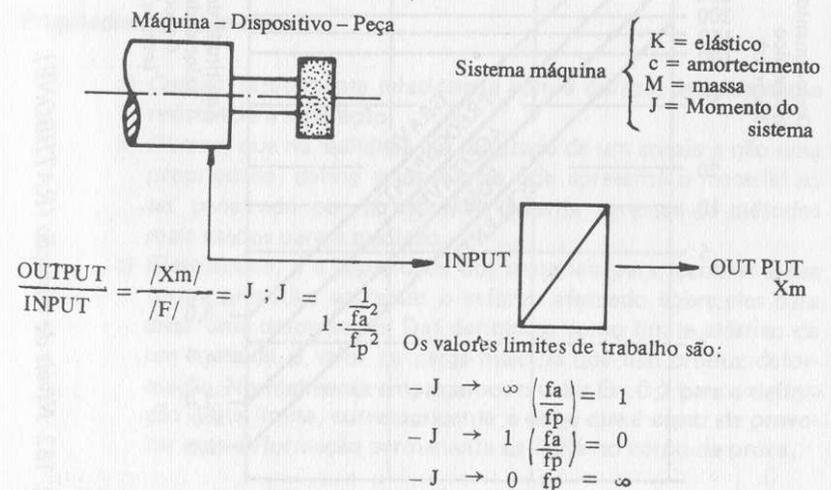


Figura 180. Esquema de medição.

Os máximos valores de J (condições de ressonância) se dão para relações de frequências < 1 e tanto mais próximo de 1 quanto menor for o índice de amortecimento, c.

Os valores indicados nos espectrômetros de frequências medem o valor máximo da amplitude de oscilação ou o valor da velocidade eficaz correspondente às oscilações harmônicas ou não e periódicas ou não.

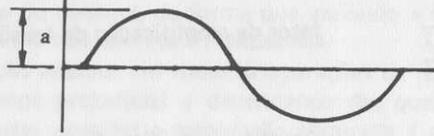


Figura 181. Medição de oscilações no espectrômetro

Para o caso de medição de velocidade o valor corresponde à

$$V_e = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt}$$

que pode resumir-se em

$$V_e = 0,71 a f_a$$

sendo a, expressada em μ

$$a = \frac{V_e}{2\pi f_p (\mu)}$$

valor que define os limites de usinagem.

Os limites aceitáveis, porém, dependerão do tipo de máquina, operação e condições de trabalho não existindo tabela nem fórmula de aplicação universal. O fabricante da máquina retífica fixará com conhecimento os valores permissíveis.

A proposta de Rathbone, fig. 182, embora apresente valores limites bastante baixos é usada em toda a indústria.

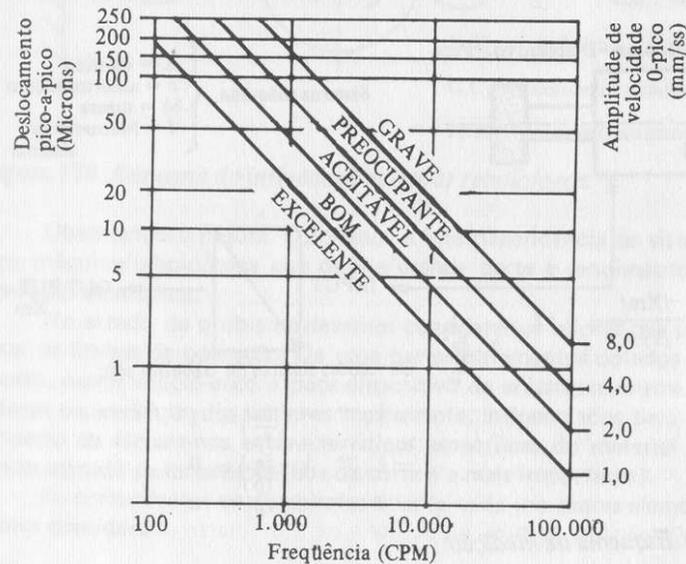


Fig. 182. Níveis de vibração (RATHBONE).

III.1.2. Materiais industriais, conhecimentos básicos

Neste tema estudaremos de forma resumida as propriedades e características mais importantes dos materiais industriais, para poder acompanhar melhor o desempenho dos diferentes abrasivos em operações de usinagem. Naturalmente, qualquer tratado de materiais poderá ampliar profundamente os aspectos técnicos dos materiais, que aqui serão expostos de forma quase telegráfica.

Metais industriais: O número deles é muito reduzido: Fe, Al, Cu, Pb, Zn, Sn, Ni, Cr, Mg, são os mais importantes. Em continuação encontramos Ag, Au, Ti, Wo, Co e Zr.

Muito mais importante são as ligas metal-metal ou metal-metalóide que atingem possibilidades de vários milhares, oferecendo todas as soluções industriais, pois os metais puros raramente são usados.

Na estrutura dos materiais industriais encontramos:

- estruturas cristalinas, tendo como elemento principal o cristal em dimensões da ordem de 10^{-8} cm só podem ser observados por microscópios eletrônicos ou difração dos raios X.
- estrutura granular ou micrográfica, que tem como elemento base o grão em tamanhos entre 0,2 e 0,02 mm sendo possível seu estudo com ajuda do microscópio metalográfico.
- estrutura macográfica observável a olho nu, sendo a fibra o elemento básico.

Propriedades mecânicas

- Coesão**, diretamente relacionada com a dureza, definida como resistência à separação.
- Dureza**, que na realidade é o resultado de um ensaio e não uma propriedade, define a resistência que apresenta o material ao ser penetrado por outro. Mais adiante veremos os métodos mais usados para a medição.
- Elasticidade**, é a capacidade dos materiais para recobrar a sua forma primitiva ao cessar o esforço efetuado sobre eles para criar uma deformação. Daí definimos como limite elástico de um material o valor da carga máxima que não produz deformação. Normalmente empregamos o valor $E_0.0,2$ para a definição deste limite, correspondente à carga que é capaz de provocar uma deformação permanente de 0,2% no corpo de prova.

Observe alguns valores específicos para os materiais que estão na Tabela 11.

TABELA 11

Alumínio Recozido	Limite elast. kg/mm ²	Res. Ruptura kg/mm ²	Dureza HB
Cobre	15	17	30
Níquel	9	24	140
Aço 0,15%C	28	40	150
Aço 0,35%C	35	60	110
Aço 0,55%C	43	72	210

A resistência à tração é a resistência máxima do material à aplicação de uma força tracionadora (ver limite R na Figura 183).

A elasticidade é a capacidade dos materiais de adquirir deformações permanentes. A maleabilidade é a capacidade de deformação em lâminas que alguns materiais possuem. Quando esta deformação é em forma de fio, o material possui ductilidade.

Para entender melhor os conceitos de Tenacidade e Fragilidade, observamos o gráfico da Figura 183, no qual indicamos: (E) limite elástico, (E/P) zona de deformação elástica/plástica e (R) ruptura, salientando que a ruptura acontece sem incremento de carga, a partir do ponto R, como indica o diagrama de deformações/cargas.

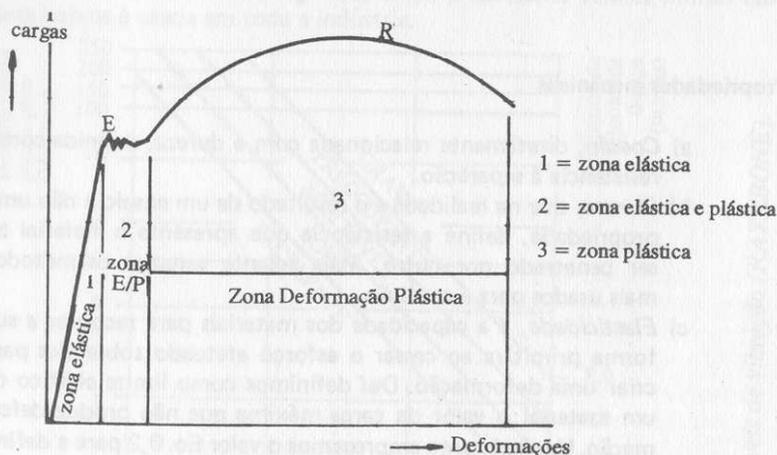


Figura 183. Diagrama/Elasticidade e ruptura num teste de tensão (tração).

O método Shore (ou dureza escleroscópica) mede a altura de rebote de um pequeno cilindro sobre a superfície do material sem praticamente deixar marcas. Os valores das durezas são acompanhados das letras indicadoras do método usado. Assim:

Dureza Representação

Rockwell HR a, b, c ou d em função da carga.
Vickers HV
Brinell HB
Shore HSh

Existe uma relação entre a dureza e a resistência à tração, derivada da relação entre coesão e dureza já comentada (Ver tabelas de durezas no final do livro).

A tenacidade é a resistência ao impacto do material ou também a propriedade de possuir zona elástica e zona plástica.

Um material frágil é aquele que não possui zona plástica, ou seja: submetido a esforço, romperá no limite elástico.

A resiliência não é uma propriedade. É o resultado de um teste que mede a energia consumida pelo material para se romper. Não existe uma relação determinada entre resiliência e tenacidade porém os valores da resiliência são maiores quanto maior seja a tenacidade do material. Daí que é aceito como valor orientativo sobre a tenacidade o valor do ensaio da resiliência. A fluência é a deformação provocada no material pelo próprio peso. Um exemplo típico de material fluente é o Pb.

A fadiga aparece quando um material é submetido a esforços variáveis em magnitude e sentido capazes de provocar a ruptura com cargas de valor inferior ao ponto específico de cada material.

É importante salientar que um bom acabamento melhora a resistência à fadiga do material.

Dureza. Métodos de Medição

Para determinação de dureza, tradicionalmente usam-se na indústria os métodos: Rockwell, Brinell, Vickers e Shore, cada um deles com suas características definidas, sendo o Shore o único não destrutivo.

Para um teste rápido, pode-se usar o "teste da lima". Usando-se uma lima bastarda ou 1/2 fina aplica-se sobre o material. Se a lima "entre" ou penetra, a dureza corresponde a valores inferiores a 58 HRc. Se não "entra", o valor da dureza será superior a 60 HRc. O campo de aplicação e a precisão são, como pode-se comprovar, muito pobres.

O método Brinell determina a dureza medindo o diâmetro da marca provocada por uma bola de aço (ou alguns casos wídia) depois de ficar um tempo determinado sob carga sobre o material em teste.

O método Rockwell mede a penetração (profundidade) de uma ponta cônica. No caso de aços temperados, a bola usada no método Brinell não é adequada devido às possíveis deformações.

O método Vickers usa uma ponta piramidal como elemento penetrante, e a medição é efetuada tirando a média das medidas das diagonais da marca provocada, com ajuda de microscópio. A escala Vickers é mais precisa que a Rockwell.

TABELA 12

FAMÍLIA	TIPO	RESULTADO NO MATERIAL
Térmicos	Recosimento	Diminui as tensões - amolece
	Têmpera	Aumentar dureza
	Revenimento	Complementa a têmpera, melhora a tenacidade às vezes a custo de dureza
Termoquímicos	Cementação	Introduz C na superfície. Aumenta dureza, a tenacidade no núcleo permanece
	Nitretação Cianuretação	Atinge grande dureza superficial
	Carbonituração	Aumento de dureza por absorção de CtN
	Sulfinização	Aumenta dureza por introdução de CtN e S em especial
Mecânicos	A quente forja	Uniformiza a massa. Afina o grão
	A frio Deformação superficial Deformação profunda	Trefilado, laminado Aumentam a resistência mecânica Aumentam a dureza
De superfície	Cromado	Aumenta dureza (atinge durezas >70 HRC) e a resistência ao desgaste
	Metalização	Por projeção por plasma para criar uma cap. superficial normalmente mais dura resistente.

Tratamentos dos materiais

Definimos como tratamentos aqueles processos efetuados para melhorar as características mecânicas dos materiais como a dureza, a tenacidade e a plasticidade.

Os tratamentos dividem-se em várias famílias, como mostra a Tabela 12.

Características das ligas de Fe

Considera-se Fe puro aquela liga que contém C em proporção inferior a 0,03%. O aço contém entre 0,3 e 1,76% de C e a fundição entre 2,5 e 4%.

Os aços contêm uma série de elementos na composição que modificam as características mecânicas. A influência destes elementos estão detalhadas na Tabela 13.

TABELA 13

ELEMENTOS							
	Dureza	Resistência	Resistência ao impacto	Elasticidade	Formação de carbonetos	Resistência à abrasão	Usinabilidade
Silício	↑	↑	↓	↑↑↑	↓	↓↓↓	↓
Manganês	~	↑	~	↑	~	↑	↓
Cromo	↑↑	↑↑	↓	↑	↑↑	↑	—
Níquel	↓	↑	↑↑	—	—	~	↓
Alumínio	—	—	↓	—	—	—	—
Tungstênio	↑	↑	~	—	↑↑	↑↑↑	↓
Vanádio	↑	↑	↑	↑	↑↑↑	↑↑	—
Cobalto	↑	↑	↓	—	—	↑↑↑	~
Molibdênio	↑	↑	↑	—	↑↑↑	↑↑	↓
Cobre	↑	↑	~	—	—	—	~

↑ aumenta

↓ diminui

~ constante

— desconhecido

Os aços classificam-se conforme norma francesa (de aceitação em todo mundo) dependendo do teor de C em:

aço extra-doce	< 0,15% C	} aços de baixo C
" doce	0,15 - 0,3% C	
" meio doce	0,3 - 0,4% C	} aços de meio C
" " duro	0,4 - 0,6% C	
" duro	0,6 - 0,7% C	} aços de baixo C
" extraduro	0,7 - 1,20 e mais C	

É possível determinar o teor de C nos aços por meio de um teste simples de faíscas ou centelhas. O aço extradoce produz faíscas retas, sem ramificações nem estrelas, e estas aumentam e acercam-se cada vez mais do ponto de contato peça-rebolo à medida que o teor de carbono aumenta. Veja Figura 184.

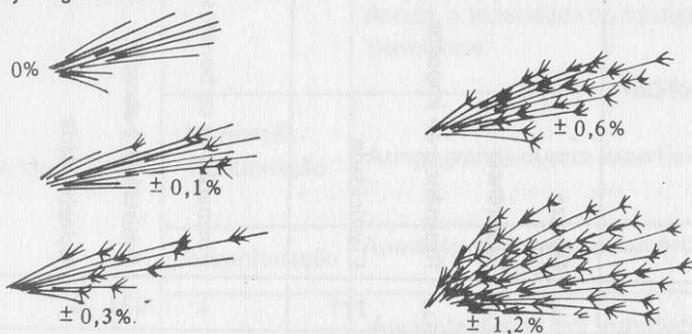


Figura 184. Faíscas de aços.

O teste deve ser efetuado por operário experiente, com rebolo A36 Q vitrificado e as tabelas comparativas podem ser obtidas nos catálogos de qualquer fabricante de aços.

A usinabilidade, tomando como base 100 a do aço ABNT 1112 é para alguns aços a seguinte:

Aço	Usinabilidade	Dureza Brinell (HB)
1112	100	80-90
1045	55	165-180
1141	70	190-210
4320	60	190-230
8620	65	180-235

A resistência à tração pode ser encontrada de forma bastante **exata** como indicado a seguir, partindo da dureza HB.

Aços Carbono:	0,36HB
Aços Cr, Mn, CrMn:	0,35HB
Aços Ni, CrNi, CrMo:	0,34HB

Equivalência dureza HB/Res. à tração

A dureza mais favorável para usinabilidade parece ser entre 140/200 HB. Com dureza superior a 600 HB (58 HRc) a usinagem requer abrasivos em forma de ferramentas-pastilha (superabrasivos sinterizados) ou rebolos.

Todos os aços são usináveis com abrasivo ALO.

Os fundidos (FoFo) são usináveis com rebolos SiC. Porém existem casos em que a regra apresenta exceções. É preciso, pois, considerar: porcentagem C, resistência à tração (ou dureza) e presença de elementos de liga, antes de definir o tipo de rebolo. Para desbaste pode ser em SiC, Zr ALO, Zr puro ou SiC/ALO. Esta variedade de possibilidades, para uma operação simples, dá uma idéia da necessidade de estudar em detalhe o material a ser usinado antes de definir a característica do rebolo.

Os fundidos classificam-se em:

- 1 Fofo cinza
- 2 Fofo branco
- 3 Fofo mesclado
- 4 Fofo maleável branco (europeo)
- 5 Fofo maleável preto (americano)
- 6 Fofo grafite esferoidal
- 7 Fofo grafite difuso

A grande diferença entre Aço e Fundido (FoFo) do ponto de vista mecânico reside na maleabilidade. Os Fofos, com exceção dos números 4 e 5 não são maleáveis. Os números 4 e 5 conseguem esta característica por meio de um tratamento térmico a 500°C.

As características mecânicas dos Fofos são:

	Res. tração kg/mm ²	Dureza HB
1 Fofo cinza	10-35	145-280
4 Fofo branco maleável	28-40	145-280
5 Fofo preto maleável	30-35	145-280
6 Fofo grafite esferoidal	40-80	150-360
Fofo Perlítico	25-50	180-250

Podem se obter ligas de FoFo a base de Co, Cr e Ni com alta resistência mecânica e dureza.

A fundição temperada ou FoFo coquilhado é um caso especial. Este fundido é assim chamado porque pelo processo de moldagem adquiriu uma dureza 400/500 HB numa profundidade de 5/10 mm.

Alguns fundidos ligados admitem tratamento térmico de tempera e revenimento, embora a reação não seja a mesma do que no caso dos aços.

A tempera diminui a resistência à tração e o revenimento faz aumentá-la (só até numa determinada temperatura). A dureza sofre as mesmas variações que acontecem com os aços.

Os metais não ferrosos e suas características, juntamente com as das suas ligas mais importantes, estão resumidas a seguir, sendo a sua usinagem aconselhável com rebolos SiC especialmente pela baixa resistência à tração que apresentam.

Estes materiais são: Cobre, Latão, Bronze, Chumbo, Alumínio e Níquel. Madeiras, Refratários, Borracha e plásticos, complementam o campo de aplicações do SiC.

Cobre:

> 99% Cu	Fundido	Recozido	Duro
Res. Tração	20	24	40
Dureza HB	50	50	115

Latão: Liga a base de Cu, Zn e outros em pequenas quantidades (até 7,5%) como Pb, Mn, Al e Si

	Fundido	Laminado qte.	Laminado frio
Res. Tração Kg/mm ²	15-30	35-50	30-55
Dureza HB	50-80	90-110	80-150

Bronze: liga a base de Cu e Sn e outros elementos em pequenas quantidades (Zn, Pb, etc.), os bronzes são usados grandemente na indústria para peças submetidas a grandes esforços de esfregamento: mancais, válvulas hidráulicas, turbinas de bombas hidráulicas, turbinas de bombas de vácuo, engrenagens, etc.

O bronze fosforoso com 10/20% de Sn 1-3,5% de P e 80/90% de Cu é muito conhecido sendo aplicado universalmente na fabricação de buchas.

	Laminado mole	Laminado duro	Fundido
Res. à Tração	35-45	60- 85	~ 20 (maioria dos casos)
Dureza HB	75	170-210	~ 70 (maioria dos casos)

Chumbo: de baixa resistência não precisa de abrasivos para ser usinado no estado puro. Ligado com Sn e Sb forma o chamado metal antifricção usado nas buchas deslizantes (prensas principalmente).

Alumínio: as suas ligas são importantíssimas e ele também é usado puro. Duralumínio é a mais conhecida: 95% Al, 4% Cu, 0,5% Mg e 0,5% Mn, forjável laminável e admite tratamentos térmicos. O Silumínio, liga de 13% Si (e as vezes Mg, Mn) também é muito usado.

Alumínio	Dureza	Res. Tração
Fundido	24/32	9/12
Laminado	45/60	18/28
Recozido	15/25	7/11
Duralumínio		
Normal	~ 100	10
Duro	~ 140	50
Recozido	~ 60	25

Níquel: especialmente o Metal Monel e a Alpaca são as mais importantes ligas. O Mn é utilizado na indústria química pela alta resistência à corrosão.

Níquel	Dureza HB	Res. Tração kg/mm ²
Normal	90	50
Duro	180	100
Alpaca		
Laminado	150-200	65
Recozida	60- 90	40
Metal Monel		
Fundido	130	50
Laminado	180	60

As características indicadas para estes materiais são orientativas (ligas de Fe inclusive) e podem ajudar na melhor escolha das especificações dos rebolos, considerando especialmente:

- dureza;
- resistência à tração; e
- influência dos elementos da liga.

No capítulo de especificações, complementamos os critérios de seleção com maiores esclarecimentos das relações dureza/usinabilidade especificação de características de rebolos com abrasivos convencionais e superabrasivos, e abrasivos aplicados ou flexíveis.

O grupo dos sinterizados é representado principalmente pelos metais duros, usináveis unicamente com rebolos SiC (com certas limitações) e especialmente com superabrasivos. Constituídos principalmente por Carbureto de Tungstênio, apresentam as características seguintes:

Dureza 1.200 – 1.750 HV
Resistência ruptura flexão 110–235 kg/mm²

e com referência note-se que o valor do módulo de elasticidade corresponde a valores entre 52.000 e 63.000 kg/mm², enquanto o do aço rápido é de 23.000 kg/mm².

As buchas autolubrificantes também são fabricadas em bronze sinterizados, porosos até 30% em volume, e as características mecânicas são um pouco inferiores às das indicadas para os bronzes tradicionais.

Peças pequenas em Fe sinterizado são muito freqüentes na indústria mecânica, sendo as suas características inferiores às que teriam no caso de serem fundidas e usinadas e já comentadas nos parágrafos de metais e ligas.

Os materiais não-metálicos como madeira, plásticos, borracha e cerâmicas são todos de características mecânicas inferiores das estudadas até agora. Todos eles são usinados com SiC e superabrasivos com exceção da madeira que também pode ser trabalhada com ALO em bandas abrasivas ou lixas.

III.2 Operações e especificações

A seguir estudaremos as características particulares das seguintes operações:

- Retífica Cilíndrica
- Retífica Centerless
- Retífica Interna
- Retífica Plana
- Retífica Desbaste
- Corte
- Superacabamento
- Operações com superabrasivos
- Abrasivos livres

ampliando os conceitos de alguns casos particulares, como:

- Virabrequins
- Cames (eixo comando)
- Roscas
- Engrenagens
- Afiação de ferramentas
- Pontas montadas
- Tamboreamento

Os temas como "Dressagem", "Refrigerantes", "Balanceamento" e outros em continuação, são de interesse geral e devem ser consultados para cada tipo de operação.



Rebolo vitrificado para fabricação de limas. - 1260 x 480 x 630mm. - Peso 1000 Kg
Um dos maiores do mundo. Cortesia da Sivat S.A. Salto SP.

III. 2.1 Retificação Cilíndrica entre pontos.

A retificação de peças de formas cilíndricas, sustentadas entre dois pontos da retífica, pelos centros, é chamada cilíndrica entre pontos. Distingüimos dois procedimentos de retificação cilíndrica entre pontos:

- A) longitudinal
- B) em mergulho

Definimos a operação como retificação longitudinal quando o comprimento da superfície da peça a ser retificada é maior que a espessura do rebolo utilizado (Figura 185).

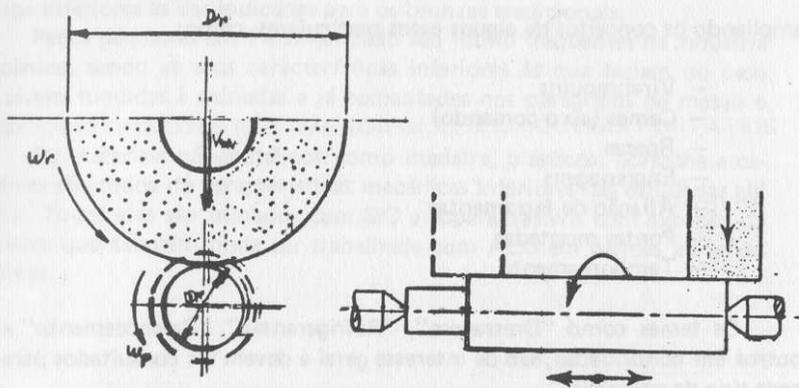


Figura 185. Retificação cilíndrica entre pontos

Os movimentos relativos entre a peça e o rebolo são os seguintes:

- Movimento de rotação da peça retificada W_p (r.p.m.) indicado também pela sua velocidade periférica V_p (m/min).

$$V_p \text{ (m/min)} = \frac{\pi \cdot D_p \text{ (mm)} \cdot W_p \text{ (r.p.m.)}}{1.000}$$

- Movimento de rotação do rebolo W_r (r.p.m.), indicado também pela sua velocidade periférica V_r (m/seg).

$$V_r \text{ (m/seg)} = \frac{\pi \cdot D_r \text{ (mm)} \cdot W_r \text{ (r.p.m.)}}{60 \cdot 1.000}$$

- Movimento de penetração ou avanço em profundidade de passagem V_{AV} (mm/passagem). É um movimento retilíneo e intermitente, avançando no momento em que se produz inversão do sentido do movimento longitudinal.
- Movimento longitudinal da mesa da máquina V_e , (m/min) em máquinas (tipo de construção Norton) ou movimento lateral do rebolo, V_{er} (m/min) em máquinas (tipo de construção Landis).

No procedimento de retificação longitudinal utilizam-se diferentes sistemas analisados a seguir.

1 Retificação longitudinal com várias passadas longitudinais:

O avanço em profundidade é realizado já no fim de cada movimento oscilante, ou seja, no fim de cada movimento oscilante duplo. O rebolo não deverá sair totalmente fora da peça, para evitar que a borda da peça desmorone. É aconselhável que somente um-terço da espessura do rebolo sobressaia da peça. Este procedimento será usado para peças de grandes comprimentos (Figura 186).

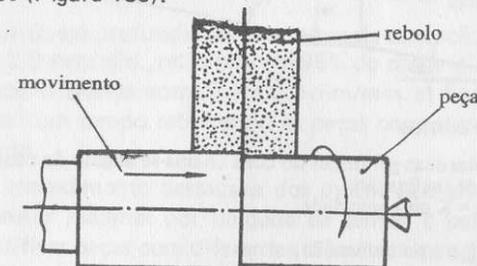


Figura 186. Movimentos rebolo - peça

2. Retificação longitudinal com avanço único.

A totalidade de sobremetal, habitualmente de $0,1 \div 0,3$ mm., é arrancado em uma passada, com pequeno avanço longitudinal.

A operação é realizada em dois tempos (desbaste e acabamento), sendo necessário que o rebolo saia totalmente fora da peça retificada, no fim de cada avanço longitudinal.

É possível, neste procedimento, usar dois rebolos com duas especificações diferentes. O rebolo que realiza a operação de desbaste deverá ser especificado com grana mais grossa e dureza maior do que o segundo rebolo, cuja função será dar acabamento à peça.

O rebolo deverá ser periodicamente dressado, já que a superfície de trabalho do rebolo vai deteriorando-se gradativamente, motivando o aparecimento de marcas espirais na peça retificada.

O avanço longitudinal máximo dependerá, em cada operação, desta condição obrigatória: ao parar o avanço longitudinal e retroceder a mesa não deve-se perceber fagulhamento.

Após retificada a peça, a mesa voltará à posição inicial, ficando pronta para retificar outra peça, sem precisar mudar o avanço. Este procedimento dá uma grande homogeneidade dimensional em trabalhos seriados, diminuindo as altas temperaturas originadas no processo anterior. Será utilizado este método em peças sensíveis a pequenas variações de temperaturas, em peças compridas, em peças sinterizadas, etc.

3. Retificação de superfícies cônicas:

As superfícies cônicas externas podem ser retificadas com retíficas cilíndricas, girando a mesa (Figura 187) ou girando o cabeçote porta-rebolo (Figura 188). As características de um cone vêm definidas pela conicidade e a inclinação (Figura 187).

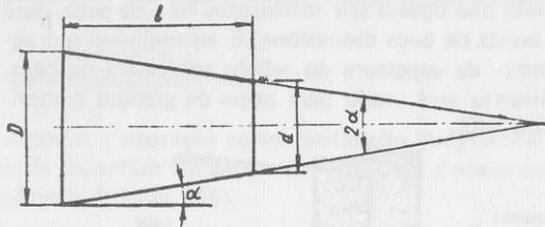


Figura 187: Superfície cônica

- O ângulo 2α formado pelas geratrizes do cone chama-se ângulo do cone
- O ângulo α é o ângulo de inclinação;
- A relação $\frac{D-d}{L} = 2 \operatorname{tg} \alpha = K$ ou conicidade,
- A relação $\frac{D/2 - d/2}{L} = \frac{K}{2} = 1$ ou inclinação;
- A relação $100x\%$ = inclinação em porcentagem

As superfícies cônicas com pequena inclinação, são retificadas entre pontas, girando a parte superior da mesa porta-peça, num ângulo α (Figura 188). Este ajuste da mesa situa a superfície do cone paralela à direção do avanço.

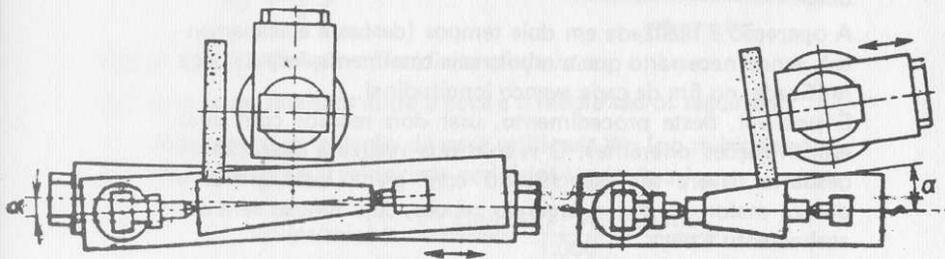


Fig. 188

Fig. 189

As superfícies cônicas com grande inclinação e grande comprimento são retificadas girando o cabeçote porta-rebolo num ângulo α (Figura 189). Neste caso o movimento longitudinal é feito pelo cabeçote porta-rebolo.

III.2.1.2 Retificação em mergulho de avanço em profundidade

Quando o comprimento das peças é pequeno, usa-se a retificação em mergulho. Neste procedimento a retificação é feita simultaneamente sobre todo o comprimento da peça, sem precisar realizar movimentos longitudinais (ver Figura 190). Pode-se ajudar a operação, imprimindo na peça um pequeno movimento oscilante (Figura 191), porém com a peça dentro dos limites, favorecendo a remoção de material e o acabamento.

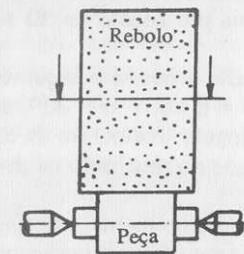


Fig. 190

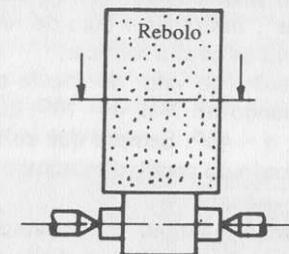


Fig. 191

O avanço em profundidade, no início da operação ou desbaste, oscila entre $0,4 \div 2,0$ mm/min., retirando até 95% do material. O restante é acabado reduzindo o avanço entre 0,1 e 0,3 mm/min. e, finalmente, é recomendável manter um tempo retificando as peças com avanço zero até parar o fagulhamento.

Este procedimento destaca-se dos outros pela alta produtividade, removendo maior material por unidade de tempo e pela sua versatilidade, podendo retificar peças com diferentes diâmetros, peças perfiladas, etc.

1. Retificação em mergulho de diâmetros diferentes:

A retificação é feita com uma bateria de rebolos, adequando as especificações e medidas de acordo com as características da peça a ser usinada (dureza e rugosidade).

Os rebolos são montados um ao lado do outro ou separados entre si, por flanges separadoras, segundo necessidades do desenho da peça (veja Figura 192).

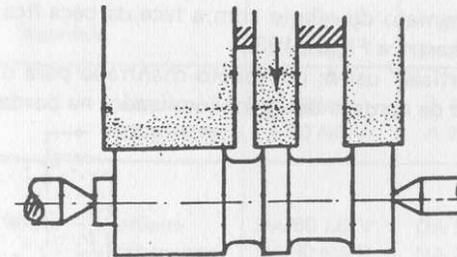


Fig. 192

2. Retificação em mergulho de perfil:

Na retificação de perfil ou formas, o reboło imprime na peça o próprio perfil que possui.

O perfilamento do reboło, para perfil complexo, deverá ser feito mediante rolos diamantados, sobretudo em trabalhos seriados e que exigem alta produção e pequenas tolerâncias.

O caso mais comum de retificado de perfil é feito com "retíficas inclinadas", nas quais o eixo do rebolo forma um ângulo de $10 \div 45^\circ$ com o eixo da peça a retificar.

Na escolha do valor do ângulo de inclinação segue-se o seguinte critério: quando $l/h > 8$, $\alpha = 10^\circ$; quando $l/h = 8$ até 1 , $\alpha = 30^\circ$; e quando $l/h \leq 1$, $\alpha = 45^\circ$. Sempre que aumenta o ângulo, melhoram as condições de retificado do perfil, diminuindo a qualidade do retificado na parte cilíndrica.

O avanço realiza-se, como sempre, perpendicularmente, assegurando maior exatidão nas peças trabalhadas do que com o perfilamento feito com retíficas verticais. Este método de retificação reduz o problema de queimas na peça, por diminuir a superfície de contato entre o rebolo e a peça retificada, reduz a rugosidade da superfície, eleva a precisão das peças retificadas, assim como o rendimento da operação.

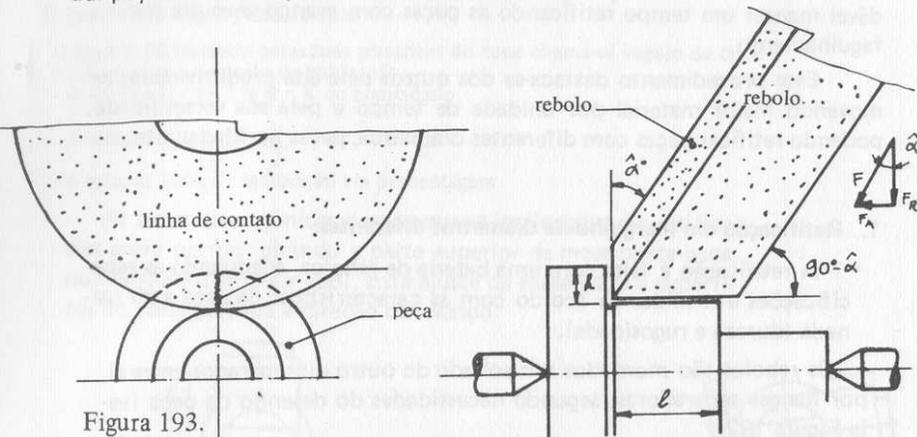


Figura 193.

A superfície de contato do rebolo com a face da peça fica reduzida a uma linha, como mostra a Figura 193.

No "processo vertical" usa-se um rebolo chanfrado para o furo, reduzindo a superfície de contato dos grãos localizados na borda do rebolo (ver Figura 194).

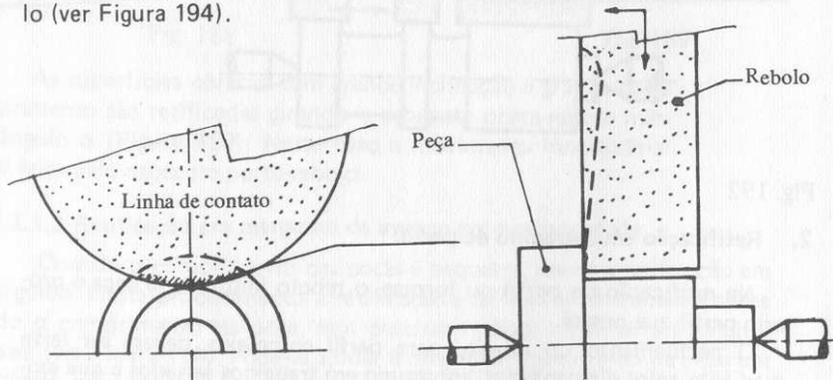
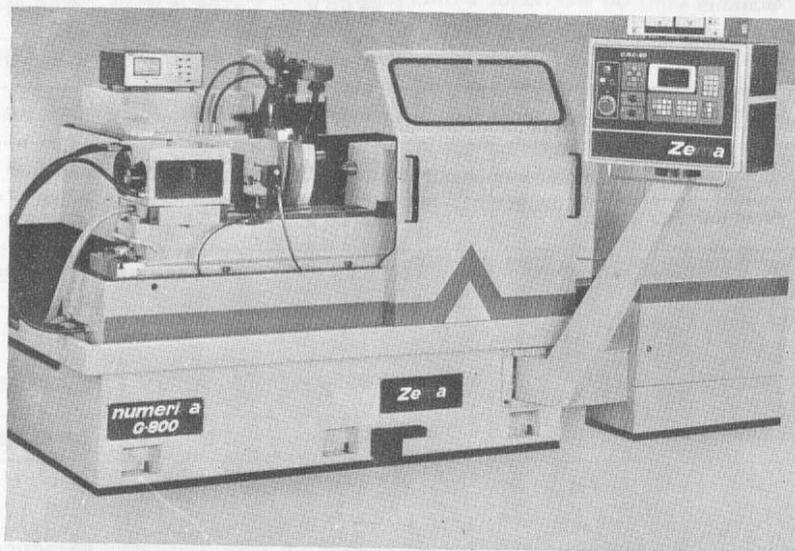


Figura 194. Esquema de operação de retífica angular "(vertical)"

Observa-se que a superfície de contato do rebolo com a face da peça é mais extensa do que nas retíficas inclinadas. Cada grão abrasivo percorre esta superfície, permanecendo mais tempo em contato com a peça e removendo maior volume de material do que no caso de retificado angular, podendo aparecer queimaduras na peça. Deve-se trabalhar com avanços menores, rebolos mais moles e outros cuidados especiais.



Retífica cilíndrica a comando numérico (cortesia Zema)

Tabela de especificações – Retífica cilíndrica externa entre pontos

Material	Diâmetro < 350	Diâmetro de 350 à 450	Diâmetro de 450 à 600
Aços Carbono			
– desbaste	A 60 M6 V	A 60 L6 V	A 54 M6 V
– acabamento	A 80 N6 V	A 80 M6 V	A 80 M6 V
Aços Liga			
dureza < 58 Rc			
– desbaste	DA 60 L6 V	DA 54 L6 V	DA 46 L6 V
– acabamento	DA 80 M6 V	DA 80 L6 V	DA 80 K6 V
Aços Liga			
dureza > 58 Rc			
– desbaste	AA 60 K6 V	AA 54 K6 V	AA 46 K6 V
– acabamento	AA 80 K6 V	AA 80 J6 V	AA 80 J6 V
Aço Inoxidável Austenítico	C 80 K6 V	C 80 J6 V	C 60 J6 V
Aço Inoxidável Duro	AA 60 K6 V	AA 60 J6 V	AA 54 J6 V
Aço Rápido – Dureza < 63 Rc	AA 60 K6 V	AA 54 J6 V	AA 46 J6 V

Tabela de especificações – Retífica cilíndrica externa entre pontos

(Continuação)

Materiais	Diâmetro < 350	Diâmetro de 350 à 450	Diâmetro de 450 à 600
Alumínio	C 54 K6 V	C 54 J6 V	C 46 J6 V
Bronze Duro	C 46 L5 V	C 46 K6 V	C 46 K6 V
Cobre	C 60 K6 V	C 54 K6 V	C 46 K6 V
Latão e Bronze Mole	C 46 K6 V	C 46 J6 V	C 46 J6 V
Ferro Fundido Cinza	C 46 L6 V	C 46 K6 V	C 46 K6 V
Borracha Dura	GC 60 H8 V	GC 46 H8 V	GC 46 H8 V
Borracha Macia	AA 80 G12 V	AA 60 G12 V	AA 60 H12 V
Metal Duro (wídia)	GC 80 J8 V	GC 60 J8 V	GC 46 K8 V
Wolfrânio	GC 60 K8 V	GC 54 K8 V	GC 46 L8 V

III.2.1.3 Retificação de Eixos de Virabrequim

A retificação de eixos de virabrequim é uma retificação cilíndrica, porém de características muito especiais. Primeiro por utilizar rebolos de diâmetros grandes, para que as flanges do rebole não interfiram com os contrapesos do eixo e, segundo, por ter que retificar, num corte de mergulho, duas superfícies planas laterais (espelhos) e uma superfície cilíndrica do colo, no qual é necessário manter um raio em cada extremidade (veja Figura 195).

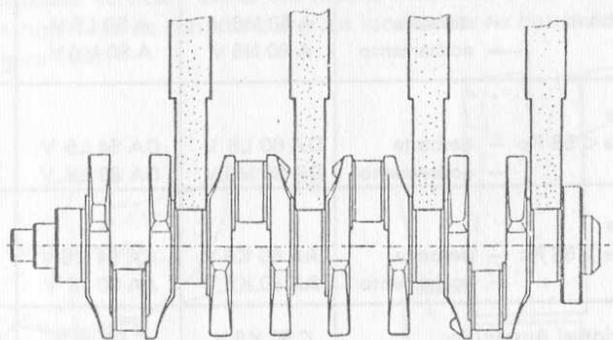
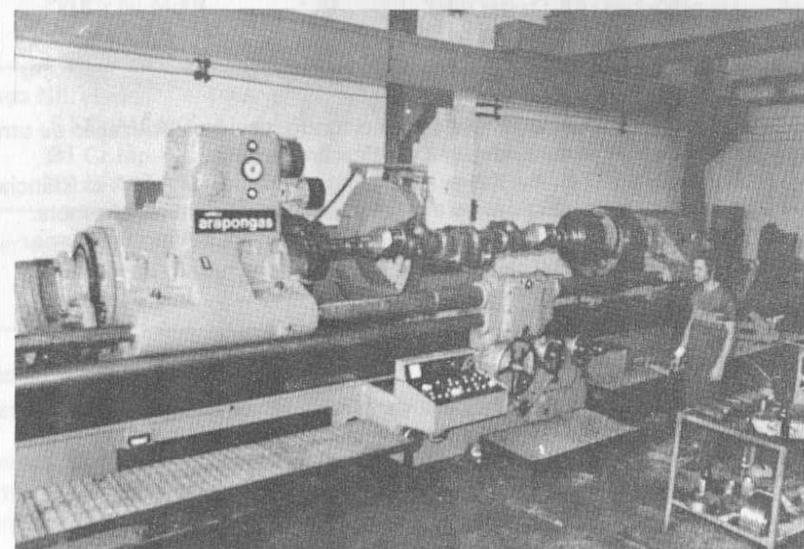


Figura 195: Retificação do assento central do virabrequim mediante um jogo de quatro rebolos.

Os rebolos são ajustados nos negativos exatos dos formatos desejados e efetua-se o corte em mergulho para o acabamento do diâmetro, passando pelas etapas necessárias até atingir o acabamento desejado. Os cabeçotes porta-rebolos avançam primeiro em alta velocidade, reduzindo-a ao efetuar o contato com as paredes laterais e diminuindo-a ainda mais quando a periferia entra em contato com a superfície do pino e, retraindo-se rapidamente quando o calibrador automático indica que o diâmetro adequado foi atingido.

A retificação em mergulho não é o único sistema. É comum, especialmente no caso de pinos grandes, trabalhar com movimento transversal do rebole e um movimento de avanço combinados. Este é um processo mais lento, sendo reservado para eixos grandes, retificados normalmente mais em operação manual do que em automática.



Retífica NAXOS WRKT para virabrequins e eixos de navios até 6,00m e diâmetro de volteio 1200 mm. (Cortesia de Mecânica Arapongas, RJ).

Os assentos extremos e as flanges podem ser usinadas pelo método de corte inclinado, realizando simultaneamente a retificação dos mesmos (veja Figura 196).

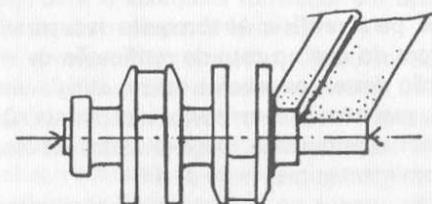


Figura 196: Retificação de assentos extremos.

O corte em mergulho é um teste muito severo para o rebolo. Usando um rebolo mole, este teria um desgaste muito rápido na borda e usando um rebolo duro tenderá a desfazer-se na aresta, provocando a perda da largura do apoio. Nos desenhos na Figura 197, indicamos as duas deficiências.

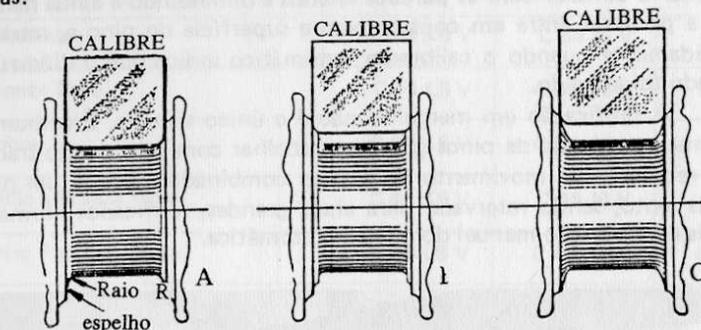


Fig. 197

Na Figura 197-A, o calibre atinge o fundo, devido à utilização de um rebolo adequado, conseguindo uma retificação perfeita.

Na Figura 197-B, o calibre não atinge o fundo, devido à existência de paredes duplas produzidas pela retificação comum com rebolo mole.

Na figura 197-C, o calibre não atinge o fundo, devido ter menor largura no apoio, conseqüência de retificação com rebolo duro.

Especificações dos rebolos

A especificação dos rebolos para retificar virabrequim dependerá de vários fatores:

- tipo de virabrequim (recuperado, fabricado)
- tipo de operação de usinagem (mergulho, oscilante, inclinado)
- material de construção dos virabrequins
- condições geométricas do virabrequim
- tolerâncias de acabamento
- velocidade periférica do rebolo
- máquina utilizada
- refrigerante, etc.

Os rebolos para retificar virabrequins recuperados são submetidos a menores esforços do que no caso de retificação de virabrequins fabricados. Na retificação destes, os rebolos devem atingir uma só entrada, todo o perfil do colo, mas sem aquecer muito a peça para não produzir queimaduras e trincas nos virabrequins. Exige-se destes rebolos um grande poder de arranque e bom manutenção do perfil.

Os materiais usados na construção de virabrequins estão descritos na Tabela 14.

TABELA 14

Material	Dureza	Resistência/ruptura
Aço tratado termicamente CK 45 37 Cr 4 34 Cr Mo 4 42 Cr Mo 4 34 Cr Ni Mo 6 51 Cr Mo V 4	30-60 HRc 30-60 HRc 30-60 HRc 30-60 HRc 30-60 HRc 30-60 HRc	700-1100 N/mm ²
Aço Cementado 17 Cr Ni Mo 6 20 Mn Cr 5	60 HRc 60 HRc	1100-1400 N/mm ²
Aço Nitretado 31 Cr Mo V 9 31 Cr Mo 12 32 Cr Mo 12	800 HV 800 HV 800 HV	800-1000 N/mm ²
Ferro Fundido Grafítico Esferoidal GG 60 GG 70		400-600 N/mm ²

Escolha das características dos rebolos

Considerando todos os fatores anteriores, a escolha do rebolo deverá orientar-se primeiramente por: manutenção do perfil, grande remoção de material, duração, mínimo número de dressagens com o mínimo desgaste do diâmetro do rebolo. Usualmente, encontramos:

- a) **Tipo de grão:** óxidos de alumínio A, DA, AA e DR em granulometrias entre 46-80.

O grão 46 é usado para retificar eixos forjados ou fundidos, após saírem da forjaria ou fundição para operações de semi-acabamento ou acabamento das peças de ferro fundido. É usado, também, para virabrequins torneados em desbaste e semi-acabados antes do tratamento térmico.

Os eixos, previamente torneados, são submetidos a retificação de semi-acabamento e acabamento numa única operação, usando-se grão 54, removendo o material rapidamente e proporcionando acabamento até 22µ. Para eixos muito duros, o grão 60 terá comportamento melhor que os grãos 54 e 46, conseguindo acabamentos de até 16µ.

- b) **Dureza do rebolo:** as durezes oscilam entre "K - O", seguindo

os critérios seguintes: durezas baixas para grandes superfícies de contato e durezas altas para desbastes brutos de peças forjadas ou fundidas.

c) **Liga:** somente é usada liga vitrificada. Os cantos dos rebolos deverão exercer uma ação cortante muito importante. No caso destes ficarem carregados, o calor desenvolvido no eixo e a pressão exercida pelo avanço, que geralmente costuma ser automático, romperá os cantos do rebolo, produzindo "paredes duplas" na peça. Para corrigir estes efeitos poderá ser usado um rebolo com faixas laterais, com especificação diferente da parte central do mesmo.

Tipos de máquinas usadas

- Landis
- Lemppo
- Norton
- Van Norman
- Warner and Swasey
- Stormvulcan
- Naxos
- Berloni and Cotti (Berco)
- Cedar Rapids
- Schaudt
- Schov

Cada fabricante tem diferentes modelos, trabalhando com rebolos dimensionalmente diferentes. Os diâmetros oscilam entre 24" - 42" e furos entre 6" - 12".

Tabela de especificações para virabrequins

Virabrequim para recondicionar:		
- Forjado	A-60.3 N6 V	
- Fundido	A-60.5 M5 V	
Virabrequim (fabricado):		
colos de bielas	DA-46.3 N6 V - desbaste	
- Forjados	DA-60.3 M6 V - acabamento	
mancais	DA-46.2 L6 V - desbaste	
	DA-60.2 K6 V - acabamento	
- Fundidos	colos de bielas	DA-54.5 N6 V
	mancais	DA-60 M6 V

Imperfeições e suas causas - Pesquisa de defeitos

As imperfeições na superfície das peças tratadas podem ser atribuídas ao rebolo indicado para a aplicação ou à soma de várias circunstâncias. É fácil eliminar alguns defeitos quando as razões são conhecidas. As imperfeições que freqüentemente ocorrem e suas causas estão mostradas na Tabela 15

TABELA 15

IMPERFEIÇÕES	CAUSAS	MEDIDAS CORRETIVAS
Marcas de trepidação no colo do virabrequim. Marcas de batidas no raio	Rebolo muito duro Velocidade excessiva da peça Excessiva remoção Má qualidade do refrigerante Falta de balanceamento do rebolo Dressagem incorreta Fixação errada entre os centros ou Vibração na unidade motriz Vibração na máquina	Amolecer rebolo e reduzir velocidade periférica do rebolo Diminuir velocidade Diminuir remoção material Melhorar qualidade refrigerante Balancear o rebolo Examinar condições de trabalho do diamante ou do rolo dressador Verificar cabeçote fixo Verificar rolamentos Verificar fundação e fixação da máquina
Amolecimento da superfície, marcas de queimaduras	Sobreaquecimento local, devido ao rebolo muito duro Dressagem incorreta Líquido refrigerante contaminado Temperatura alta do líquido refrigerante, baixa vazão.	Amolecer o rebolo Reduzir velocidade periférica Limpeza do filtro, trocar filtro Verificar unidade central de refrigeração de líquido
Marcas de retificação	Líquido refrigerante contaminado	Verificar unidade central de refrigeração de líquido
Insuficiente perfilagem do rebolo	Rebolo muito mole	Endurecer o rebolo, aumentar velocidade do rebolo
Acabamento defeituoso	Rebolo grão muito grosso Rebolo muito mole Dressagem incorreta	Usar rebolo grana mais fina Usar rebolo mais duro Dressar corretamente

III.2.1.4. Retificação de cames

Os cames são órgãos delimitados por superfícies policilíndricas concordantes, tendo as geratrizes excêntricas em relação a um eixo principal chamado "eixo de cames".

Estes cames produzem os movimentos alternados dos tuchos que, por sua vez, regulam a abertura ou fechamento das válvulas de admissão ou descarga dos gases, nos motores de explosão e combustão, por exemplo.

Os rendimentos dos motores dependerão da precisão da fabricação dos cames, motivo pelo qual são usadas máquinas especiais, chamadas retificadoras de Cames.

A retificação de cames é uma forma especial da retificação cilíndrica (veja Figura 198).

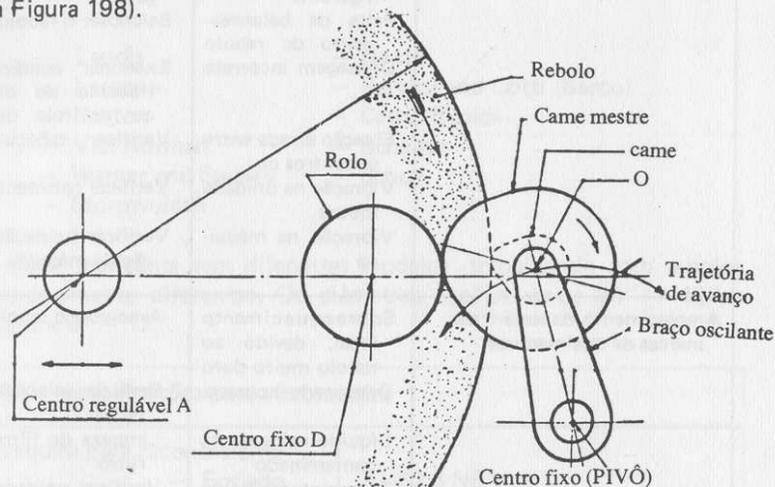


Figura 198: Esquema da retificação de Cames

A máquina para retificar cames possui, além do rebolo, uma armação para suportar o eixo, um came mestre que desloca o came principal, aproximando-o do rebolo à medida que este elemento gira, gerando a superfície do came.

O eixo de cames é montado horizontalmente sobre duas contrapontas da máquina; num dos lados do mesmo é conectado um came mestre, que produzirá o perfil do came e que gira em torno do mesmo eixo (O) do eixo de cames, mantendo-se ligados entre si na mesma fase.

Tanto o came mestre como o eixo de cames oscilam mediante um braço (OC), em torno de um ponto C, chamado pivô, que provoca a elevação da linha central horizontal dos cames, acima da linha central do rebolo.

O came mestre apóia-se com uma certa pressão num rolo com centro D, que mantém uma posição fixa em relação ao centro fixo C.

O rebolo, para retificar o came, aproxima-se horizontalmente para o centro do rolo, uma distância já definida em função do material a ser removido.

O came mestre é feito numa escala ampliada em relação ao came a ser retificado (Figura 199).



Figura 199: Came mestre (Landis Tool Co.)

Qualquer modificação no diâmetro do rebolo altera o formato do came que está sendo retificado, por isso são preparados diversos cames mestres, para cada came a ser fabricado, utilizando-os à medida que o rebolo vai se desgastando.

Dependerá da limitação do desgaste do rebolo a utilização de um ou vários cames. Por este motivo os rebolos utilizados para retificar cames têm furos grandes, a fim de que o desperdício do rebolo seja mínimo.

Nas máquinas modernas o rebolo é provido de um movimento axial oscilatório, além do próprio movimento de rotação, eliminando possíveis deficiências no contorno do rebolo e melhorando o acabamento superficial do came.

Na indústria automobilística, onde são necessárias altas produções, utilizam-se máquinas automáticas, às quais, uma vez ajustadas para um determinado tipo de eixo comando, retificam os cames automaticamente. O operador após colocar o eixo em posição, liga o automático. O cabeçote porta-rebolo movimentar-se até a posição de retificação do primeiro came, iniciando-se a rotação da peça. A peça a ser trabalhada aproxima-se do rebolo até o came mestre encostar o rolo; o rebolo movimentar-se rapidamente até tocar o came, começando a operação de desbaste ou acabamento do mesmo, com um determinado avanço. Após o came atingir a dimensão adequada, o rebolo retrocede e o came mestre perde o contato com o rolo. A mesa transporta o próximo came até a posição adequada, o came mestre a contatar com o rolo será o correspondente ao segundo came, repetindo-se a operação em todos os cames do eixo comando. Quando todos eles forem retificados, a mesa volta à posição de partida.

Especificações dos rebolos

Como vimos, a retificação de cames é uma combinação de retificação cilíndrica e superficial, em virtude do elemento trabalhado; além de girar, desloca-se acima e abaixo da linha central do rebolo. Este fator, a desuniformidade da superfície de contato entre peça e rebolo e a variação de velocidade periférica nos diferentes pontos de contato, impõe propriedades especiais aos rebolos utilizados neste tipo de retificação.

Os materiais usados na construção de cames são:

Material	Dureza	Resistência/ ruptura
Aço tratado termicamente CK 10 CK 45	> 200 HB > 200 HB	600–800 N/mm ² 600–800 N/mm ²
Aço cementado 15 Cr 13	200 HB	700–900 N/mm ²
Ferro fundido coquilhado GG 60 GG 70		400–600 N/mm ²

Atualmente, a maior parte dos eixos de comando utilizados na indústria automobilística são fabricados com ferro fundido, combinado com outros metais que lhe proporcionam modificações especiais. Estes eixos fundidos são retificados a partir da peça fundida bruta. Primeiro efetua-se uma operação de desbaste, retirando 0,3 + 0,6 mm de material com um acabamento superficial de 40 + 50 μ" e depois retifica-se novamente para conseguir acabamentos dentro dos limites de 8 – 16 μ".

Tipos de Máquinas usadas na retificação de cames

As máquinas mais freqüentes ou mais utilizadas na indústria automobilística são:

- Landis
- Norton
- Warner and Swasey
- Toyoda
- Gendron
- etc...

A maior parte destas máquinas trabalham com rebolos de 24" de diâmetro externo e furos de 12" – 18".

TABELA DE ESPECIFICAÇÕES PARA EIXOS COMANDO				
Materiais	Cames (Ressaltos)		Mancais	
	Desbaste	Acabamento	Desbaste	Acabamento
Automóveis: Forjados Fundidos Caminhões Forjados Fundidos	DA46.2.L6.V A60.06.V	DR80-3J6.V A80.3.M6V.	DA46.2.M6V A 60.06 V	DA80-2.KGV A80-2.N6V
	DA60.KGV A60 N6V	DA80.2J6V A80.2.M6V	DA60-L6V A60 06V	DA80L6V A80 L6V

Materiais	Cames (Ressaltos)		Mancais	
	Desbaste	Acabamento	Desbaste	Acabamento
Implementos Agrícolas	DA54K6V A46 06V	DA80.K6V A80 M6V	DA60L6V A46.3.06V	DA60.3.K6V A46.3.06V

IMPERFEIÇÕES OU DEFEITOS NA RETIFICAÇÃO DE CAMES CAUSAS E MEDIDAS CORRETIVAS SUGERIDAS

Imperfeições e suas causas na retificação de Cames 4

Imperfeições	Causas	Medidas Corretivas
– Marcas na ponta do came e contorno irregular	Interferência no braço oscilante Rolamentos gastos Lubrificação insuficiente Insuficiente contato entre came mestre e rolo	Limpeza das partes móveis e armação suporte do eixo Troca de rolamentos Corrigir lubrificação Corrigir pressão entre came mestre e rolo
Baixo rendimento e qualidade pobre de acabamento	Rebolo muito grosso Rebolo muito duro Dressagem defeituosa Refrigerante sujo	Melhorar granulometria do rebolo Melhorar dressagem limpeza do refrigerante

III.2.1.5 Retificação de roscas

A retificação de roscas em peças presas entre placas ou entre pontas se faz mediante rebolos perfilados. Este método possibilita a geração de roscas em peças temperadas e com altas durezas, numa operação impossível de se realizar com outras ferramentas de corte, e conseguindo-se elevada qualidade de acabamento superficial, com grande precisão e produtividade, como por exemplo nos casos de machos de roscas, calibres machos e fêmeas, parafusos de medição e rolos, fresas, entre outros.

As máquinas utilizadas tais como Reishauer, Landis, Jones and Lamson, Excello, Daizen, Trucker, exclusivamente projetadas para retificação de roscas, estão equipadas com dispositivos especiais: perfiladores com controle de avanço e compensador de retificação do rebolo, contador de peças e flanges especiais de montagens dos rebolos.

Todos esses dispositivos, além de um sistema de refrigeração exclusivo, permitem a retificação de qualquer tipo de rosca (métrico, whitworth) com passos de até 0,2 mm.

Os rebolos utilizados são de perfil simples (Figura 200) ou de perfil múltiplo (Figura 201), fabricados em liga vitrificada ou resinóide, sendo que o formato do perfil do rebolo deve corresponder ao formato da rosca a retificar.

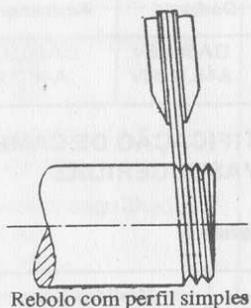


Fig. 200

Os rebolos de perfil simples podem ser vitrificados ou resinóides. Os de liga vitrificada apresentam menores deformações diante de pressões laterais, recomendando-se para retificar roscas pré-cortadas, que apresentam algum erro que deve ser corrigido. Os rebolos resinóides não são aconselháveis nestes casos porque tenderão a acompanhar o erro em lugar de corrigi-lo.

Os rebolos de liga resinóide serão utilizados para serviços pesados, de produtividade alta, trabalhando com altas velocidades e em casos em que a precisão não é primordial. Usamos rebolos vitrificados quando a precisão exigida for maior.

Os rebolos de perfil múltiplo geralmente são de liga vitrificada, e possuem perfil com o mesmo passo da peça a ser retificada.

Retificação do rebolo: Retificação com diamante e retificação com rolos. (Ver também Cap. III – Tema Dressagem – Formação de perfil).

Os rebolos de perfil múltiplo são perfilados por compressão, mediante rolos que neles imprimem os próprios perfis.

A retificação por compressão com rolos fratura os grãos, despendendo-os do aglutinante vitrificado. Os grãos restantes ficam com as arestas de corte afiadas, havendo um amplo espaço entre os mesmos, facilitando a ação do líquido refrigerante e possibilitando a saída dos cavacos.

Este processo permite a retificação de formatos com ângulo do flanco pequeno e tem a vantagem de retificar a face inteira do rebolo numa única operação.

Os rebolos de perfil simples são perfilados com diamante de ponta única. O perfilamento com diamante proporciona melhor controle dimensional sobre os perfis repetidos, adaptando-se melhor ao ciclo automático da máquina do que o perfilamento por compressão com rolo.

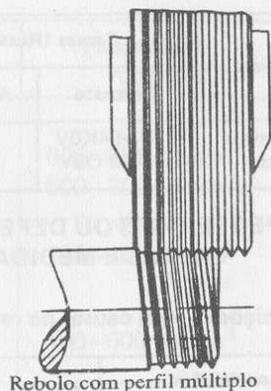


Fig. 201

No perfilamento com diamante ocorre o alisamento dos grãos do rebolo, reduzindo o tamanho dos grãos e possibilitando a retificação de roscas finas, até 40 ou mais passos (fios) por polegada.

Ao reduzir o tamanho das partículas abrasivas, diminui a capacidade de remoção de material. Para compensá-la, elevamos a velocidade do rebolo.

Velocidade do rebolo e da peça: a velocidade do rebolo na retificação de roscas varia entre 30/60 e até 80 m/s. Para aços rápidos utiliza-se baixas velocidades. Um aumento na velocidade do rebolo eleva a capacidade de remoção de material e reduz relativamente a geração de calor, devido à diminuição do tempo de contato abrasivo-peça.

A velocidade da peça dependerá do diâmetro da mesma. Recomenda-se para peças de grande diâmetro velocidade de 1 m/min. e para peças pequenas, velocidades de 0,2 m/min.

Quando retificamos peças com rebolo de perfil único devemos considerar, conjuntamente com a velocidade da peça, o avanço da operação. Para aços rápidos utiliza-se avanços lentos e velocidades altas da peça e para aços liga utiliza-se avanços rápidos e velocidade baixa da peça trabalhada.

A seleção da relação velocidade-avanço é de importância fundamental neste tipo de retificação.

Tabela orientativa de características de rebolos para roscas

Para estabelecer uma tabela de especificações, consideramos os seguintes fatores:

- tipo de material
- tipo de rosca
- passo
- tipo de peça (com ou sem ranhuras)

TABELA 16 – Tabela de Especificações

A – Ferramentas de aço rápido VM-2 – VK-5 – VK-10 – Dureza 63 ÷ 65 HRc.

Passo da rosca		Especificação	Observação
Métrica	Whitworth		
0,4 – 0,5	50–60	GC 600 J8 V	Rebolos porosos de perfil múltiplo para retificação de rolos
0,6 – 0,8	36–48	GC 500 J8 V	
0,9 – 1,25	20–32	GC 400 J8 V	
1,5 – 1,75	14–19	GC 320 J8 V	
2,0 – 2,5	10–13	GC 240 J8 V	
2,75 – 6,0	4–9		

TABELA 16 - (Continuação)

Passo da rosca		Especificações		Obs.
Métrica	Whitworth	Perfil múltiplo	Perfil único	
Até 1 mm	25	AA 400 T.B	Rebols para retificação de machos.
1,0 - 1,25	20-25	AA 320 K6 V.	AB 220 T.B	
1,50 - 1,75	14-19	AA 280 K6 V.	A 220 T.B.	
2,0	11-13	AA 220 K6 V	A 220 T.B.	
2,5	10	AA 180 K6 V.	A 220 T.B.	
3,0	8-9	AA 150 K6 V.	A 320 T.B.	
3,5 - 6,0	7-4	AA 120 K6 V.	A 220 T.B.	

B - Ferramentas de aço ferramentas VD2 - Dureza 61 ÷ 63Rc.

Passo da rosca		Especificações	
Métrica	Whitworth		
0,4 - 0,5	50-60	GC 500 K6 V.	AA 500 K6 V
0,6 - 0,8	36-48	GC 400 K6 V.	AA 400 K6 V
0,9 - 1,25	20-32	GC 320 K6 V.	AA 320 K6 V
1,5 - 1,75	14-19	GC 280 K6 V.	AA 280 K6 V
2,0 - 2,5	10-13	GC 220 K6 V	AA 220 K6 V
2,75 - 6,0	4-9	GC 180 K6 V.	AA 180 K6 V
Observação		Rebols para retificação de rolos, setores, fresas, peças etc. de perfil múltiplo.	

III.2.2. Retificação de engrenagens

A retificação de uma engrenagem é efetuada essencialmente para melhorar o seu acabamento superficial, corrigir erros de formato, espaçamento superficial dos dentes, minimizar as tensões entre eles, eliminar os barulhos de transmissão e aumentar, definitivamente, a sua capacidade de trabalho.

Essa operação pode ser efetuada de três formas diferentes, dependendo do tipo de máquina:

1. Retificação com reboło único perfilado
2. Retificação por geração
 - a) mediante dois rebolos pratos (sistema Maag)
 - b) mediante um reboło chanfrado
3. Retificação com rebolos perfilados helicoidalmente (tipo parafuso sem fim)

Cada método de retificação produz o seu padrão característico, sendo o terceiro aquele que atinge maior produtividade.

1. **Retificação com reboło único perfilado:** o reboło retifica, simultaneamente, o lado esquerdo de um dente e o direito do outro, na profundidade da raiz. Previamente, mediante diamantes controlados por guias modeladas, o reboło é perfilado segundo a forma negativa dos dentes da engrenagem.

Este método é aplicado somente nas engrenagens retas (Figura 202).

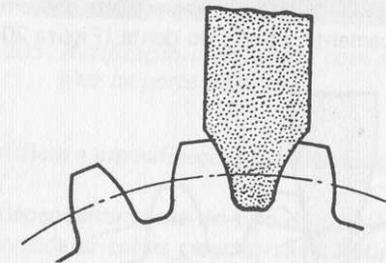


Figura 202: Retificação com reboło perfilado

2. **Retificação por geração**

- a) *Mediante rebolos pratos* (sistema Maag)

Os dois rebolos pratos são posicionados de forma que retificam simultaneamente dois flancos de dois dentes diferentes e atuam como uma cremalheira fictícia, fixa, sobre a qual movimenta-se a engrenagem a retificar.

Neste processo a superfície de retificação dos dois rebolos é plana e à medida em que os dentes se deslocam geram os perfis.

Qualquer desgaste dos rebolos é corrigido mediante dispositivos eletromagnéticos, mantendo constante o espaçamento entre os rebolos (Figura 203).

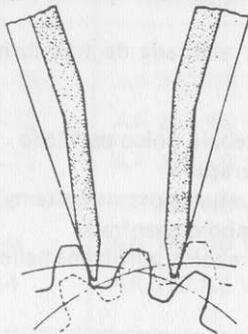


Figura 203: Retificação com rebolos pratos

b) Mediante rebolo chanfrado

Neste processo o rebolo é chanfrado em ambos os lados, retificando as duas faces de dois dentes adjacentes. A retificação é feita com as superfícies chanfradas do rebolo ao invés de uma superfície plana do caso anterior.

O cabeçote do rebolo movimenta-se ao longo do dente, mantendo um curso constante da linha geradora reta e a engrenagem gira em relação ao rebolo, formando automaticamente o perfil do dente (Figura 204).

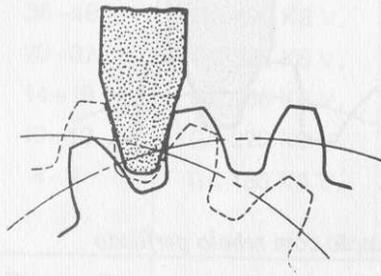


Figura 204. Retificação com rebolos chanfrados

3. Retificação com rebolos perfilados helicoidalmente (tipo parafusos sem fim): neste processo, o rebolo é perfilado helicoidalmente como um parafuso sem fim. O rebolo gira com uma rotação que é função da rotação da engrenagem a ser trabalhada e com avanço radial semelhante ao movimento das engrenagens.

Este processo de retificação é incomparavelmente mais produtivo que os anteriormente descritos (Figura 205).

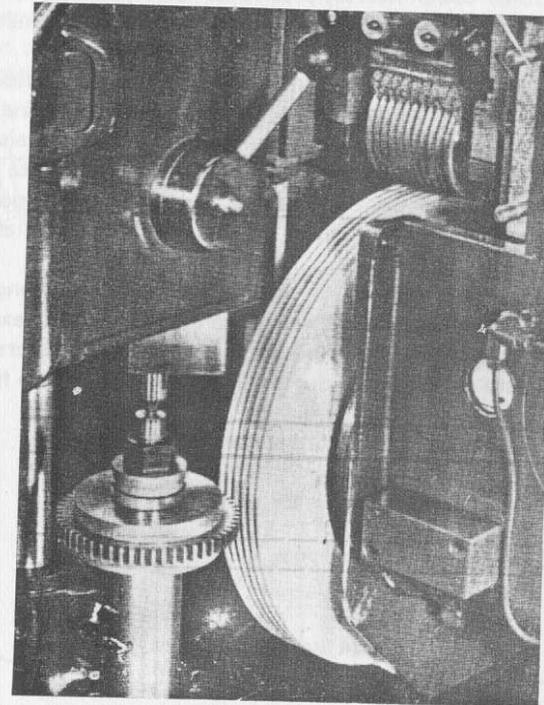


Figura 205. Retificação com rebolo com perfil helicoidal (observe crusher na parte superior).

Características e especificações dos rebolos para engrenagens

Independentemente do tipo de máquina e do processo utilizado, podemos considerar certas características básicas comuns para todos os rebolos utilizados.

A retificação de engrenagens como indicado no início do tema permite corrigir o formato, o espaçamento dos dentes e melhorar o acabamento superficial dos mesmos. Para atender estes requisitos, deverão ser usados rebolos rígidos, de preferência vitrificados. Um rebolo resinóide tenderia à acompanhar a deformação dos dentes da engrenagem e não a corrigi-lo.

A escolha de dureza e estrutura, é crítica nestas operações, visando o manutenção do perfil e o corte frio.

O abrasivo utilizado é o óxido de alumínio branco e a granulometria deverá variar em função do módulo, seguindo o critério: grãos finos para módulos pequenos e grãos mais grossos, para módulos maiores.

Para rebolos perfilados e por geração, a granulometria oscila de 46 a 80 e para rebolos tipo parafuso sem fim a granulometria é mais fina, oscilando entre 80 a 220. Neste caso os rebolos são perfilados por compressão, mediante rolos compressores, precisando de especificações especiais para suportar estes perfis. Devido a isto utilizam-se granulometrias mais finas do que nos casos anteriores.

A seleção dos fluídos refrigerantes é de grande importância na retificação de engrenagens, sendo o mais utilizado o óleo integral, por seu alto poder de lubrificação, bem maior que o dos fluídos solúveis em água.

Não é aconselhável deixar muito material para retirar nesta operação. Dependendo do diâmetro das engrenagens podem ser removidos de 0,15 a 0,20 mm de cada lado dos dentes, necessitando fazer várias passadas por dente retificado.

Dimensionalmente os rebolos usados na retificação de engrenagens, devem guardar uma relação característica entre o diâmetro externo e a espessura. Um excesso de espessura aumentará o custo operacional de perfilamento (custo de diamante por peça) e um reboło muito fino perderá rigidez.

Para um dimensionamento correto, usamos a relação:

$$\text{diâmetro} = k \cdot \text{espessura}$$

devendo considerar valores de $k \leq 25$.

Tabela de especificações

Máquina	Módulo < 2,0	Módulo 20 - 3,5	Módulo > 3,5	Tipo de reboło.
Maag	AA 60.2J8.V	AA 60.18.V	AA 46.2.H8.V	
Niles	AA 60.2.H8.V	AA 60.68.V	AA 46.2.68V	
Reishauer	AA 220 6/H8.V AA 180 6/H8.V	AA 150 6/H8.V AA 120.26/h8.V	AA 100 6/H8.V AA 80.2 6/H8.V	

III.2.3. Retificação cilíndrica externa sem centros centerless

Um tipo especial de retificação cilíndrica externa constitui o retificado sem centros (por oposição à retífica cilíndrica entre centros), chamado assim pelo fato de que a peça a retificar permanece livre, sem emprego de fixação.

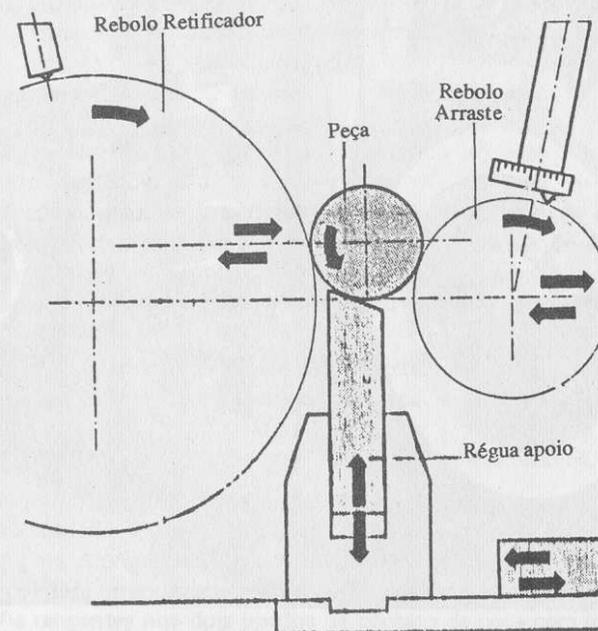
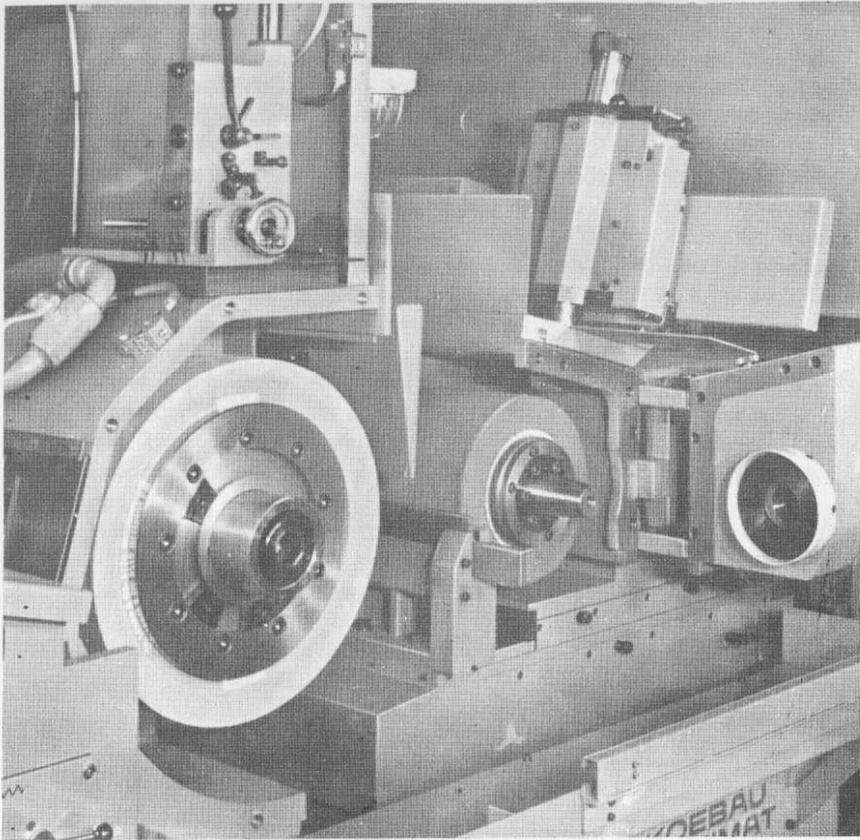


Figura 206: Elementos de uma retífica Centerless.

Os elementos essenciais de uma retificadora sem centros são:

- reboło retificador ou operativo, que realiza o trabalho de retificação
- reboło de arraste, chamado também reboło regulador, por ser quem regula a velocidade periférica da peça a ser retificada, transmitindo à mesma sua própria velocidade periférica;
- régua de apoio da peça, de dimensão e formato adequado, suportando e situando a peça e permitindo a rotação da mesma. A régua de apoio tem uma função importantíssima na retificação sem centros, tanto pela posição em relação aos rebolos de arraste e retificador, como pelo formato e pelo material de fabricação da mesma.



Máquina Centerless KOENIG - BAUER Multimatt, aberta, mostrando os rebolos, régua de apoio, dispositivos drenadores e bocal para líquido refrigerante (Cortesia de Nagel do Brasil - Salto - SP).

CARACTERÍSTICAS DA RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA EXTERNA SEM CENTROS

A posição da peça entre os rebolos e a régua de apoio é de vital importância para realizar uma boa usinagem da peça.

Existem três posições diferentes de peça com relação à linha que une os centros dos dois rebolos.

Centro da peça em linha com os centros dos rebolos

Observa-se na Figura 207 que as tangentes nos três pontos de contato da peça com os rebolos e a régua formam três lados de um quadrado. (ver figura 207 a).

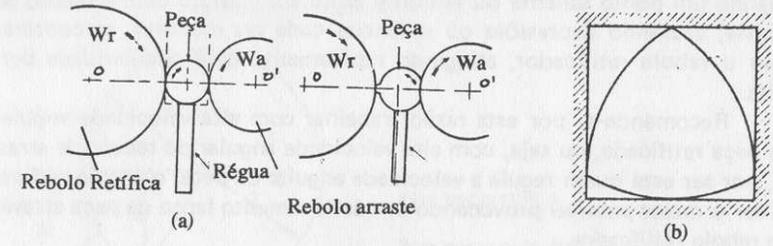


Figura 207. Centros de operação em linha.

A mínima saliência da peça, como no caso da peça indicada pela linha pontilhada, ao entrar em contato com os rebolos regulador e retificador, produzirá uma depressão diametralmente oposta, gerando-se uma peça de diâmetro uniforme porém não cilíndrica, representada na Figura 207 por três arcos.

Esta deformação cria um excessivo aumento de pressão entre os rebolos e compromete a circularidade da peça.

Centro da peça acima da linha que une os centros dos rebolos.

Observa-se na Figura 208 que os pontos de contato da peça com os dois rebolos, não são diametralmente opostos. Qualquer saliência da peça causará uma depressão não diametralmente oposta como no caso anterior, permitindo um arredondamento contínuo na peça.

As tangentes nos dois pontos de contato da peça com os rebolos, representadas pelas retas aa' e bb' , formam um ângulo γ , tanto maior quanto maior seja a altura da peça em respeito à linha que une os centros dos rebolos.

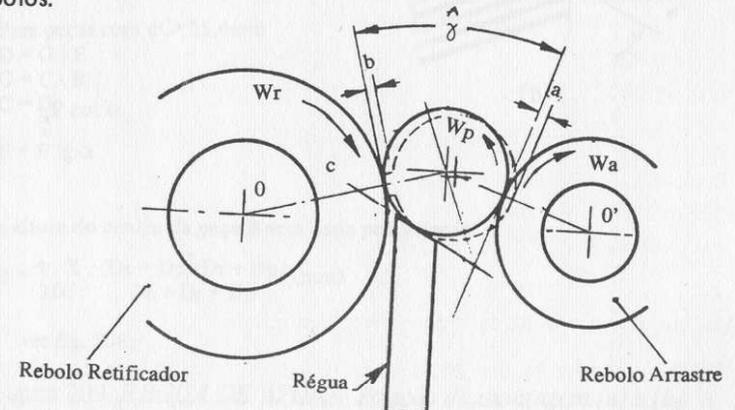


Figura 208. Centro da peça em posição superior

Para manter a circularidade utiliza-se uma régua de apoio com superfície superior inclinada cc' , permitindo que o centro da peça suba ou baixe quando um ponto saliente ou entrante entra em contato com o rebolo de arraste, causando depressões ou saliências cada vez menores, ao contatar com o rebolo retificador, atingindo rapidamente uma circularidade perfeita.

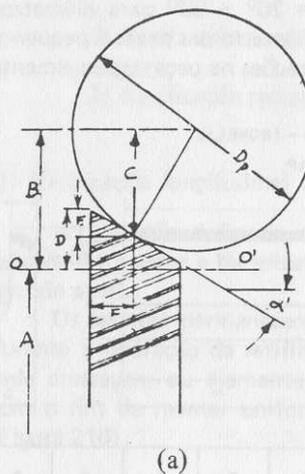
Recomenda-se por esta razão trabalhar com alta velocidade angular na peça retificada, ou seja, com alta velocidade angular do rebolo de arraste, por ser este quem regula a velocidade angular da peça; o ângulo γ deverá ser o maior possível provocando um deslocamento lento da peça através do rebolo retificador.

Por experiência se sabe que quanto maior seja o ângulo γ , é quanto mais alta seja colocada a peça melhor será a circularidade obtida. Esta altura poderá ser maior quando se utilizam rebolos macios, pelo fato de a peça receber menores pressões de contato do que com rebolos duros, diminuindo a tendência da peça de perder o contato com a régua de apoio.

Centro da peça mais baixo que a linha que une os centros dos rebolos

Observa-se, como no caso anterior, que os pontos de contato da peça com os dois rebolos não são diametralmente opostos, porém devido à nova posição da régua de apoio a peça não tem possibilidade de perder o contato com ela. Utiliza-se este sistema para o caso de trabalhar peças compridas, com tendência a apresentar deformações lineares, eliminando as trepidações provocadas pelas deficiências da peça, ficando esta pressionada sobre a régua de apoio pelos dois rebolos e melhorando a aderência sobre ambos. Recomenda-se neste caso trabalhar com uma velocidade de passagem alta.

RÉGUA DE APOIO
Posição de montagem (a) e (b) Dimensões de régua usuais (c)
(cortesia da INABRA LTDA)



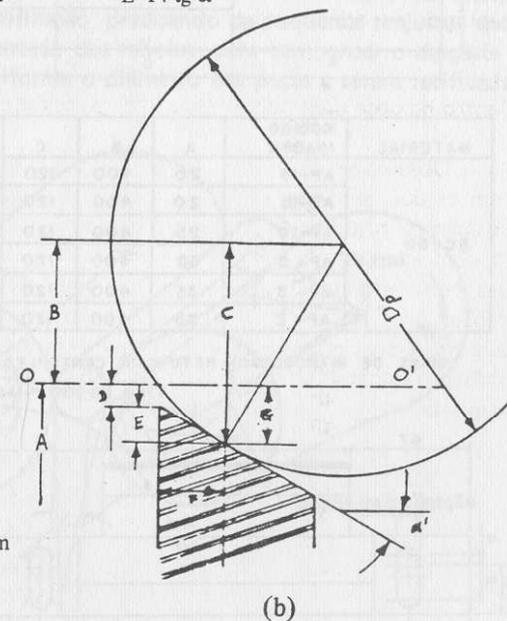
Para peças com $\phi =$

Para peças com $\phi \leq 25,4\text{mm}$

$$D = B - C + E$$

$$C = \frac{Dp}{2} \cos \alpha$$

$$E = F \cdot \text{tg } \alpha$$



Para peças com $\phi > 25,4\text{mm}$

$$D = G - E$$

$$G = C - B$$

$$C = \frac{Dp}{2} \cos \alpha$$

$$E = F \text{ tg } \alpha$$

a altura do centro da peça B vem dada pela relação

$$B = \frac{\pi \cdot X \cdot (Da + Dp)(Dr + Dp)}{360 \cdot (Da + Dr + Dp)} \text{ (mm)}$$

(ver fig. 208)

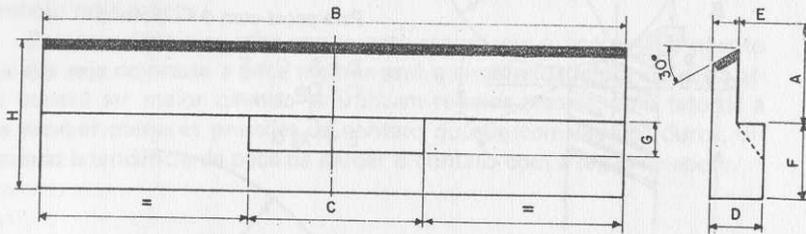
Figura 209. RÉGUA DE APOIO - Posição de montagem (a) e (b).

Formato da régua de apoio e posição de montagem

O plano de apoio da régua deve ser inclinado do lado do rebolo de arraste. O ângulo da régua dependerá do diâmetro das peças a serem retificadas. Recomenda-se usar um ângulo $\alpha' = 20^\circ + 30^\circ$ para diâmetros grandes das peças e $\alpha' = 5^\circ \div 10^\circ$ quando o diâmetro das peças é pequeno.

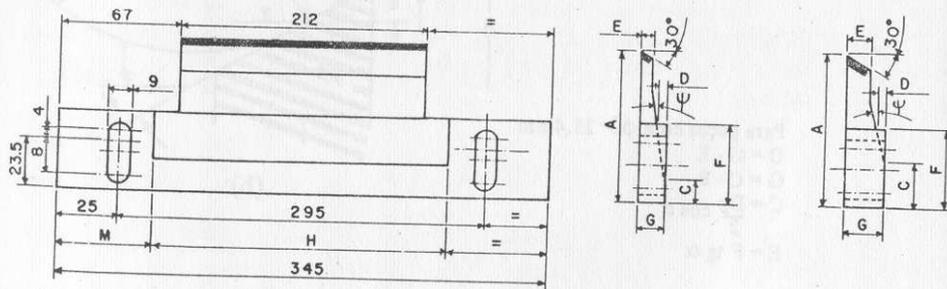
Um ângulo excessivo poderá causar vibrações na peça, especialmente em rebolos de grande espessura (Figura 209).

GUIAS DE PASSAGEM - RETIFICAS CENTERLESS - (BONELI)
TIPO BC-50 AP



MATERIAL	CÓDIGO INABRA	A	B	C	D	E	F	G	H
BC-50	AP-19	20	400	120	15	19	30	15	50
	AP-15	20	400	120	15	15	-	15	50
	AP-10	25	400	120	15	10	30	15	55
	AP-5	30	400	120	15	5	30	15	60
	AP-3	35	400	120	15	3	30	15	65
	AP-2	35	400	120	15	2	30	15	65

GUIAS DE INTRODUÇÃO - RETIFICAS CENTERLESS - BOVI E IMPLMAC
TIPO RC 100 - MSP



CÓDIGO INABRA	A	C	D	E	F	G	H	M	ψ
RS1 2	95	20	4.8	2	38	12	225	60	15°
RS1 5	90	20	4.8	5	38	12	225	60	15°
RS1 10	78	26	3	10	38	15	225	60	15°
RS1 12	56	26	3	12	38	15	225	60	15°

CORTESIA DA INABRA LTDA.

Processos de retificação Centerless

Consideramos na retificação Centerless dois processos diferentes:

- 1) Retificação longitudinal ou de avanço contínuo ou de passagem, e
- 2) Retificação radial

1) Retificação longitudinal ou de avanço contínuo ou de passa-

A operação define-se assim quando as peças avançam entre os dois rebolos retificador e de arraste, entrando por um lado e deslocando-se em sentido axial.

Os rebolos permanecem sem movimento de penetração ou avanço durante a operação de retificação, precisando de pequenos reajustes após cada dressagem ou diamantado dos rebolos, para compensar o desgaste e com o fim de manter uniforme o diâmetro das peças a serem retificadas (Figura 210).

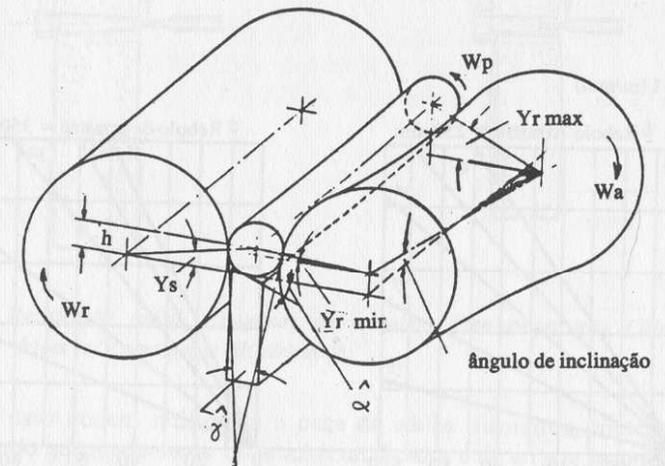


Figura 210: Retificação de passagem. Esquema de trabalho

A alimentação de peças grandes pode ser feita manualmente e quando as peças são pequenas utilizam-se recipientes com vibradores, que alimentam a máquina mediante calhas especiais.

O rebolo retificador, que geralmente trabalha com velocidade de 30/45 m/seg., quando está retificando a peça, exerce alta pressão sobre a peça retificada, empurrando-a contra a régua de apoio e contra o rebolo de arraste. Origina-se um atrito entre a peça e o rebolo de arraste, que vai obrigá-la a girar com a mesma velocidade dele.

A velocidade do rebolo de arraste é muito menor que a velocidade do rebolo retificador, oscilando entre valores de 20 a 30 m/minuto.

A peça gira e se desloca longitudinalmente, apoiando-se sobre a régua com velocidade longitudinal V_e . Este movimento longitudinal da peça é originado e regulado pela inclinação do rebolo de arraste, o qual gera um impulso axial transmitido à peça e movimentando a mesma no sentido de seu próprio eixo.

V_e (m/min.) = V_a (m/min.) $\times \text{sen} \alpha = \pi D_a$ (m) W_a (rpm) $\cdot \text{sen} \alpha$ sendo V_a = veloc. periférica do rebolo de arraste.

D_a = Diâmetro do rebolo de arraste

W_a = Rotação do rebolo de arraste

α = Ângulo de inclinação do rebolo de arraste

Observa-se que é suficiente aumentar o ângulo de inclinação α , ou a velocidade do rebolo de arraste V_a , para aumentar proporcionalmente a velocidade longitudinal da peça e portanto a produção de peças retificadas. Na Figura 211 representamos a influência do ângulo de inclinação do rebolo de arraste na velocidade longitudinal para dois rebolos de arraste de diâmetros 250 mm e 350 mm.

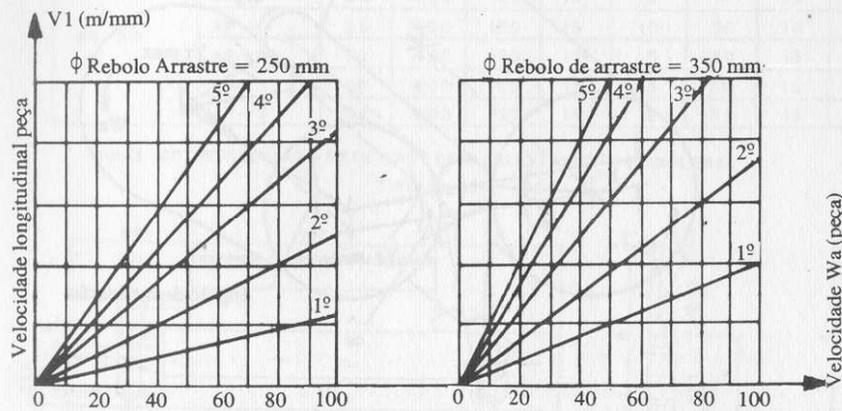


Figura 211. Gráficos de velocidade de avanço da peça em função da inclinação do rebolo de arraste.

O ângulo de inclinação do rebolo de arraste α oscila normalmente entre 2° e 5° , sendo maior nas operações de desbastes do que nas de acabamento. Recomenda-se um ângulo $\alpha = 4^\circ$ para desbaste, $\alpha = 2^\circ 30'$ para acabamento e velocidade longitudinal de $1 \div 3$ m/min.

O ângulo γ formado pelas tangentes nos dois pontos de contato dos rebolos com a peça oscila entre 9° e 12° para operações de desbaste, e entre 6° e 9° para operações de acabamento.

2) Retificação Radial

Neste caso a peça é situada na régua de apoio, quando o rebolo de arraste se encontra distanciado do rebolo retificador. Acionando a alavanca de avanço radial, a peça e o rebolo de arraste se aproximam rapidamente do rebolo retificador, sendo que no fim do percurso o avanço é lento até se conseguir a retificação desejada. Acionando a alavanca no sentido oposto aumenta o espaço entre os rebolos, sendo retirada a peça retificada manualmente ou automaticamente, voltando a repetir-se o ciclo com as peças seguintes.

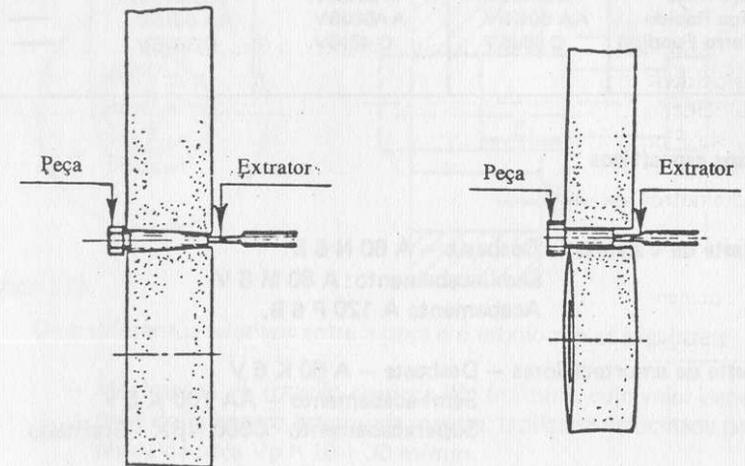


Figura 212: Retificação radial. Esquemas de trabalho. Para peças não Cilíndricas (a) e para peças cilíndricas (b)

Neste caso podem retificar-se a peça de vários diâmetros, cônicos, etc., perfilando adequadamente os rebolos retificador e de arraste segundo o perfil desejado na peça retificada (Figura 212).

A régua de apoio deverá ter também um perfil de acordo com a peça a ser retificada, não permitindo o deslocamento axial da peça.

O rebolo de arraste deverá ter uma pequena inclinação com o fim de pressionar a peça contra o encosto da régua de apoio.

Recomenda-se um avanço radial para desbaste de 1 a 3 mm/min. e de 0,3 a 0,6 mm/min. para acabamento.

O ângulo γ formado pelas tangentes nos dois pontos de contato do rebolo com a peça oscila entre 9° e 12° para operações de desbastes e entre 6° e 9° para operações de acabamento.

O ângulo de inclinação α do rebolo de arraste oscila entre $20'$ e $40'$.

Especificações dos rebolos

Material	ϕ até 13mm	ϕ 13 ÷ 40mm	ϕ 40 ÷ 76mm	ϕ > 76mm
Alumínio mole	C 46L6V.	C 46K6V.	C 46I6V.	C 46I6V.
Alumínio duro	A 60J6V.	A 60I6V.	A 60H6V.	A 60H6V.
Bronze mole	C 46L6V.	C 46K6V.	C 46J6V.	C 36J6V.
Bronze duro	A 60J6V.	A 60I6 V.	A 60H6V.	A 60H6V.
Aço Inoxidável				
Corte Livre	A60L6V	A 60.K6V.	A 60I6V.	—
Corte não livre	C 60M6V.	C 60L6V.	C 60J6V.	—
Aço mole	A 60M6V.	A 60L6V.	A 60K6V.	—
Aço Rápido	AA 60K6V	AA60J6V.	AA 60I6V.	—
Ferro Fundido	C 46J6V	C 46I6V.	C 36J6V.	—

Usos específicos

Haste de Válvulas — Desbaste — A 60 N 6 B
Semi-acabamento: A 80 M 6 V
Acabamento A 120 P 6 B.

Haste de amortecedores — Desbaste — A 60 K 6 V
Semi-acabamento — AA 100 K 6 V
Superacabamento C600 NBX - Grafitado

Pinos de pistão — Desbaste —
Semi-acabamento — A 100 L 9 B
Superacabamento — AA 800 NBX — Grafitado

Roletes para Rolamentos — Acabamento — C 120 P 6 B
Semi-acabamento — GC 1
Superacabamento. — A 600 06 B

Rebolos de arraste — A80 R R — para trabalhos normais de desbaste de acabamento
— A 120 R R — para trabalhos de superacabamento

III.2.4. Retificação cilíndrica interna

A retificação de furos de forma cilíndrica, mediante um reboło fixado na extremidade da árvore porta-reboło, é chamada retífica cilíndrica interna.

Empregam-se os seguintes procedimentos operativos.

1. Retificação Cilíndrica Interna Longitudinal

O reboło movimenta-se longitudinalmente pelo furo da peça com um avanço em profundidade contínuo ou descontínuo sobre a peça (Figura 213).

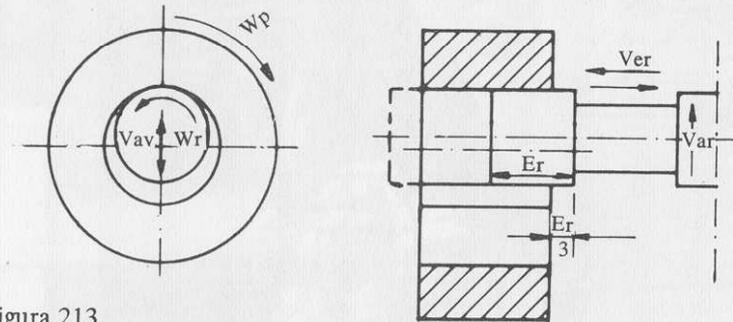


Figura 213.

Os movimentos relativos entre a peça e o reboło são os seguintes:

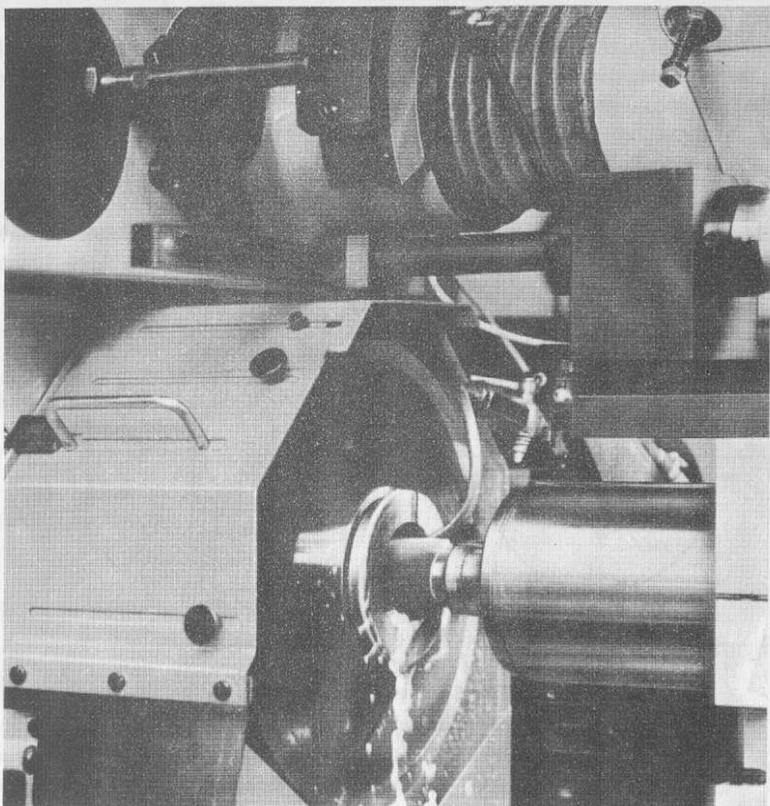
- Movimento de rotação da peça W_p (m/min), cujo valor dependerá do diâmetro interno da mesma. Utiliza-se velocidade periférica da peça $V_p = 10 \div 30$ m/min.
- Movimento de rotação do reboło W_r indicado também pela velocidade periférica V_r (m/seg), cujo valor oscila de 25 — 33 m/seg.
- Movimento longitudinal do reboło indicado por V_{er} . Este movimento será realizado pelo reboło quando se trabalha com máquinas grandes e peças de largura igual ou maior a 300 mm de diâmetro.

Para máquinas pequenas o movimento longitudinal será realizado pela mesa porta-peças.

Os limites de inversão do reboło terão lugar quando o reboło sobresai $1/3$ da espessura do mesmo.

Utiliza-se velocidades longitudinais expressadas em frações de espessuras do reboło por rotação do mesmo e oscilam entre valores $1/2$ e $3/2$ para operações de desbaste e de $1/5$ e $1/3$ para operações de acabamento.

- Movimentos de avanço em profundidade expressados por V_{av} , cujo valor oscila entre 3 e 6 (mm/por passagem).



Operação de retífica interna (Niles). Observe a alimentação de refrigerante.

2. Retificação Cilíndrica Interna Radial ou de Entalhe

O rebolo movimenta-se somente no sentido perpendicular ao eixo da peça, não existindo o movimento longitudinal do caso anterior (Figura 214).

O movimento de avanço contínuo em profundidade no desbaste V_{av} tem valores entre 300 e 700 Mm/min e no acabamento entre 100 e 300 Mm/min. Os movimentos de rotação da peça e rebolo mantêm valores do sistema anterior.

3. Retificação Cilíndrica Interna Planetária

Este sistema é utilizado na retificação de furos de grandes peças, cuja rotação resulta problemática. O rebolo, além do movimento de rotação W_r e do movimento longitudinal W_{lr} , possui um movimento planetário W_{pl} , girando sobre o eixo do furo da própria peça (Figura 215).

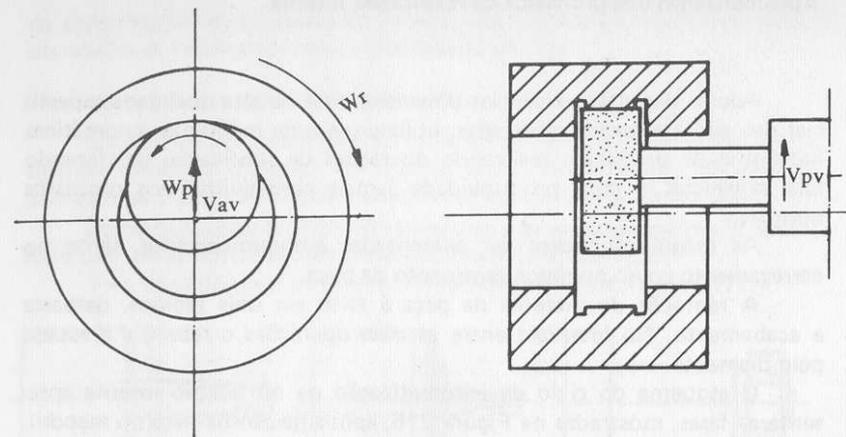


Figura 214.

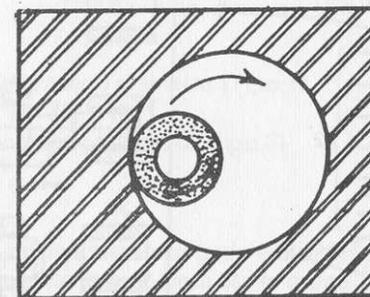
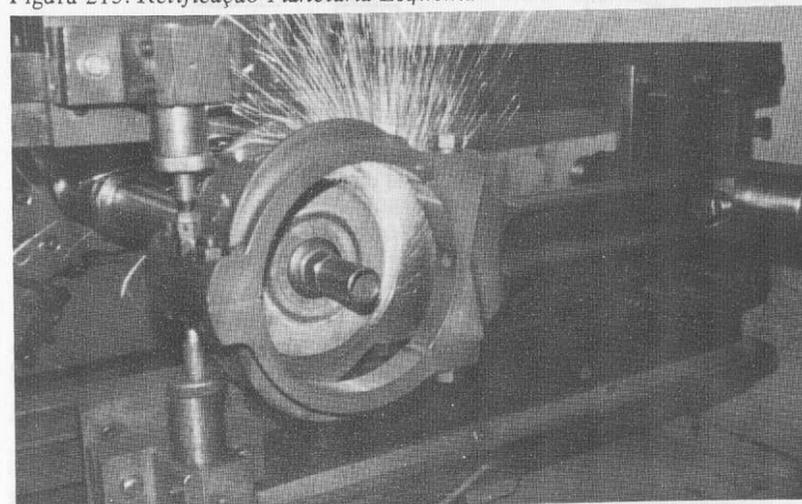


Figura 215. Retificação Planetária Esquema



Retífica interna planetária HEALD (Cortesia de Mecânica Arapongas, RJ).

Automatização dos processos de retificação interna

Apesar das altas exigências dimensionais e da alta qualidade superficial das peças a serem retificadas, utilizam-se hoje máquinas automáticas nas linhas de produção, realizando operações de retificação satisfazendo tais exigências e com produtividade jamais conseguidas nos processos normais.

As máquinas podem ser alimentadas automaticamente, tanto no carregamento como no descarregamento da peça.

A remoção do material da peça é feito em dois tempos: desbaste e acabamento. No intervalo entre as duas operações o rebolo é dressado pelo diamante.

O esquema do ciclo de automatização na retificação interna apresenta as fases, mostradas na Figura 216, após sujeição da peça no mandril.

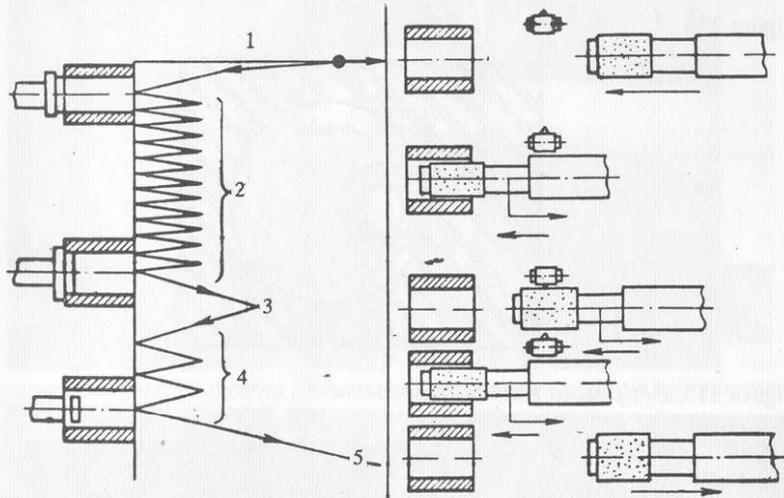


Figura 216. Retífica interna. Seqüências do processo automático.

1) O rebolo se aproxima rapidamente da peça, em rotação, entrando no furo da mesma. O fluido refrigerante começa a jorrar.

2) O rebolo entra em rotação e se movimenta longitudinalmente, avança ao fim de cada movimento oscilante duplo. O calibre de desbaste se aproxima pelo lado oposto do rebolo, tentando penetrar quando este está no extremo oposto.

3) Quando o furo atinge o diâmetro de desbaste e o calibre entra, o rebolo sai do furo e é dressado ou diamantado.

4) Após diamantado o rebolo volta a retificar o furo, com um avanço transversal menor ao de desbaste.

5) Quando o furo atinge o diâmetro final e o calibre de acabamento penetra, o rebolo retrocede à posição inicial e nova peça entra no mandril, repetindo o ciclo automaticamente.

Os avanços longitudinais da mesa portadora de rebolo são efetuados por dispositivo hidráulico, de forma que os movimentos automáticos

de aproximação e retrocesso do rebolo, assim como a transição do avanço do rebolo, se verifiquem com o dispositivo elétrico.

Eixos porta-rebolos usados em retífica interna

Os rebolos utilizados na retificação interna são geralmente pequenos. Quanto menor o diâmetro do rebolo, maior será a rotação do mesmo, pois deve-se trabalhar sempre com uma velocidade periférica razoável.

Como os furos a retificar são pequenos e às vezes compridos, é necessário usar eixos porta-rebolos adequados para cada operação.

Três tipos de eixos porta-rebolos são usados (Veja Figura 217):

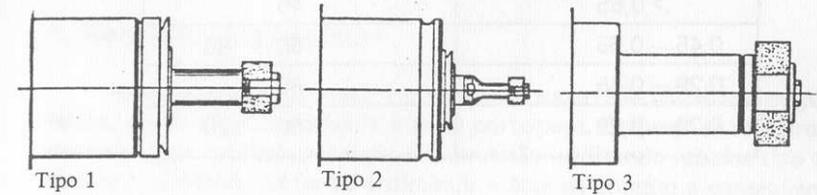


Figura 217.

1) eixo de uma peça de pequeno diâmetro (Tipo 1)

2) eixo recambiável (Tipo 2)

3) eixo de uma peça de grande diâmetro (Tipo 3)

Os trabalhos de oficina mecânica onde existe uma grande variedade de tipos de operação e tamanhos de peça usa-se o tipo 2, de forma a adaptar uma mesma máquina para diferentes tamanhos e operações. O tipo de eixo mais adequado será sempre aquele de maior diâmetro possível, que ofereça maior rigidez na operação. É óbvio que, quanto maior seja a profundidade do furo a ser usinado, maior deverá ser o diâmetro do eixo do rebolo, para evitar flexões que provocariam distorções dimensionais na peça, devido a flexão e vibração. Para diâmetros de 70 mm e maiores é recomendável o uso de eixos tipo 3, com o maior diâmetro possível.

Nota: É bom recordar que a deflexão (flexão ou deformação à flexão, flecha) do eixo porta-rebolos varia de forma diretamente proporcional ao cubo do comprimento do eixo e inversamente à quarta potência do diâmetro do mesmo.

Especificações dos rebolos: Os abrasivos utilizados para estas operações de retífica interna são os semifriáveis ou friáveis, para fornecer arranques de cavaco "frio" e apresentar constantemente arestas capazes de cortar continuamente à baixa pressão na qual será submetido o rebolo.

Por esta razão são aconselháveis os óxidos de alumínio branco e monocristal e em alguns casos os rosas, especialmente quando se trata de operações em peças de pouca espessura de parede, onde a profundidade de passe não pode ser muito grande, para evitar deformação.

De um modo geral o diâmetro do rebolo será 75% do diâmetro do furo da peça a ser usinada. A altura do rebolo, numa primeira tentativa, deverá ser aproximadamente igual ao seu diâmetro. Chamamos isto de rebolo "quadrado".

A granulometria dependerá do acabamento desejado. Recomendase seguir a tabela de granulometria em função do acabamento:

Ra	Granulometria
> 0,65	46
0,45 – 0,65	60 – 80
0,29 – 0,45	80
0,20 – 0,29	100 – 120

As durezas dos rebolos de retífica interna oscilam entre:

- I – K para trabalhos gerais
- L – M para trabalhos específicos semi-automáticos
- M – N para trabalhos específicos automáticos

TABELA DE ESPECIFICAÇÕES

Material	Ø até 16 mm	Ø 16 ÷ 38 mm	Ø 38 ÷ 75 mm	Ø 75 ÷ 125 mm
Aços Carbono	A80L6V	A60L6V	A60K6V	A46K6V
Aços Liga	AA80L6V	AA60K6V	AA60J6V	AA46K6V
Metal duro	GC80K6V	GC80J6V	GC60J6V	GC46K6V
Ferro fundido	C80M6V	C60M6V	C60L6V	C46M6V
Pistas roletes	DA100MGVYT	DA80M6VYT	YT enofrados	
	DA100N6V	DA80N6V		
Pistas esferas	AA120K6VYT	AA120K6VYT – Face F		

III.2.5. RETIFICAÇÃO DE SUPERFÍCIES PLANAS

Definimos esta operação como a retificação de peças planas, medindo rebolos que trabalham tangencialmente ou axialmente. Este tipo de retificado é altamente produtivo, permitindo retificar grandes superfícies em tempos reduzidíssimos, inclusive no caso de peças tratadas termicamente.

Empregam-se dois procedimentos na retificação de superfícies planas: retificação plana tangencial e retificação plana frontal.

1. Retificação plana tangencial

Nesta operação o rebolo trabalha pela superfície cilíndrica, ou periférica, sendo seu eixo paralelo à mesa porta-peça. Emprega-se este procedimento para retificar peças de alta precisão, utilizando rebolos tipo RT (retos) e similares, de forma a diminuir a área de contato e conseqüentemente a quantidade de calor gerado, que poderia danificar a peça, provocando trincas, queimaduras ou deformações.

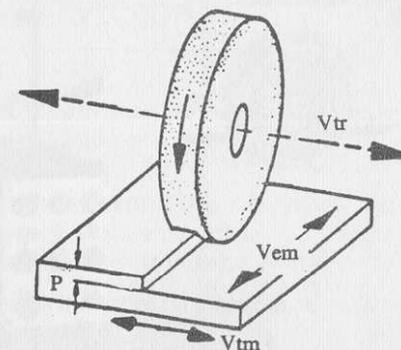
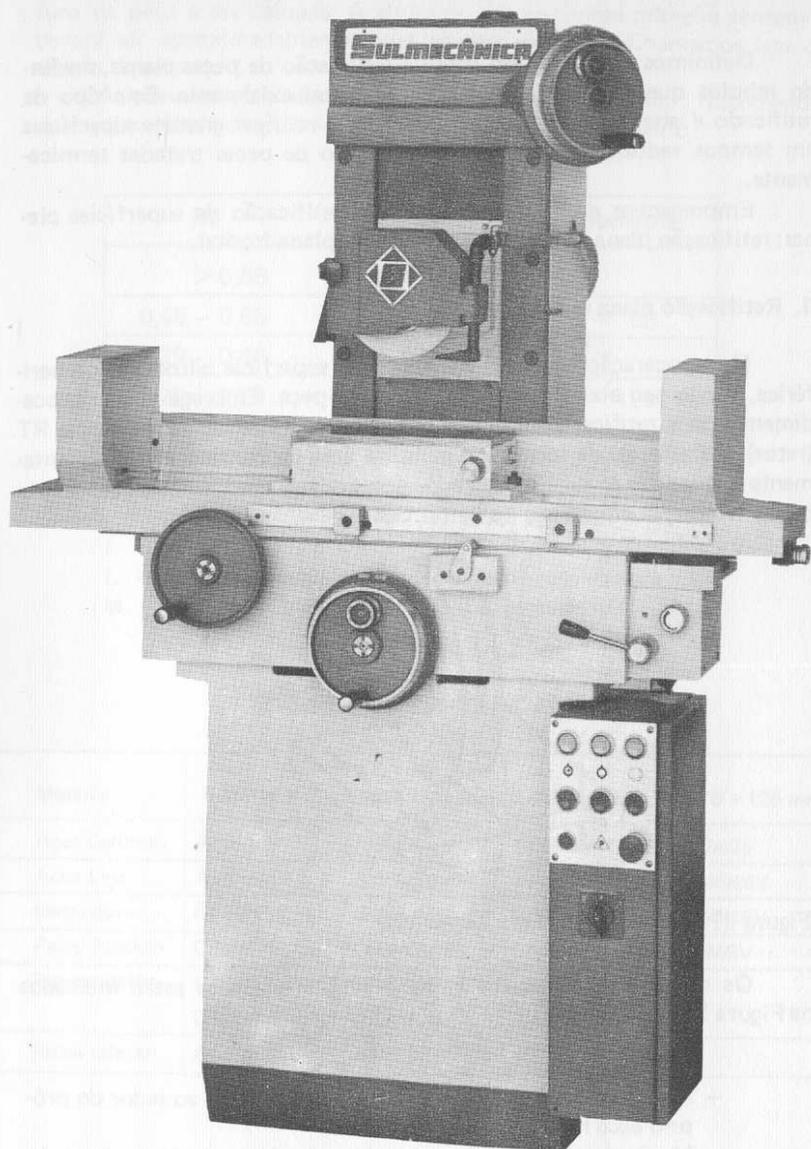


Figura 218. Retificação Plana Tangencial

Os movimentos relativos entre o rebolo e a peça estão indicados na Figura 218.

- Movimento de rotação do rebolo W_r que gira ao redor do próprio eixo horizontal.
- Movimentos de avanço no plano horizontal, formados pelo movimento retilíneo longitudinal, é dado pela peça que se usina e pelo movimento transversal (V_{tr}) do rebolo ou (V_{tm}) da mesa, segundo as características da máquina utilizada.
- Movimento de avanço radial (V_{av}) ou em profundidade, é realizado pelo cabeçote porta-rebolo.



Retífica plana tangencial. (Cortesia Sulmecânica).

No retificado plano tangencial observa-se que o rebolo trabalha girando em oposição e em concordância com o movimento longitudinal da peça. A velocidade relativa entre o rebolo e a peça, no ponto de contato de ambos, definindo a velocidade de corte, será no movimento discordante a soma da velocidade periférica do rebolo mais a velocidade da mesa e no caso de trabalhar em concordância, será a diferença de ambas.

A velocidade longitudinal da mesa, porta peça, dependerá de vários fatores, como profundidade da passada, material a ser retificado, características do rebolo, etc. Dependendo do material a retificar são indicados valores orientativos da velocidade longitudinal da mesa. Na Tabela 17 estão alguns exemplos.

TABELA 17 – VELOCIDADE DA MESA

Aço Comum	6 ÷ 15 m/min.
Aço Liga	5 ÷ 12 "
Fofo	8 ÷ 15 "
Bronze Latão	10 ÷ 16 "
Carburos Metálicos	3 ÷ 5 "

A velocidade transversal da mesa: V_{tm} dependerá da espessura do rebolo, não devendo superar a metade da espessura do mesmo, em cada curso da mesa.

A profundidade dependerá de vários fatores: tipo de material, tipo de usinagem, características do rebolo, largura da peça, potência da máquina, etc., oscilando entre valores de 0,01 a 0,2 mm.

O número de passadas da mesa por minuto vem expresso pela relação $n^o p = \frac{V_{lm}}{L + 40'}$ sendo L a largura da peça. O rebolo sobressai da peça 20 mm em cada lado.

TABELA DE ESPECIFICAÇÕES – Retificação plana tangencial

MATERIAL – TRABALHO	Rebolo de $\varnothing < 20$ mm Largura < 25 mm	Rebolo de $\varnothing > 20$ mm Largura > 40 mm
Aço Carbono – Desbaste	AA 46 K6 V	AA 36 K6 V
– Acabamento	AA 60 J6 V	AA 46 J6 V
Aço Liga com Tratamento Térmico		
– Desbaste	AA 46 18 V	AA 36 110 V
– Acabamento	AA 60 18 V	AA 46 110 V

(Continuação)

MATERIAL - TRABALHO	Rebolo de $\varnothing < 20$ mm Largura < 25 mm	Rebolo de $\varnothing > 20$ mm Largura > 40 mm
Aço Rápido dureza < 63 Rc	AA 46 H8 V	AA 36 H8 V
Aço Rápido dureza > 63 Rc	AA 46 G12 V	AA 36 G12 V
Aço Inoxidável	C 60 I.7.V	C 60 H 7 V
Alumínio	C 46 I7 V	C 36 I.7.V
Ferro Fundido	C 36 H6 V	C 30 H6 V
Bronze Duro	AA 60 K7 V	AA 46 J7 V
Latão	C 36 I7 V	C 36 H7 V
Metal Duro - Desbaste - Acabamento	GC 60 J6 V GC 120 I6 V	GC 60 I6 V GC 120 H6 V

- Retificação plana tangencial "Creep Feeding". Ver Capítulo I. Tema "Teoria de usinagem com ferramentas abrasivas".

Retificação plana frontal.

Aqui o rebolo trabalha pela superfície frontal, sendo o eixo perpendicular à mesa porta-peças. Utilizam-se rebolos tipo anel, copo, segmentos de porcas inseridas e colados em placa.

A superfície de contato entre a peça e o rebolo é muito grande, obtendo grande rendimento de arranque do material devido ao contínuo contato com a peça de muitos grãos abrasivos.

A grande superfície de contato exige a utilização de rebolos mais moles e com grãos mais grossos do que no caso de retificação plana tangencial.

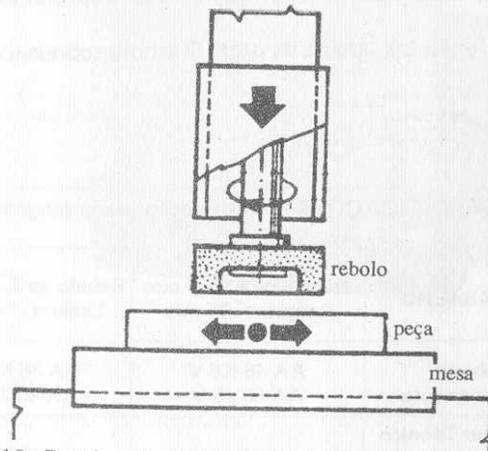


Figura 219. Retificação Plana Frontal. Esquema.

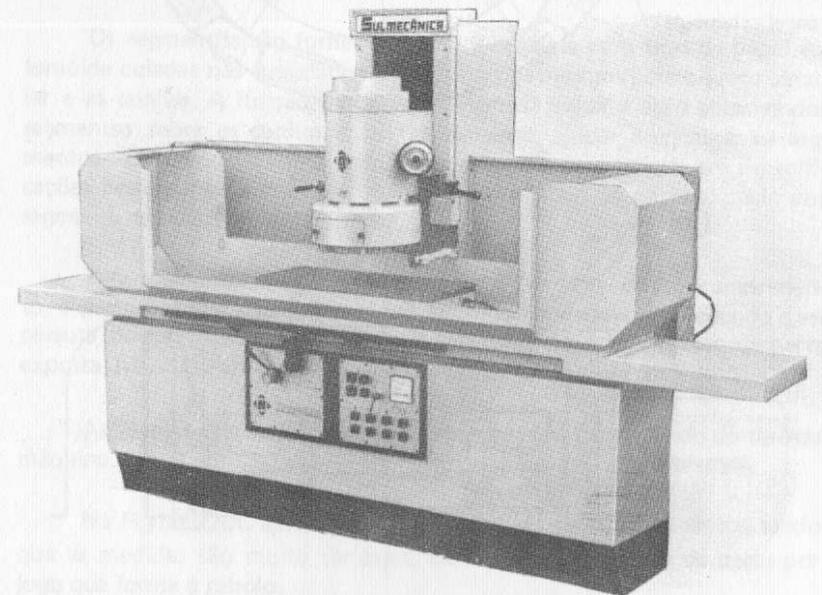
Geralmente o diâmetro do rebolo é maior que a largura da peça a retificar, não existindo por isso movimento transversal, como na retífica plana tangencial.

No processo de retificação plana frontal realizam-se os seguintes movimentos: rotação do rebolo, movimento longitudinal da mesa porta-peça e avanço de penetração do rebolo.

Para impedir, dentro dos limites possíveis, a geração de calor neste processo de retificação é necessário:

- utilizar rebolos com granulometria grossa e o mais mole possível;
- grande vazão de refrigerantes nos pontos de contato rebolo-peça;
- utilizar, se possível, a superfície cortante descontínua, seja inclinando o cabeçote porta-rebolo ou utilizando segmentos.

Na retificação de peças grandes utilizam-se sempre segmentos, porque propiciam a ação do refrigerante nos pontos de contato, reduzem a geração de calor, facilitam a saída do material removido e também pela simplicidade de montagem na retífica. Os segmentos aplicam-se para operações de desbaste com grande remoção de material. Para operações de acabamento são utilizados anéis ou copos, que têm a superfície de contato contínua.



RAPV. 150 Sulmecânica. Retificadora hidráulica de cabeçote vertical para segmentos.

Montagem de um jogo de segmentos no mandril

Os rebolos segmentados são constituídos por um jogo de segmentos, igualmente espaçados sobre um prato circular, ao qual são fixados mediante cunhas e parafusos, formando um conjunto perfeitamente equilibrado e balanceado.

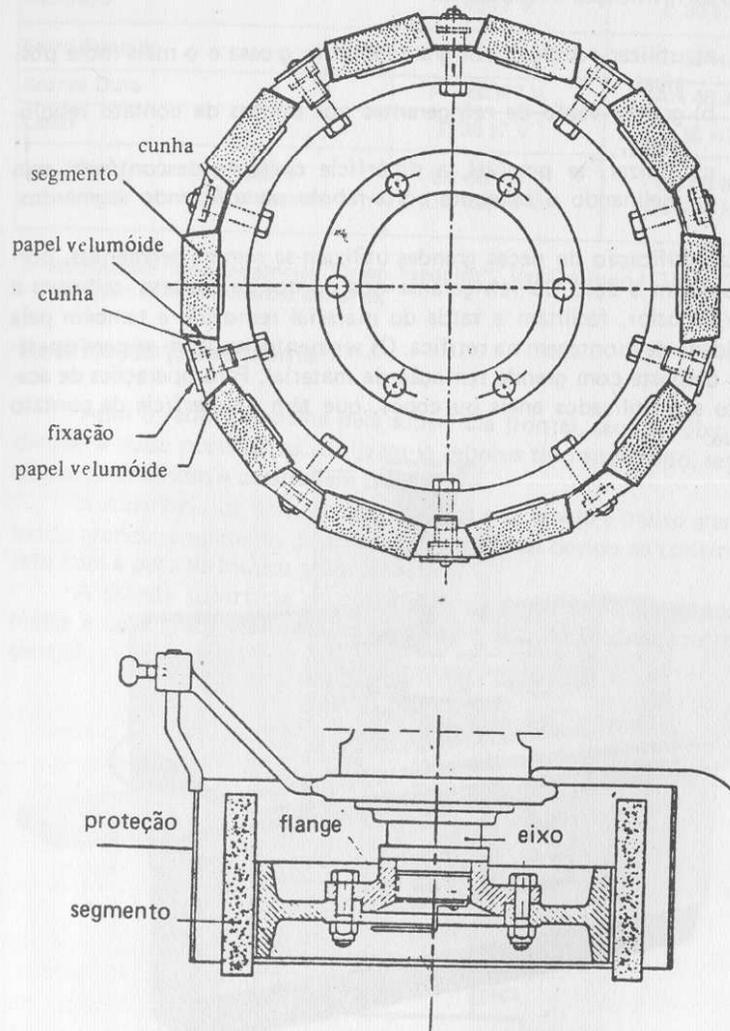
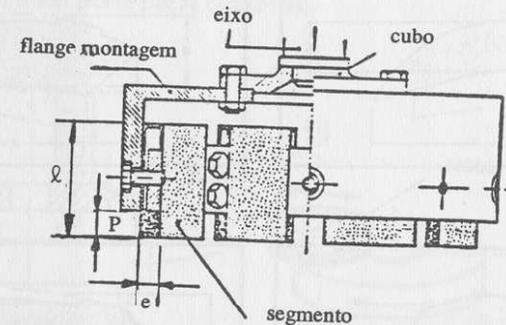


Figura 220A: Montagem dos segmentos no mandril.



l = comprimento
 e = espessura
 p = parte exposta

Figura 220 B. Montagem de Segmentos no mandril.

Os segmentos são fornecidos pelo fabricante com tiras de papel velumóide coladas nas superfícies de contato dos mesmos com o prato circular e as cunhas. A função deste papel, além de evitar a ação abrasiva dos segmentos sobre as cunhas, é particularmente, ajudar a encaixar os segmentos sobre as cunhas, absorvendo a rugosidade dos mesmos, especialmente em especificações com granas e com estruturas muito abertas. A parte exposta dos segmento segue estas duas normas:

Para segmentos com espessura maior a um-terço do seu comprimento, a parte exposta não superará um-terço do comprimento e quando a espessura do segmento for menor que um terço do comprimento da parte exposta, não superará a espessura dos segmentos (Figura 220B).

As formas dos segmentos são muito variadas, dependendo do tipo de máquina.

Na Figura 220C aparecem algumas formas típicas desegmentos, sendo que as medidas são muito variáveis, assim como o número de peças por jogo que forma o rebolo.

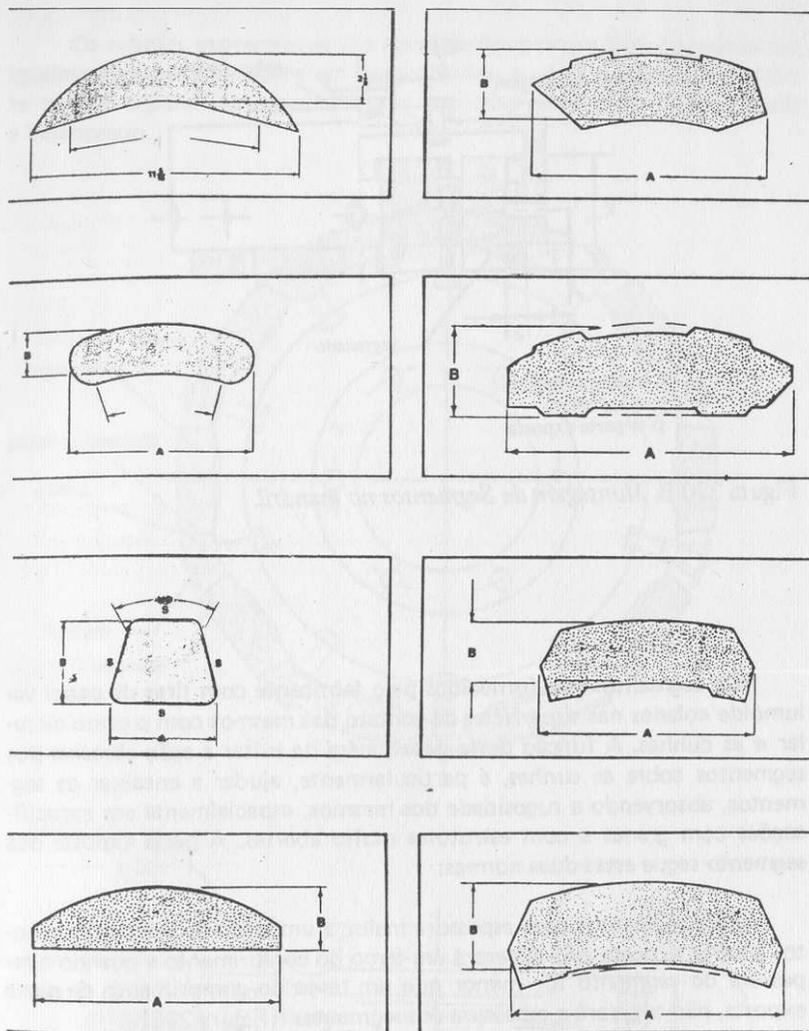


Figura 220C.

Existem outros tipos de retificação plana, além dos enunciados anteriormente. Tanto a retificação plana tangencial como a plana frontal pode realizar-se com mesa porta-peças giratórias.

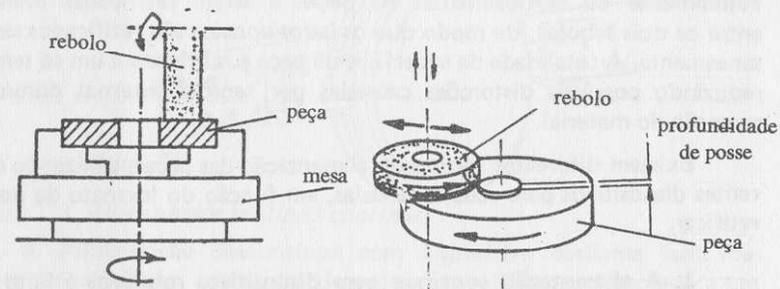


Figura 221. Retificação plana com mesa giratória.

Nestas retificações com mesa giratória deve-se manter as peças a retificar fora do ponto morto ou centro da mesa giratória, no qual a velocidade é mínima, evitando desuniformidade na superfície retificada, tanto dimensionalmente como na rugosidade superficial.

TABELA DE ESPECIFICAÇÕES – RETÍFICA PLANA FRONTAL

Material	Rebolo $\varnothing < 200$ mm	Rebolo $\varnothing < 350$ mm	Rebolo Segmentado
Açosem Tratamento Térmico	DA 46 J6 V	DA 36 J6 V	DA 24 J8 V
Aço com Tratamento Térmico	AA 46 I6 V	AA 36 I6 V	AA 24 H 10 V
Aço Rápido $< 63Rc$	AA 36 I8 V	AA 30 H8 V	AA 30 G10 V
Aço Rápido Dureza $> 63Rc$	AA 36 H8 V	AA 30 G8 V	AA 24 G12 V
Alumínio	C 36 I6 V	C 30 I6 V	C 24 H8 V
Ferro Fundido	C 36 J6 V	C 30 J6 V	C 24 I8 V
Latão	C 36 J6 V	C 30 J6 V	C 24 I8 V
Cromo Duro	AA 46 I6 V	AA 46 I6 V	AA 46 H8 V
Metal Duro	GC 60 H12 V	GC 60 G12 V	GC 60 F12 V

Retificação plana frontal com duplo eixo

É a retificação simultânea das duas faces paralelas de uma peça plana, mediante dois rebolos opostos, com eixos alinhados, ambos horizontalmente ou verticalmente. As peças a serem retificadas avançam entre os dois rebolos, de modo que os lados opostos são retificados simultaneamente. A totalidade da superfície da peça é retificada a um só tempo, reduzindo possíveis distorções causadas por tensões internas durante a remoção do material.

Existem diferentes formas de alimentação das peças, utilizando diferentes dispositivos para cada uma delas, em função do formato da peça a retificar.

1. **A alimentação contínua com dispositivos rotativos** é feita mediante lâminas circulares, com aberturas para receber as peças que vão ser retificadas. Estas lâminas possuem guias laterais para manter as peças em posição, quando as mesmas não estão em contato com os rebolos retificados, sendo às vezes equipadas com acessórios e grampos para fixação das peças. Pode ser adaptado um sistema automático de carga e descarga sem muita complicação (Figura 222).

Este tipo de alimentação é muito utilizado em grandes lotes e para tamanho de peças pequenas e médias e/ou muito finas.

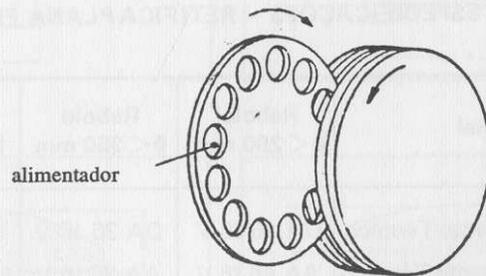


Figura 222. Alimentador Rotativo.

2. **A alimentação contínua com dispositivos retilíneos** é feita mediante um conjunto de guias, forçando a passagem retilínea das peças entre os rebolos retificadores.

As guias laterais retêm as peças em posição de espera entre as barras de guias superiores e inferiores, até as peças entrarem entre os rebolos onde as faces paralelas são retificadas. Durante a retificação, as peças são forçadas a seguir a direção das barras superiores e inferiores. Após a retificação as peças são novamente encaminhadas por guias laterais até serem descarregadas.

Este tipo de alimentação é recomendado para trabalhos de alta produtividade (Figura 223).

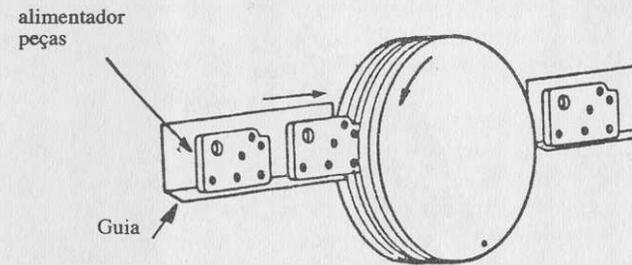


Figura 223. Alimentador retilíneo contínuo.

3. **Alimentação descontínua com dispositivo oscilante** feita mediante um acessório, prendedor da peça a ser retificada, conectado a um braço oscilante, que por sua vez estará ligado à base do retificador por meio de um apoio de articulação, possibilitando a oscilação em arco da extremidade superior. Esta oscilação em arco posiciona a peça a ser trabalhada entre os rebolos retificadores.

Os acessórios prendedores são variados e dependerão do desenho da peça e do desempenho que o usuário quiser obter da operação. Existem dispositivos simples, operados manualmente, capazes de prender uma peça e retificá-la individualmente; e outros dispositivos, cujos acessórios prendedores são múltiplos, permitindo o carregamento numa das extremidades (Figura 224), enquanto na outra se ejeta a peça retificada. A oscilação poderá se realizar pneumática, hidráulica ou mecanicamente.

Este método de retificação possibilita a obtenção de tolerâncias muito precisas em termos de dimensão, paralelismo e acabamento superficial.

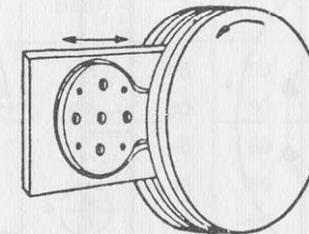
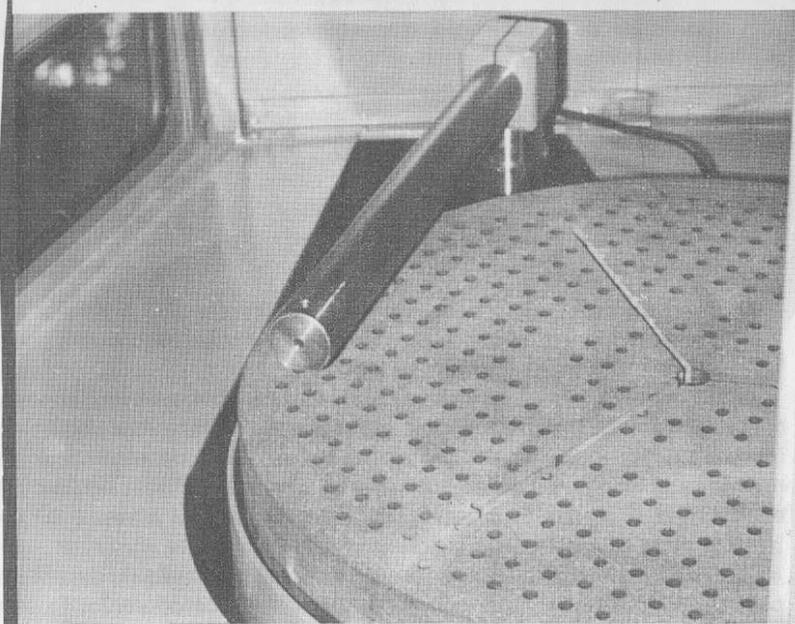


Figura 224. Alimentação com dispositivo oscilante.

Características e especificações dos rebolos para retificação plana frontal com duplo eixo

Geralmente neste tipo de retificação são usados rebolos de porcas inseridas, apresentando freqüentemente na face do trabalho furos ou rasgos de refrigeração, visando proporcionar um corte rápido e "frio" nas superfícies a serem trabalhadas (Foto).



Rebolo de porcas inseridas com fins de refrigeração e dispositivo dressador (Cortesia Sulmecânica).

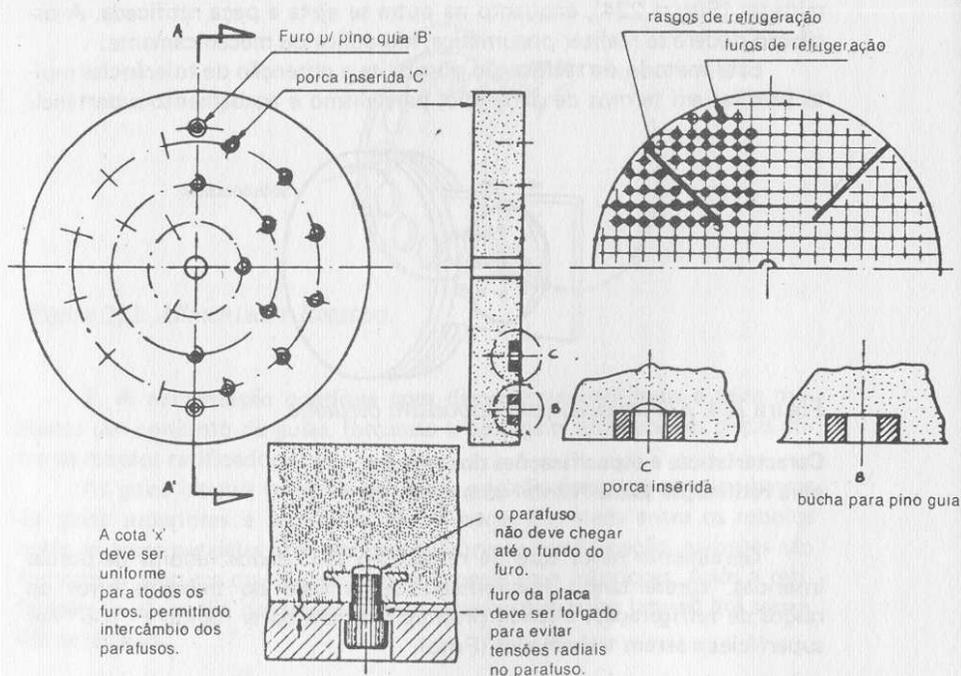


Figura 225. Rebolo de porcas inseridas

Estas discontinuidades na superfícies dos rebolos possibilitam ao refrigerante atingir todas as áreas retificadas e facilitam a remoção dos cavaços, obtendo uma melhoria no desempenho dos rebolos.

Existem outros tipos de rebolos utilizados neste tipo de retificação rebolos colados em placas, rebolos formados por segmentos com porcas inseridas ou com placas coladas.

Sendo provavelmente estes rebolos os mais difíceis de se formular, os conhecidos fatores como: tipo de material a ser retificado, dimensão da peça, quantidade de material a remover, potência da máquina, tipo de alimentação, velocidade do rebolo, dimensões do rebolo (diâmetro e furo) e refrigerante, devem ser claramente discriminados para que o fabricante possa especificar as primeiras características dos rebolos. É importante considerar que a parte central nestes rebolos trabalha com velocidade periférica quase nula. Para compensar esta variação de velocidade periférica, alguns rebolos são fabricados com diversas zonas concêntricas de diferentes durezas ou especificações diferentes.

Aumentando a dimensão do furo destes rebolos consegue-se eliminar zonas de retificação de baixa velocidade periférica, melhorando em muitas ocasiões as condições de retificação.

A Tabela 18 é orientativa e mostra o material a retificar, sobremental a remover e acabamento desejado.

	TAMANHO DO GRÃO					
	Tipo de grão	abrasivo			Dureza	Liga
		Arranque $\geq 0,5$ mm	Acabamento $\geq 0,7$ Ra	Arranque $\geq 0,13$	Acabamento $\geq 0,35$	Arranque $\geq 0,127$	Acabamento $< 0,35$ Ra
Aço Mole < 50Rc	DA	46	60	80	L - J	B
Aço Duro > 50Rc	AA	80	80	100	H - G	B
Ferro Fundido	C	46	60	100	J - H	B
Aço Inoxidável	C	46	60	-	J - H	B
Alumínio Mole	C	46	60	-	H - F	B
Alumínio Duro	AA	60	80	100	J - H	B
Bronze	C	36	60	-	M - L	B
Carvão	C	36	60	80	L - K	B
Anéis Pistão	C	24	46	60	M - L	B
Molas Espirais	A	24	-	-	Q - P	B
Cruzetas > 60Rc	AA	-	-	80	L - K	B
Roletes (sem têmpera)	GC-A	-	-	60	J	B
Roletes (com têmpera)	GC-A	-	-	60	H - G	B

III.2.6 DESBASTE

O acondicionamento superficial nos aços semi-acabados só tomou importância a partir de 1930, aproximadamente, com o uso de ferramentas de impacto, como martelos pneumáticos e outros similares e também o uso de maçaricos especiais com bico adicional de oxigênio. Porém, tanto os problemas de qualidade como os de poluição, fizeram procurar novas soluções, abrindo definitivamente a participação dos rebolos.

Nas fundições, embora os processos de fabricação tenham-se aprimorado grandemente e os excessos de material nas peças obtidas sejam cada dia menores, continua sendo necessário o uso dos abrasivos, seja em operações com rebolo, para peças médias e grandes, seja por meio do tamboreamento (Triboacabamento), para peças pequenas.

O sobremetal, falhas e saliências das peças, são removidas usando rebolos reforçados ou não, montados em máquinas usuais nas fundições: pedestais, pendulares e portáteis.

Nas máquinas de pedestal e portáteis, as velocidades de trabalho variam de 33 até 80 m/s. e nas pendulares é de 48 m/s. a velocidade mais freqüente.

Tipos de máquinas

As máquinas usadas para desbaste são diferentes das usadas na retificação cilíndrica externa, interna, Centerless, etc. Os movimentos da peça e/ou máquina, com exceção de um tipo, são atualmente manuais. Alguns sistemas recentes no mercado incluem dispositivos integrados de carga, encosto e descarga das peças. A automação também está entrando no desbaste.

Podemos classificar as máquinas em:

1. Máquinas de pedestal ou fixas
2. Máquinas de pêndulo
3. Máquinas semi-automáticas de desbaste pesado
4. Máquinas portáteis
5. Máquinas Centerless

1. Máquina de pedestal

São máquinas com a base fixa, normalmente equipadas com um motor central, em cujo eixo são montados dois rebolos, um em cada extremidade.

Ambos os rebolos costumam ter especificações diferentes, quando as máquinas são utilizadas em oficinas pequenas, para atender a diversas aplicações.

Existem máquinas de pedestal projetadas exclusivamente para grandes desbastes em forjarias e fundições, as quais diferenciam-se das anteriores pela sua potência e solidez, assim como por usar rebolos de diâmetros maiores, oscilando entre 500 e 800 mm. e girando com velocidades de 45, 60 e até 80 m/s. Este tipo de máquina é usada para desbaste de peças pequenas e médias que podem ser transportadas manualmente ou com a ajuda de algum simples dispositivo auxiliar. O excesso de material é retirado mediante operação manual, efetuando pressão sobre o rebolo, às vezes com a ajuda de uma alavanca auxiliar situada no próprio bastidor da máquina, ou com um dispositivo como o mostrado na Figura 226 que, atuado por ar comprimido, permite o encosto das peças, inclusive as de formas complexas, contra o rebolo, permitindo aumentar a segurança e eliminar a fadiga do operário.

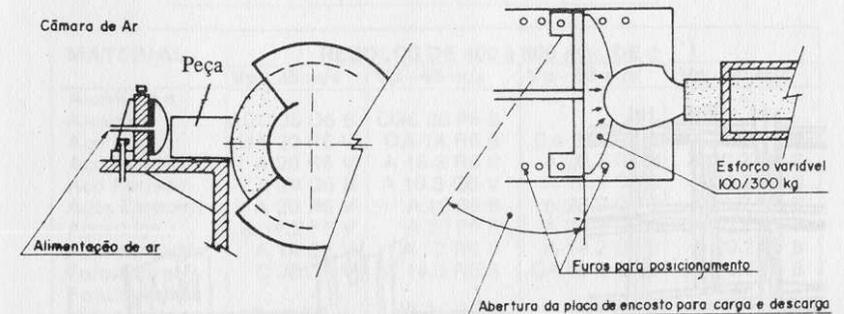


Figura 226. Dispositivo de encosto pneumático.



Máquina de pedestal para desbaste.

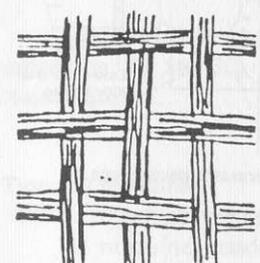
Para trabalhos de uso geral e velocidades sem exceder 35 m/s podem ser usados rebolos em liga vitrificada.

Para rebolos de alto rendimento, em máquinas do segundo tipo, com velocidades entre 45 e 80 m/s, são usados rebolos em liga resinóide, normalmente reforçados com telas de fibra de vidro.

Alguns tipos de resinas especiais permitem o trabalho até 60 m/s sem telas de reforço.

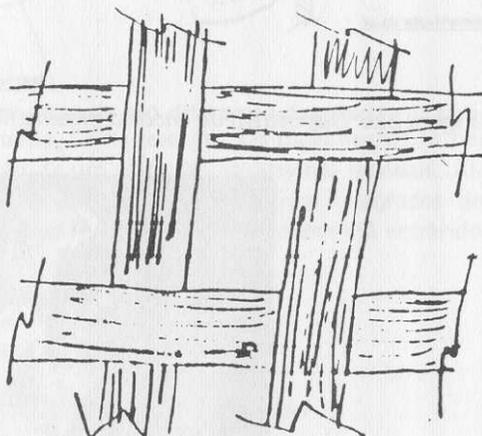
Para rebolos de alta velocidade é usual empregar telas de grande malha e peso, (nos EUA e no Brasil), enquanto na Europa é preferido o uso de telas de reforço de malha e peso menores, porém em maior quantidade como no caso dos rebolos para máquinas de 80 m/s, que são fabricadas com 16 telas (posições (a) e (b) na Figura 227.

Outros tipos de reforço como o mostrado na posição (c) da figura, apresentam excepcionais resultados de resistência à ruptura por esforço centrífugo.



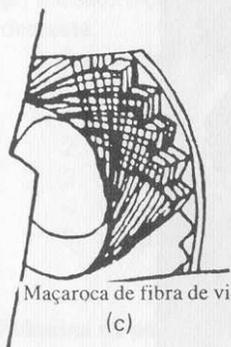
Tecido tipo Panamá (Europa)

(a)



Tecido tipo malha grossa (USA Brasil)

(b)



Maçaroca de fibra de vidro

(c)

Figura 227. Tipos de reforços em fibra de vidro.

TABELA DE ESPECIFICAÇÕES RECOMENDADAS PARA DESBASTE EM MÁQUINAS DE PEDESTAL

MATERIAL	REBOLOS ATÉ 400mm de ϕ	
	Vp - 35 m/s	Vp - 45 m/s
Alumínio e Aleações	CGC 36.06 B	CGC 30 Q6 B
Aço Inox	DA 24 Q6 V	DA 14 S6 B
Aço Fundido	A 20 R6 V	A 16.3 R6 B
Aço Forjado	A 24 Q6 V	IA 16.3 Q6 B
Aços Carbono	A 20.2 Q6 V	A 16 R6 B
Aços Liga	A 20 Q6 V	A 24 Q6 B
Aço Manganês	A 16 Q6 V	A 14 R6 B
Fofo-Cinza	C 20 Q6 V	C 14.3 R6 B
Fofo maleável não recozido	C 20 R6 V	C 20 R6 B
Fofo maleável recozido	A 24 P6 V	A 14.3 R6 B
Fofo Nodular	A 24 P6 V	A 14.3 R6 B
Metais não ferrosos	C 20 P6 V	C 14.3 R6 B

MATERIAL	REBOLOS DE 400 à 800 mm. DE ϕ (*)			
	Vp - 35 m/s	Vp - 45 m/s	Vp - 60 m/s	Vp - 80 m/s
Alumínio e Aleações	CGC 36 Q6 B	CGC 30 P5 B	---	---
Aço Inox	DA 20 R6 V	DA 14 R6 B	DA 20.2 Q6 B	DA 10.2 P5 B
Aço Fundido	A 20 R6 V	A 16.3 R6 B	A 20.2 R6 B	A 20.2 Q6 B
Aço Forjado	A 24 Q6 B	A 16.3 Q6 V	A 16.3 Q6 B	A 20.2 P6 B
Aços Carbono	A 20 R6 V	A 16 S6 B	A 20.2 Q6 B	A 20.2 N6 B
Aços Liga	A 14.2 P6 V	A 20 P6 B	A 20.2 Q6 B	A 20.2 N6 B
Aço Manganês	A 14 Q6 V	A 12 R6 B	A 14.2 Q6 B	A 20.2 P6 B
Fofo-Cinza	C 20 Q6 V	C 14.3 R6 B	CA 16.3 Q6 B	CA 20.2 P6 B
Fofo maleável não recozido	C 20 R6 V	C 20 R6 B	C 16.3 Q6 B	C 20.2 P6 B
Fofo maleável recozido	C 20 R6 V	C 20 R6 B	C 16.3 Q6 B	C 20.2 P6 B
Fofo Nodular	A 36 P6 V	A 14.3 R6 B	A 14.3 Q6 B	A 14.3 P6 B
Metais não ferrosos	C 20 P6 V	C 14.3 R6 B	C 14.3 Q6 B	---

(*) Ver também especificações em OA/ZrO₂.

A = OA comum

CGC = SiC verde escuro ou mistura verde e preto

NOTA PARA FoFo MALEÁVEL: uma pergunta surge constantemente a respeito do FoFo maleável: "É melhor desbastar antes ou depois do recozimento?" De uma forma geral é aconselhável desbastar peças já tratadas se depois devem passar para posterior usinagem. Se o desbaste deve ser efetuado em peças sem tratamento, usar rebolos em SiC.

2. Máquinas pendulares

São máquinas suspensas por um suporte e formadas por uma armação horizontal com comprimento de aproximadamente 3 metros, com motor instalado na parte posterior e que movimenta o eixo do rebolo fixado na parte dianteira da armação. Nesta parte dianteira existem alavancas para o operador movimentar a máquina e o rebolo em todas direções. Estas máquinas são usadas para desbaste de peças de grandes dimensões.

Os rebolos utilizados nestas máquinas pendulares manuais são de liga resinóide e trabalham com velocidades de 45 à 60 metros por segundo. O diâmetro dos rebolos varia entre 400 mm e 600 mm e a espessura de 25 a 80 mm (Figura 228).

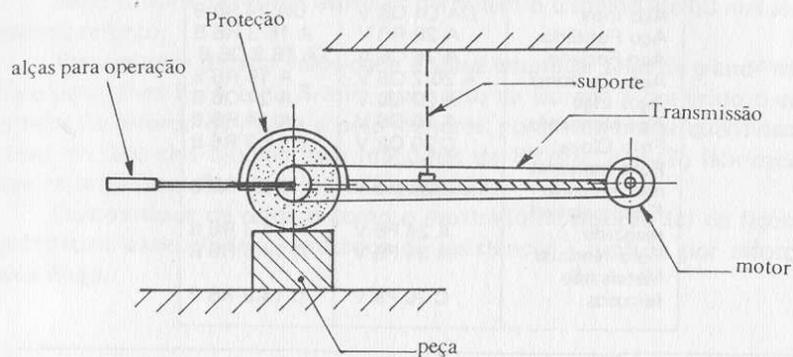


Figura 228. Máquina manual de pêndulo.



Desbaste com máquina de pêndulo.

ESPECIFICAÇÕES RECOMENDADAS

Material	Rebolos de 300 a 600 mm Ø		
	Vp = 45 m/s	Vp = 60 m/s	Vp = 80 m/s
Aço carbono	A 16.2 T6 B	A 20.2 Q6 B	A 20.2 P6 B
Aço liga	A 16.3 R6 B	A 20.3 P6 B	A 20.3 O6 B
Aço manganês	A 12.2 R6 B	A 20.2 Q6 B	A 20.2 Q6 B
Aço forjado	A 20.3 Q6 B	A 20.2 Q6 B	A 20.2 P6 B
FoFo	C 14.3 R6 B	C 14.2 R6 B	C 14.2 Q6 B
Lingotes			
Aço Carbono	A 10.4 R5 B	A 10.3 R5 B	
Lingotes			
Aço Liga	A 10.4 R5 B	A 10.3 S5 B	
Lingotes			
Aço Manganês	A 14.4 Q6 B	A 14.3 Q5 B	

3. Máquinas semi-automáticas – Desbaste pesado

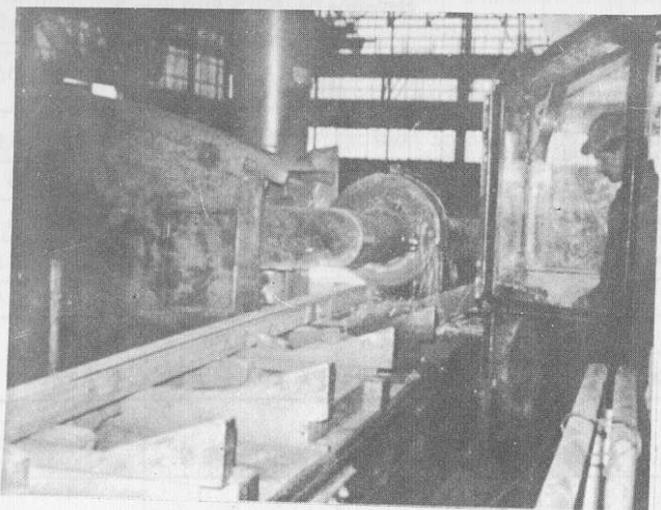
Nas indústrias siderúrgicas, para eliminação de defeitos superficiais nos produtos semi-acabados ("slabs" e "billets") de aços comuns e especiais, são utilizadas máquinas de alto rendimento, nas quais o transporte e manuseio das peças é semi-automático ou automático. Providas de motores de grande potência e com alta pressão de ataque do rebole sobre a peça, conseguem remoções que variam de 300 kg até 5.000 kg, quantidades impensáveis com as máquinas manuais de pêndulo. A pressão é exercida mediante cilindros hidráulicos com esforços entre 300 e 1.500 kg sobre a peça.

As máquinas mais conhecidas são Centromaskin, Schlüter, Piper e Tasman com potências úteis de até 500 HP.

Os rebolos trabalham com velocidades de 60, 80 e até 100 m/s, fabricados com abrasivos de OA modificado com Zircônio ou Alumina Sinterizada, em granulometrias entre 8 e 16, muito densos e, geralmente, prensados à quente, com porosidade praticamente zero (Figura 229).

Algumas especificações usuais são:

Velocidade	Materiais	Especificação
48-60-80 m/s	Aço Construção Aço Inox Aços Liga	ZA 12.1 ZWB AS/ZF 8.10 ZXB ZR 10 ZYB



Máquina automática (alta pressão).

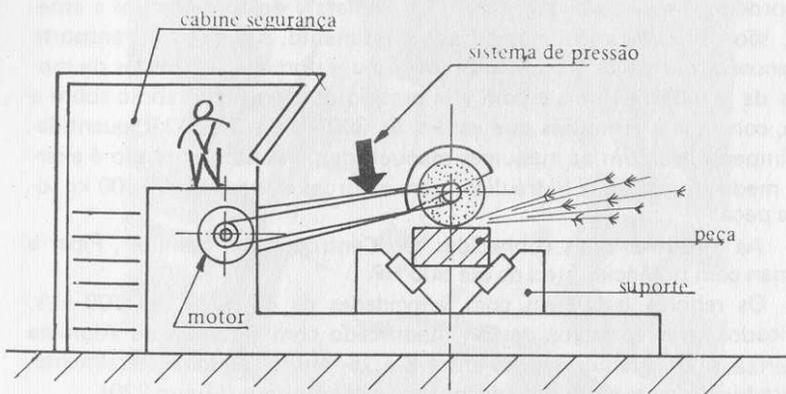


Figura 229. Máquina automática (alta pressão).

4. Máquinas portáteis

São máquinas leves e compactas, equipadas com turbinas pneumáticas ou motores elétricos, podendo ser manuseadas com facilidade para atingir pontos das peças de difícil acesso, usadas na remoção ou limpeza de soldas e pequenas quantidades de material em peças grandes.

Podemos distinguir dois tipos: (Figura 230)

- Máquinas de eixo horizontal
- Máquinas de eixo vertical

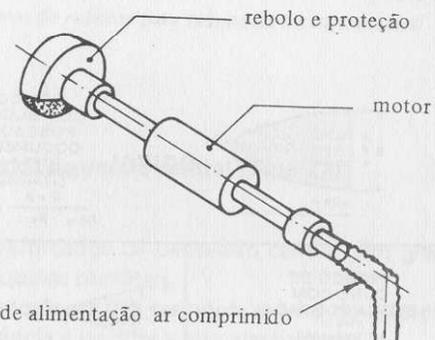


Figura 230. Máquina Pneumática (Eixo Horizontal).



Máquina Pneumática de Eixo Vertical - Copco.

As máquinas de eixo horizontal são as mais leves e utilizadas especialmente para desbastes em lugares pouco acessíveis e acabamentos com pequenas remoções.

Utilizam rebolos de diferentes formatos, de acordo com a superfície a ser retificada; pontas montadas, rebolos retos, ogival, etc. (Veja Figura 231).

No caso de máquinas pneumáticas torna-se importante que os operadores estejam cientes de que a pressão excessiva do ar pode provocar risco de rupturas do rebolo e rendimentos menores devido a velocidade excessiva. Um rebolo de uma determinada especificação precisa trabalhar sempre com a mesma velocidade. Qualquer modificação mudará o rendimento do rebolo.

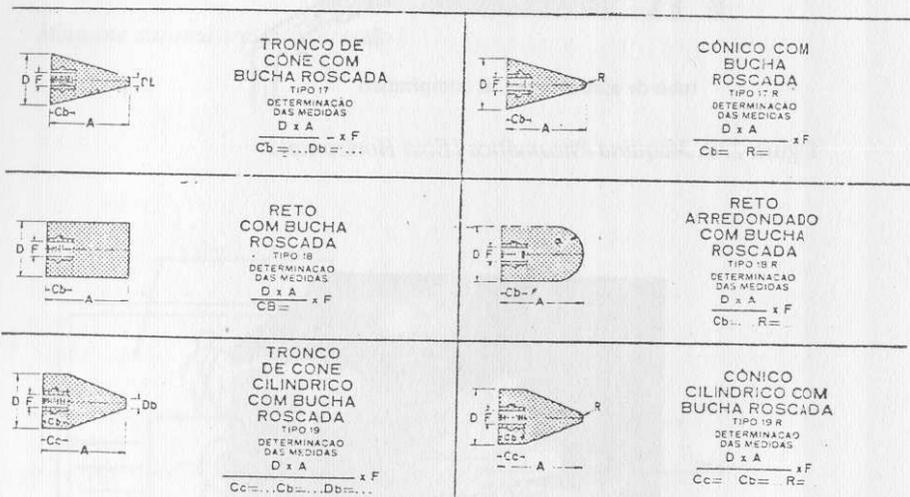
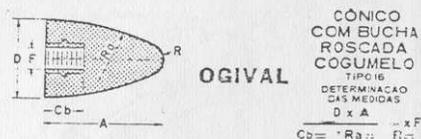


Figura 231. Tipos de rebolos para máquinas portáteis de eixo horizontal.

As máquinas de eixo vertical são mais pesadas e utilizadas para remoções maiores de material. Utilizam rebolos tipo copo reto e copos cônicos e discos reforçados de depressão central. Veja os formatos dos rebolos na Figura 232.

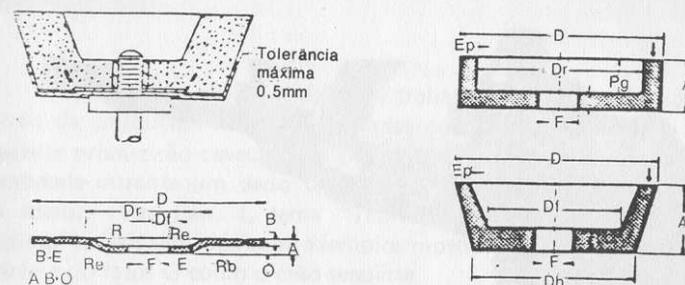


Figura 232: Formatos de rebolos para máquinas de eixo vertical

Discos reforçados de depressão central (Tipo 27)

Os discos reforçados de depressão central têm grande utilização no desbaste com máquinas portáteis.

São fabricados com liga resinóide e telas de reforço que lhes conferem grande resistência à ruptura e alta elasticidade.

Graças ao seu formato podem ser usados até o centro, pois a porca de sujeição fica dentro da depressão central, resultando numa operação extremamente econômica.

Os discos trabalham formando um ângulo de 30° com a superfície da peça a desbastar, podendo variar o ângulo quando for necessário trabalhar com maior ou menor superfície de contato (V. Foto à página seguinte)

Os discos de depressão central de menor espessura são muito usados quando é conveniente fazer operações de desbaste e corte, simultaneamente.

São utilizados em oficinas, para desrebarbação de cortes de chapas com maçarico, cortes de peças metálicas, limpeza de peças fundidas, entalhamentos de orifícios de entrada, remoção de ferrugem, remoção rápida de soldas, etc...

Estes discos trabalham com velocidades periféricas de 80 m/seg. sendo obrigatório o uso de capas protetoras.

Ver Normas ABNT sobre especificações e dimensões destas capas protetoras.



Máquina de eixo vertical B & D para desbaste manual

ESPECIFICAÇÕES RECOMENDADAS EM MÁQUINAS PORTÁTEIS

Material	Rebolos até 200 mm de Ø			Discos de depressão central
	V _p = 35 m/s	V _p = 45 m/s	V _p = 80 m/s	
Aço Duro	A 20 Q6 V	A 16 S6 B	A 24 Q6 B	A 24 R6 B
Aço Alta Resist.	A 20.2 P6 V	A 20.2 R6 B	A 24 Q6 B	A 24 Q6 B
FoFo	C 20 R6 V	C 20 S6 B	C 20 R6 B	C 24 S6 B
Alumínio	C 36 O6 B	C 36 N6 B	—	A 24 O6 B

5. Máquinas centerless

As barras de aço laminadas a quente ou estiradas a frio sofrem um processo de desbaste com ferramentas metálicas, passando a seguir por outra operação de desbaste, desta vez com rebolos e em máquinas Centerless, para obter um produto que precisará unicamente de um acabamento definitivo, quando chegar ao usuário. Este processo é conhecido como "Peeling" e as máquinas Centerless usadas costumam ter potências da ordem de 250 HP, montando rebolos de Ø 600 X 600 x 304,8 mm, em uma peça de espessura indicada ou várias de menor como, por exemplo, 2 x 300 x 4 x x 150. Os diâmetros usuais das barras variam entre 25 e 200 mm.

As especificações dos rebolos para aços são, geralmente, A 60 T B para velocidades de 48 e 60 m/s.

Para FoFo, titânio e outros materiais não ferrosos, usa-se SiC.

Altas velocidades

O incremento da velocidade de trabalho do reboło permite um aumento da produção. Para determinadas condições de operação os grãos abrasivos produzirão cavacos de espessura menor, porém arrancando maior quantidade durante um dado tempo, ou seja, a taxa de remoção horária será maior. (Ver Cap. I, tema "Teoria de usinagem com ferramentas abrasivas"). Existem inúmeros exemplos mostrando aumentos de arranque horário e do fator G como o caso seguinte

Rebolo	Velocidade	Vol. reboło gasto	Vol. peça removido	G
A	48 m/s	0,032	0,126	4
B	60 m/s	0,045	0,400	8,8

Material aço doce: reboło A e B características similares. Reboło B reforçado: máquina pedestal.

É necessário considerar vários fatores na escolha das características do reboło, para uma velocidade de trabalho determinada. Um reboło de especificação inadequada, girando em alta velocidade, pode dar menor rendimento do que outro, de características corretas, girando em velocidade menor. O usuário deverá sempre consultar o fabricante quando houver uma modificação na velocidade operacional.

Abrasivos especiais para o desbaste

Para complementar este tema, indicamos a seguir algumas vantagens e considerações a respeito do uso de OA modificados com ZrO₂.

No capítulo I — "Abrasivos" — já foram expostas as características técnicas destes abrasivos, cujo alto poder de remoção e resistência ao impacto ou tenacidade são muito superiores aos do OA convencionais. Por esta razão, o uso em operação de desbaste pesado em máquinas de elevada potência e grandes pressões apresenta grandes vantagens, eliminando os problemas que apareceriam no caso de se usar óxidos de alumínio convencionais, nas mesmas condições de trabalho; desgaste rápido, perda do poder de corte, superaquecimento na superfície de corte e até queima nas peças.

A alta tenacidade proporciona ao ZrO₂ grande durabilidade, diminuindo sensivelmente o custo operacional.

Na Figura 233 é representado o desgaste comparativo dos rebolos em Al₂O₃ e em ZrO₂ em função do material removido para operações com máquinas portáteis de pequena potência.

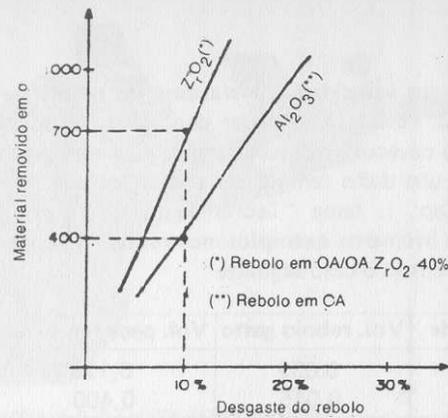


Figura 233: Gráfico de remoção/Desgaste Comparativo

O uso de OA modificados com ZrO_2 em discos de corte, retos, também apresenta vantagens, eliminando prejuízos causados pelo calor gerado no corte, tanto para o rebolo como para a superfície da peça trabalhada, como mostra o gráfico da Figura 234.

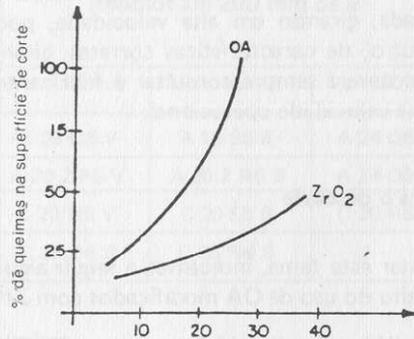


Figura 234: Gráfico comparativo de qualidade de corte OA/OA, ZrO

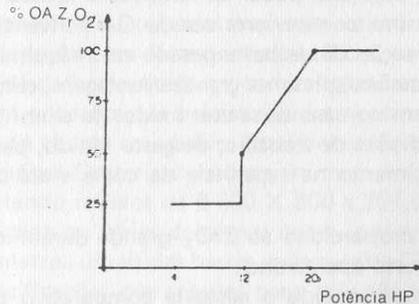


Figura 235: Valores de Participação do OA ZrO_2 25% em Função da Potência Disponível.

Para desbaste com máquinas de pêndulo, a utilização de OA/ ZrO_2 dependerá da potência disponível na máquina. Não é recomendável usar estes rebolos com máquinas de baixa potência, porque nestes casos não se obtém resultados satisfatório (*).

Na Figura 235 mostramos uma relação aproximada entre a potência disponível na máquina e a participação porcentual do óxido de alumínio modificado com ZrO_2 na composição dos rebolos de desbaste.

Os valores indicados são orientativos e válidos para rebolos de até \varnothing 500 mm.

Para máquinas pedestal e pêndulo, sugerimos os valores da Tabela 19 para uso de rebolos com abrasivos de Zircônio.

TABELA 19

Material	Máquina	
	Pedestal	Pêndulo
FoFo cinzento	ZFC 16 R6 B	ZFC 16.2 S6 B
Aços, FoFo Nodular e FoFo Maleável	ZFA 16 R6 B	ZFA 16.2 S6 B

Rebolos com $V_p = 45$ m/s: reforço com anéis.

Rebolos com $V_p = 60$ m/s: reforço com anéis e telas.

Desbaste com discos semi-rígidos

Dentro das operações de desbaste existem alguns casos que requerem uma ação abrasiva moderada ou desbaste suave, sem aplicação de esforço sobre o disco. Para atender esta necessidade foram desenvolvidos os chamados semiflexíveis. Fabricados com várias capas de abrasivo depositadas sobre uma base de fibra especial muito resistente, apresentam na superfície uma série de rasgos radiais ou cruzados que ajudam à refrigeração e saída de cavaco (ver foto). O aquecimento do disco durante a operação ajuda o aumento da flexibilidade, permitindo uma melhor adaptação às irregularidades e formas geométricas da superfície da peça.

Na aplicação não é necessário aplicar esforço por parte do operador, sendo suficiente o próprio peso da máquina e disco. A montagem é feita sobre uma base flexível em borracha sintética, que para o caso de um disco de 180 mm tem um diâmetro de 120 mm (Veja Figura 236).

Podemos considerar este produto como intermediário entre os abrasivos rígidos, típicos de centro deprimido e os de fibras simples, elásticas, da família dos abrasivos aplicados ou flexíveis. O seu comportamento apresenta vantagens sobre ambos os tipos citados em algumas operações específicas, especialmente em alguns perfis de pouca espessura, sensíveis à ação dos discos de centro deprimido convencionais.

(*) Nos últimos anos está sendo usado, nestas máquinas em operação manual um OA modificado com 42% de ZrO_2 com excelentes resultados.

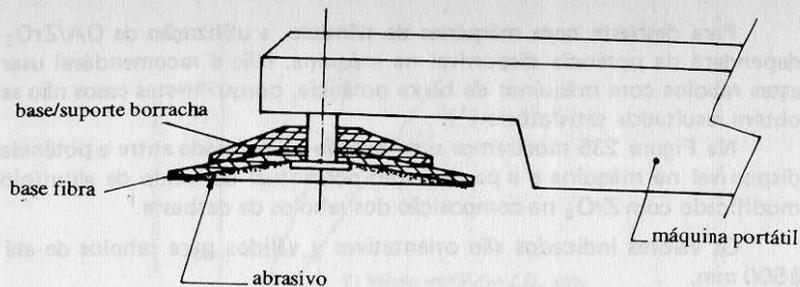
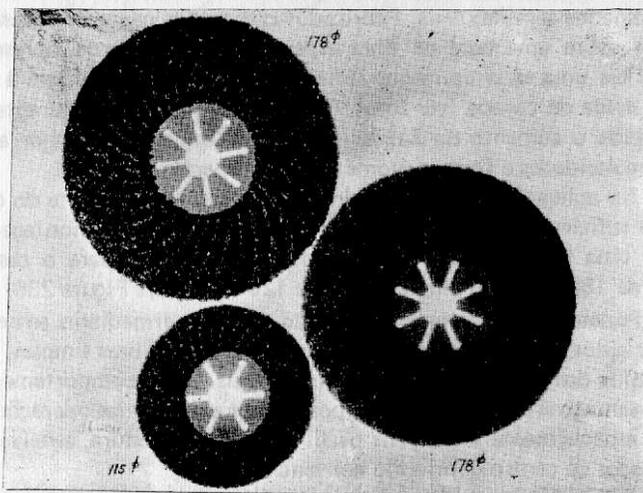


Figura 236: Montagem dos discos semi-rígidos

Características

Velocidade máxima: 80 m/s – Velocidade operativa na maioria dos casos: 20 ÷ 60 m/s.

Abrasivo	Granulometria	Dimensões	Aplicações e observações
OA (A-AA)	24-36-60-80	115	OA carrocerias carros, recipientes aço inox (indústria nuclear) "desbarbeado" de cascos de navio, hélices, aços, solda etc..
		127 180	
SiC (C-GC)	16-24-36-60-80-100 e 120	230	SiC mármore, granito, porcelana, plástico, carcaças de barcos em resina reforçada, FoFo etc.



Tipos de discos semi-rígidos. (Cortesia de CECROPS, Sta. Perpetua de Moguda, Barcelona, Espanha).

III.2.7 PONTAS MONTADAS (PM).

Recebem este nome os rebolos de pequeno formato, montados sobre uma haste de aço mediante resinas sintéticas, colas especiais ou ligas de Zu injetadas entre furo e haste, para formar um corpo único. A haste permite a montagem nos mandris ou pinças das máquinas que são acionadas por motores elétricos ou pneumáticos (Figura 237).

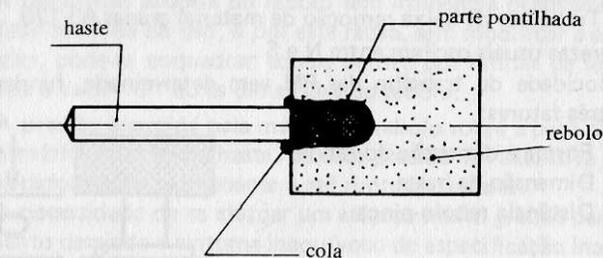


Figura 237: Ponta Montada. Esquema de montagem.

Os trabalhos efetuados com as pontas montadas, são geralmente manuais, usando máquinas portáteis, e em operações de desbaste nas fundições, forjarias, matrizarias, etc. Existem alguns casos de uso de PM para operações de precisão de retífica interna em máquinas VOUMARD, UVA e outras nas quais a haste é rosqueada e o rebole é acabado com maior precisão para atender as características da operação (Figura 238).

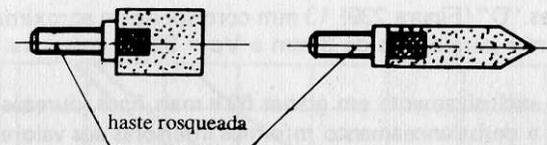


Figura 238: Pontas montadas para retífica interna.

A liga mais usada é a vitrificada, mas para alguns casos específicos, que não representam 1% do total, também são adequadas as ligas resinóide e borracha. Para aço inox, latão, bronze e alumínio, podem ser especificadas PM em liga resina. Para baixas remoções a liga borracha também pode ser indicada.

O abrasivo mais utilizado é o OA rosa, especialmente recomendado para aços-liga, aços-rápidos, aços-carbono, FoFo modular, bronze duro etc.

O SiC encontra aplicação para FoFo cinzento, aço cementado, metais não ferrosos, borracha e vidro.

Para aços-carbono está perfeitamente justificado o OA marrom e para alguns aços tratados o OA branco, embora a preferência geral inclina-se sempre para o rosa.

As granulometrias costumam ser relativamente grossas porque o objetivo da operação habitualmente é a remoção máxima de material no tempo mínimo, porém dependendo do formato devem-se observar algumas diferenças, seguindo o seguinte critério geral:

- PM tipo A e as W(C) de \emptyset superior à 20 mm aprox., granas 36.46.60.
- PM tipo B, A e W(C) de \emptyset inferior à 20 mm aprox., granas 80-120.
- PM perfis com ângulos vivos formas especiais granas 80-120.
- Trabalhos de baixa remoção de material granas 60-120.

As durezas usuais oscilam entre N e S.

A velocidade de trabalho das PM vem determinada, fundamentalmente por três fatores:

1. Forma e dimensão do rebolo
2. Dimensão da haste
3. Distância rebolo-pinça

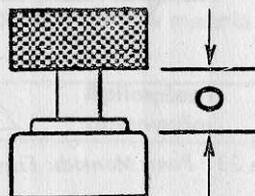


Figura 239: Fixação PM no mandril ou pinça.

Considerando estes três fatores, a velocidade máxima de uso de cada PM está indicada nas Tabelas 21 e 22, cujos valores foram estabelecidos multiplicando a velocidade crítica teórica (Ver Cap. III, Tema 1, "Máquinas") pelo coeficiente 0,75.

Os resultados são aplicáveis para as especificações de PM em grana 60 e mais finas.

Os valores "O" (Figura 239) 13 mm correspondem aproximadamente à $V_p = 20/25$ m/s para hastes de 3 mm e $V_p = 35/40$ m/s para hastes de 6 mm.

Para PM exclusivamente em granas 60 e mais finas, durezas elevadas, excentricidade e desbalanceamento mínimos inferiores aos valores normalmente aceitos neste tipo de rebolo, a Tabela 20 indica os valores máximos admissíveis da velocidade de trabalho, que aproximadamente representam uma $V_p = 45/50$ m/s.

TABELA 20 - VALORES LIMITES ABSOLUTOS DE VELOCIDADE PARA PM

\emptyset do rebolo	rpm máx.
6	152.800
10	101.900
16	61.120
20	47.010
25	38.200
32	30.560
40	25.470
50	19.100

As tabelas 20 e 21 indicam os valores máximos da velocidade de uso dos tipos de PM usuais. Para casos intermediários deverá interpolar-se para achar o valor correspondente.

Para hastes rosqueadas os valores a serem considerados correspondem aos indicados na primeira coluna da Tabela 21 "saliência 13mm".

A Tabela 21 mostra as velocidades máximas admissíveis para hastes de $\emptyset 3$ e $\emptyset 6$ mm, e as figuras 241 e 242 as dimensões dos três grupos.

A resistência própria do rebolo tem influência praticamente nula na velocidade máxima de uso, e por esta razão, sem modificar a especificação do rebolo, pode-se enquadrar aquele dentro dos limites de segurança, diminuindo o valor "O" ou as dimensões do rebolo.

A pressão exercida pela máquina e rebolo sobre a peça não deve provocar a mínima flexão na haste. Se esta pressão for excessiva pode provocar uma deformação permanente e até ruptura da haste.

A necessidade de se efetuar um esforço muito grande para se obter o rendimento desejado é sintoma inequívoco de especificação inadequada.

Nos casos especiais de velocidades e formatos fora das tabelas padronizadas ou no caso de uso de rebolos moles em velocidade elevadas, será necessário consultar o fabricante, que indicará os limites permissíveis para o produto em questão. Porém, de um modo geral os critérios a serem seguidos são os indicados na Tabela 21 Velocidades de Trabalho.

Para orientar na escolha inicial das características das PM, mostramos na Figura 240 um diagrama aproximado de seleção de durezas em função do diâmetro do rebolo e rpm disponíveis no eixo da máquina.

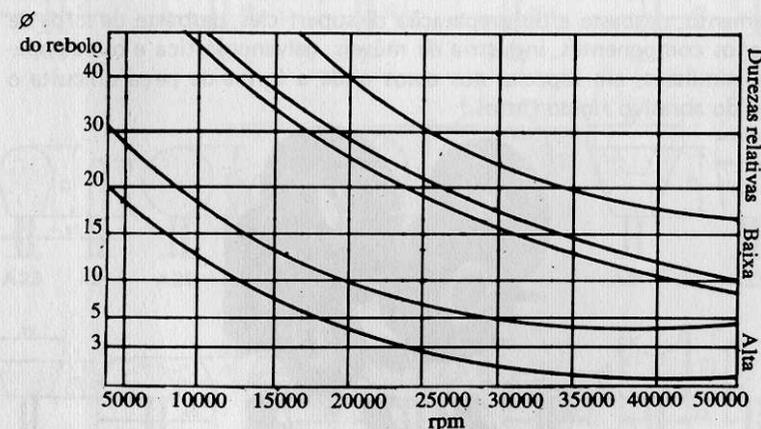


Figura 240: Diagrama orientativo de escolha de durezas.

Em função do tipo de operação recomendam-se as seguintes especificações

(*) OPERAÇÃO	ESPÉC. DA PM	TIPO OU FORMATO
Desbastes	- DR36 P6 V	A1, A3 A11, W205, W246, etc..
Semi-acabamento	- DR60 O6 V	B41, B61, B131, C185, etc..
Acabamentos	- DR80 N6 V	B63, B105, C160, C201, etc..
Desbaste FoFo	- C36 R6 V	A1, C220, etc..

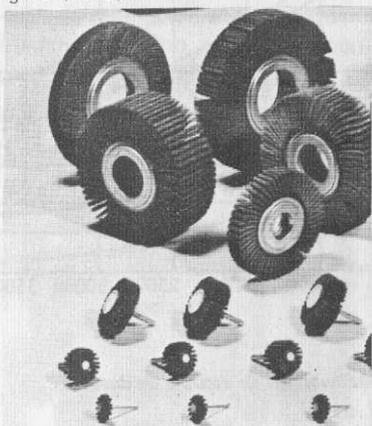
(*) Devemos salientar que as definições das operações têm valor relativo entre elas, pois sempre trata-se de operações manuais onde a qualidade da superfície não é medida, nem constitui o principal objetivo da operação.

As normas ABNT PB26 recolhem as indicações da FEPA e GWI para formatos e dimensões das PM, classificando três grupos: A, B, e C (W nas normas GWI e FEPA) mostradas na Tabela de Formas e Dimensões (Figuras 241, 242 e 243)

Pontas montadas com abrasivos flexíveis

Este produto é adequado para operações manuais de desbaste suave, usando como meio abrasivo folhas de abrasivo aplicado, flexíveis, montadas radialmente sobre um eixo de normalmente 6 ou 6,35 mm. Outros tipos são montados como se tratasse de um rebolo rígido numa máquina de eixo flexível (chicote), em máquinas esmerilhadeiras de pedestal ou em máquinas automáticas.

Tem sua aplicação na indústria automotiva (principalmente), para o acabamento, desbaste e/ou preparação de superfícies, desbaste de solda de pequenos componentes, indústria de móveis, galvanoplástica e outras operações similares, em especial nos casos onde a forma de peça dificulta o acesso do abrasivo rígido (foto).



Rodas abrasivas flexíveis. (cortesia da Cia. Química Básica Salto, SP).

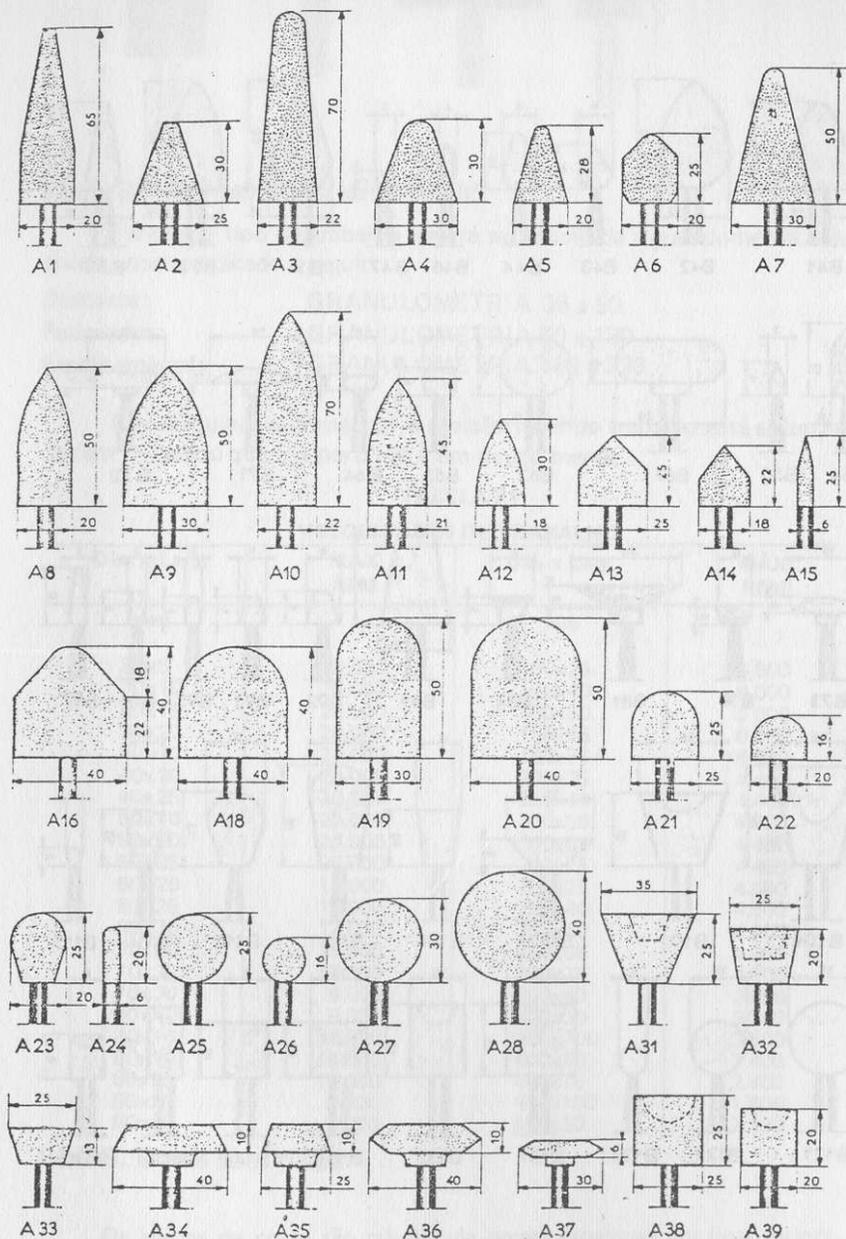


Figura 241. Tabela de formas e dimensões (Tipos mais comuns). Série A.

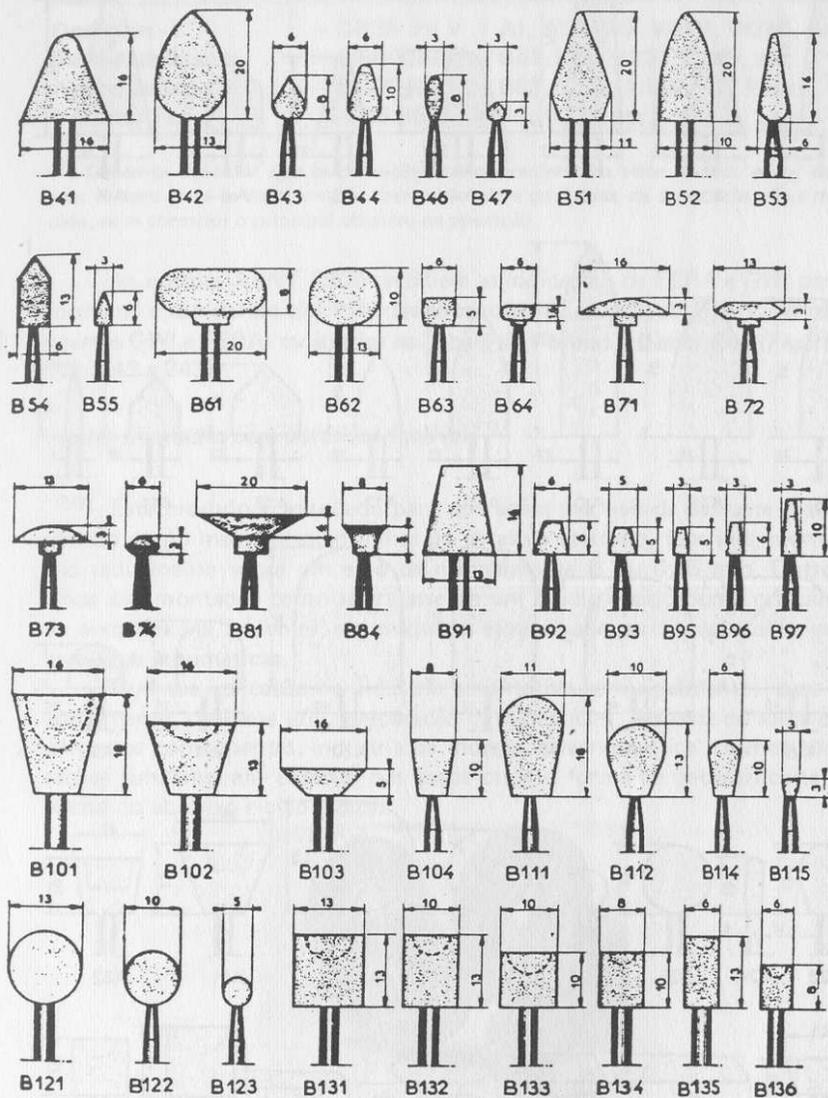


Figura 242. Tabela de formas e dimensões (Tipos mais comuns). Série B.

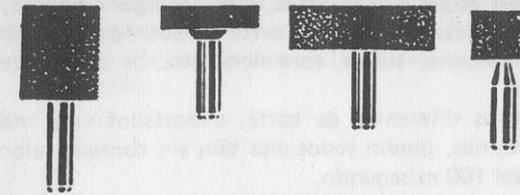


Figura 243. Formas típicas da série C(W).

Para cada tipo de trabalho deverá ser escolhida a granulometria adequada, como indicado a seguir:

- Desbaste: GRANULOMETRIA 36 a 50
- Polimento: GRANULOMETRIA 60 a 120
- Espelhamento: GRANULOMETRIA 150 a 320

Em máquinas automáticas a pressão ideal de trabalho está entre 2-4 kg/cm² – sendo que nas portáteis é um pouco menor.

TABELA 21
VELOCIDADES DE TRABALHO

Dia. x Larg.	MÁX RPM	Dia. x Larg.	MÁX RPM
mm		mm	
30x5	25.000	150x25	6.000
30x10	25.000	150x40	6.000
30x15	25.000	150x50	6.000
30x20	20.000	150x65	6.000
40x10	20.000	150x75	6.000
40x20	20.000	200x25	4.400
40x25	20.000	200x40	4.400
50x10	20.000	200x50	4.400
50x20	20.000	200x65	4.400
50x25	20.000	200x75	4.400
60x20	18.000	250x25	4.000
60x25	18.000	250x40	4.000
60x30	12.000	250x50	4.000
70x20	18.000	250x65	4.000
70x25	18.000	250x75	4.000
70x30	9.000	300x40	3.800
70x40	9.000	300x50	3.800
80x10	18.000	300x100	3.800
80x20	18.000	400x50	2.400
80x25	18.000	400x75	2.400
80x30	9.000	400x100	1.600
80x40	6.000	480x50	2.100

III.2.8. Corte com disco

Os discos de corte são rebolos de pouca espessura em ligas resinóides ou borracha, usadas para cortar materiais de aço, fundição, bronze, latão, etc. de formatos diferentes, barras, tubos, chapas, etc., com grande rapidez, baixo custo e alta qualidade de acabamento.

Em certos metais moles não ferrosos, como as ligas de cobre, continuam sendo usadas as serras de aço, com certa produtividade, porém para aços-liga e aços alto-carbono, vidros, cerâmicas, etc., os discos abrasivos terão maior aplicação.

Existem processos diferentes de corte, executados com máquinas de características próprias, porém todos eles têm em comum velocidades de trabalho de 80 e até 100 m/segundo.

Máquinas de Ataque: são máquinas onde o disco de corte é montado sobre um eixo que possui um braço oscilante e sobre o qual atua o operador para executar o corte da peça.

A eficiência da operação dependerá em grande parte da competência do operador. Uma pressão de avanço muito elevada, motivará o desprendimento dos grãos abrasivos, causando queimas. Uma pressão muito baixa provocará a vitrificação do abrasivo.

O tato e a audição são duas referências de trabalho fundamentais para o operador e dependem de vários fatores: rigidez do conjunto peça-máquina, potência da máquina, características da peça trabalhada, sistema de fixação, etc.

Os diâmetros dos discos oscilam entre 250 e 400 mm. Para cortes de barras ou tubos de grande porte são usadas máquinas com discos de 500 mm de diâmetro (Figura 244).

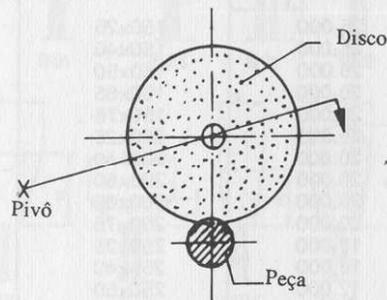


Figura 244: Máquina de Ataque

Máquinas Horizontais: são máquinas projetadas para fazer cortes compridos de alta qualidade. Neste processo, tanto o cabeçote porta-discos como a peça podem movimentar-se horizontalmente.

Em algumas máquinas horizontais somente o cabeçote porta-disco movimentar-se transversalmente através da peça, avançando em profundidade após cada passagem. O corte é feito em ambas as direções, pois possuem motores reversíveis. São muito utilizados nas pedreiras, montadoras de telhas, ferramentarias para corte de chapas e perfis grandes, etc.

Estas máquinas trabalham com discos de grandes diâmetros, até 800 mm.

Existem máquinas com cabeçotes fixos, nas quais a mesa porta-peças movimentar-se horizontalmente. Este tipo é de menor porte e utiliza discos também menores, com diâmetros variando entre 250 e 350 mm (Figura 245).

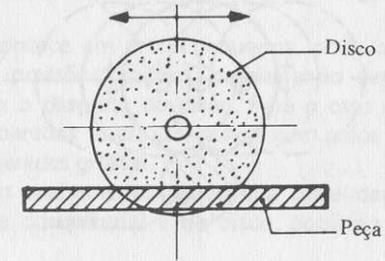


Figura 245: Máquina Horizontal

Máquinas Rotativas: são máquinas em que o elemento a ser trabalhado gira, possibilitando o corte de peças de grandes diâmetros com discos relativamente pequenos. Este sistema é muito utilizado para cortar tubos de grandes diâmetros (Figura 246).

Existem máquinas desmontáveis, onde o cabeçote porta-discos gira ao redor do tubo mediante dispositivos acoplados no mesmo.

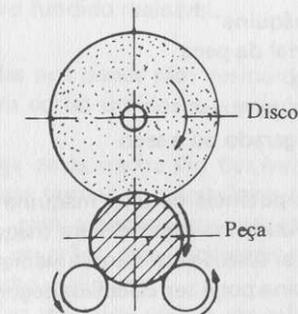


Figura 246: Máquinas Rotativas

Máquinas Oscilantes: são máquinas automáticas, com cabeçotes porta-discos oscilantes. O avanço é hidráulico, com compensação automática do desgaste do disco abrasivo e com mecanismos especiais de sujeição das peças (Veja Figura 247).

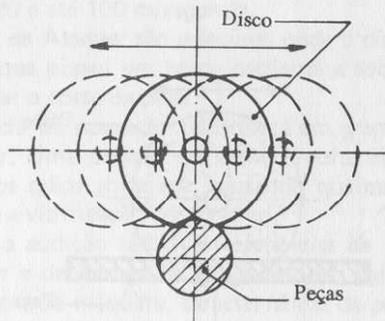


Figura 247: Máquinas Oscilantes

Este processo diminui a superfície de contato entre o disco e a peça e aumenta a capacidade de corte de grandes diâmetros com discos de pequenos diâmetros. Podem cortar peças de diâmetro até 200 a 300 mm. Os discos utilizados são de diâmetros grandes, oscilando entre 400 e 800 mm.

Especificações dos discos abrasivos

A especificação dos discos de corte dependerá de vários fatores, descritos a seguir:

- Potência da máquina
- Tipo de material da peça
- Seção de corte
- Acabamento superficial
- Trabalho refrigerado ou a seco

Quanto maior for a potência de uma máquina de corte, maior dureza poderá ter o disco utilizado na mesma. Para máquinas de baixa potência serão utilizados em geral discos com dureza média ou baixa.

A potência da máquina pode ser calculada segundo a fórmula:

$$P(\text{kW}) = K \cdot D \text{ (mm)} \text{ sendo } \begin{cases} K = 0,2 \text{ para aços redondos} \\ K = 0,13 \text{ para barras fundidas} \\ K = 0,1 \text{ para barras de latão, bronze, etc.} \\ D = \text{diâmetro peça em mm.} \end{cases}$$

Dependendo do material utiliza-se um ou outro tipo de grão abrasivo, com diferentes durezas para cada caso. Para materiais duros aplicam-se discos moles e vice-versa.

Para cortes com grandes áreas de contato usamos discos moles e para áreas de contato menor usamos discos mais duros.

É importante considerar o comprimento do arco de contato entre disco e peça, por ser este o que determina o comprimento do cavaco produzido. Em áreas grandes são produzidos cavacos grandes, os quais provocam um superaquecimento dos grãos abrasivos reduzindo o poder de corte dos mesmos.

O contrário acontece em arcos pequenos, onde os grãos aderem-se mais à peça por ter pressões maiores, ocasionando desprendimento dos mesmos e acelerando o desgaste do disco. Para o caso de corte de tubos é aconselhável, para paredes finas, usar discos com grãos mais finos do que no caso de tubos de paredes grossas.

A qualidade do acabamento superficial dependerá principalmente destes fatores: dureza do material e do disco, potência da máquina e espessura do disco.

Quanto maior a quantidade de calor gerado maiores rebarbas serão produzidas nas superfícies da peça e maiores quantidades de material precisarão ser removidas. Daí a importância da escolha do refrigerante.

Excessos de espessura nos discos produzirão temperaturas excessivas e desnecessárias, que facilitam a existência de rebarbas no corte.

Tipo de grão

Os grãos utilizados na fabricação de discos são:

- Carbureto de Silício — para materiais de ferro fundido cinzento e outros materiais não metálicos e não ferrosos.
- Óxido de Alumínio — para aços em geral, ferro fundido nodular e ferro fundido maleável.

As ligas utilizadas nos discos são: resinóide e borracha. As ligas de borracha são usadas em cortes úmidos e a resinóide em cortes úmidos ou secos.

Os discos em liga de borracha são flexíveis, resistentes e permitem um corte de precisão em termos de paralelismo e livre de rebarbas. Têm o inconveniente de que, com aquecimentos pequenos, amolecem perdendo rendimento, soltando os grãos com facilidade e desprendendo o cheiro característico de borracha queimada.

Os discos com liga resinóide podem ser reforçados com uma ou várias telas, em função dos esforços laterais a que são submetidos e as diferentes velocidades de corte.

As telas são colocadas internamente para cortes de materiais sensíveis ao calor, pois as telas externas, devido ao atrito, provocam aumento de temperatura que prejudica a qualidade superficial da peça.

A observação do perfil de um disco, depois de um tempo de trabalho, pode fornecer indicações muito interessantes para avaliar a qualidade e, caso necessário, corrigir a especificação. Ver Figura 248.

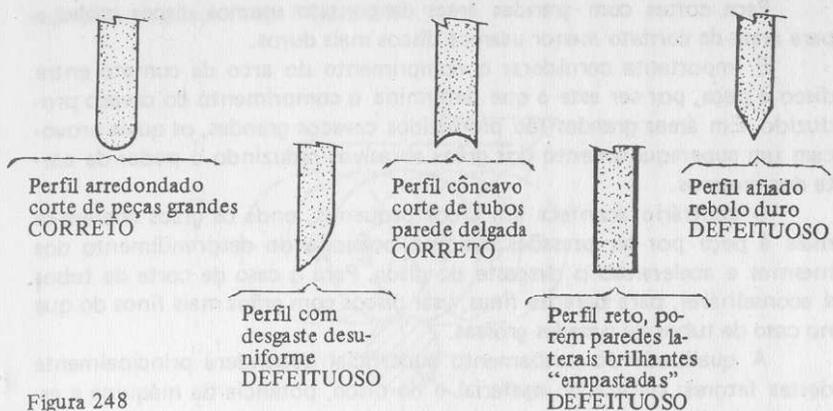


Figura 248

TABELA 22. ESPECIFICAÇÕES RECOMENDADAS

Material	Uso Geral (80 m/seg.)	Material	Corte Metalográfico
Aços	A 30 RB	Aços Carbono	A 46 PB
Ferro Fundido	C 30 SB	Aços Alta liga	AA 46 OB
Não ferrosos	C 24 QB	Não Ferrosos	C 36 NR

III.2.9. Jato Abrasivo.

São poucas as ocasiões em que o grão abrasivo livre é usado a seco. Os agentes umectantes são vários: água, na indústria de marmoraria; óleo, querosene e outros.

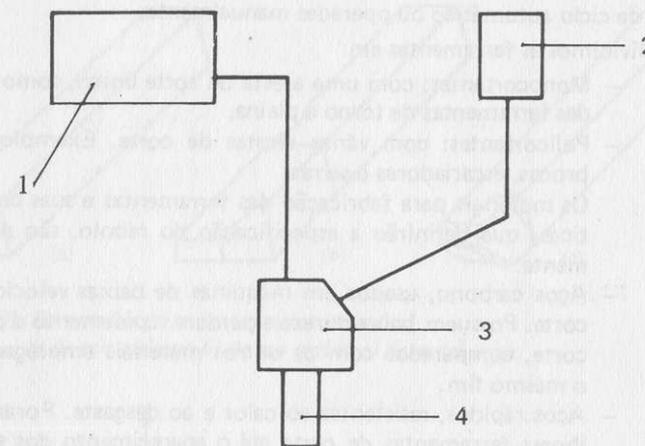
Um comentário especial merece a nova tecnologia desenvolvida nos últimos anos (1984), que faz o corte com jato de água e abrasivo. Devido às perspectivas que oferece e a importância técnica do processo, damos algumas características do sistema PASER que permite o corte sem geração de calor conjuntamente com um acabamento superficial de alta qualidade.

No esquema mostrado a seguir vemos a bomba de altíssima pressão (3.000/4000 kg/cm²) que projeta a água num bocal que absorve por efeito venturi o abrasivo (quartzo é o preferido pelo baixo custo) e projeta o conjunto através de um bico de safira.

Como exemplo da capacidade de corte com o sistema PASER damos a tabela:

Material	Espessura mm	Velocidade mm/min.
Aço carbono	25,4	200
Aço inox	32	150
Aço ferramentas	76	38

O consumo do sistema é da ordem de 7/8 kg abrasivo e 60/70 de água, por minuto (veja Figura 249).



- 1 - Bomba alta pressão
- 2 - Reservatório abrasivo
- 3 - Câmara injeção abrasiva
- 4 - Bico de corte

Figura 249: Sistema PASER. Corte por jato de água e abrasivo.

III.2.10 Afição

Entendemos por afiação a operação efetuada nas ferramentas de corte para dar forma e perfilar as arestas das ferramentas novas (na última fase do processo de fabricação) e/ou reproduzir o perfil das desgastadas pelo uso.

As grandes indústrias possuem em geral um centro ou departamento de ferramentaria que trabalha exclusivamente na restauração do contorno e perfil de corte das ferramentas desgastadas, usando rebolos de forma e características adequadas para cada tipo de ferramenta, montadas em máquinas de ciclo automático ou operadas manualmente.

Dividimos as ferramentas em:

- Monocortantes: com uma aresta de corte único, como no caso das ferramentas de torno e plaina.
- Policortantes: com várias arestas de corte. Exemplo: fresas, brocas, escariadores e serras.

Os materiais para fabricação das ferramentas e suas características, que definirão a especificação do rebolo, são principalmente:

- Aços carbono, usados em máquinas de baixas velocidades de corte. Possuem baixa dureza e perdem rapidamente o poder de corte, comparados com os outros materiais empregados para o mesmo fim.
- Aços rápidos, resistentes ao calor e ao desgaste. Foram as melhores ferramentas de corte até o aparecimento dos sinterizados. Utilizam-se freqüentemente pastilhas deste material, soldadas em suportes de aço carbono para diminuir o custo.
- Sinterizados ou metais duros obtidos por processos de prensaagem e temperatura, constituem as ferramentas mais adequadas para trabalhar em alta velocidade, pois são capazes de manter as suas características em temperaturas de até 900°C . Por razões econômicas utilizam-se em forma de pastilhas soldadas ou parafusadas num suporte de aço.
- Os sinterizados especiais que constituem a última geração de ferramentas de corte subdividem-se por sua vez em dois grupos:
 - Pastilhas cerâmicas
 - Superabrasivos sinterizados

No primeiro caso trata-se de pastilhas sinterizadas de alumina α e carbureto de Titânio e no segundo de Nitreto Cúbico de Boro ou Diamante sintético que, sempre seguindo o mesmo princípio de sinterização, são submetidos a alta pressão e temperatura em presença de metais adequados até formar uma liga cerâmica.

Neste tema trataremos unicamente dos três primeiros tipos de ferramentas, pois o último corresponde aos **superabrasivos** e algumas especificações e recomendações já são expostas no tema para eles dedicado.

Estes três primeiros tipos de ferramentas podem ser usinadas com abrasivos OA e SiC sendo que os metais duros ou sinterizados clássicos apresentam as maiores dificuldades, devido à sua dureza, mesmo usando SiC e sendo, portanto, recomendável o uso de rebolos de diamante.

Nas Figuras 250 e 251 vemos as formas usuais de ferramentas monocortantes e a variação da dureza em função de temperatura, dos diferentes tipos das mesmas, que permite definir claramente o campo de aplicação em função das velocidades de corte e tipo de material a ser usinado considerando principalmente a sua dureza.

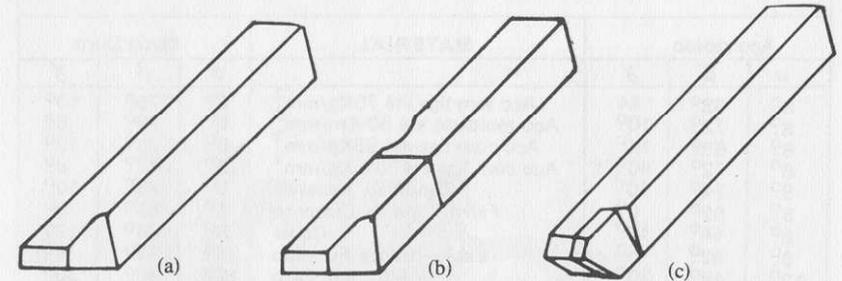


Figura 250: Formas das ferramentas monocortantes:
a) de aço carbono b) de aço rápido c) de metal duro.

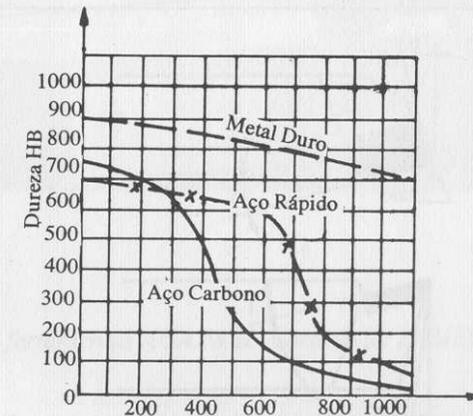


Figura 251. Temperatura de teste C. Comportamento da dureza dos aços carbonos, aços rápidos e metais duros em funções da temperatura.

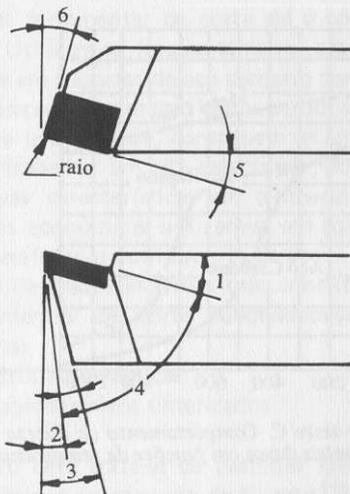
Afição de ferramentas monocortantes

As ferramentas monocortantes são aquelas que têm somente uma aresta de corte. A eficiência desta ferramenta dependerá não somente do material que a constitui, como também do formato da aresta de corte.

Estas ferramentas são fabricadas com aço rápido ou com pastilhas de metal duro, soldadas ou simplesmente parafusadas sobre uma barra retangular de aço comum.

Dependendo do tipo de ferramenta e de sua aplicação, selecionam-se arestas de curvas, inclinadas ou retas. Dentro dos valores especificados os ângulos das arestas de corte devem conservar sua afiação (Tabela 23 e Figura 252). Valores dos ângulos para ferramenta de aço rápido e metal duro.

TABELA 23 - Valores de ângulos nas ferramentas de torneiar						
Aço rápido			MATERIAL	Metal Duro		
α	β	γ		α	β	γ
8°	68°	14°	Aço sem liga até 70Kg/mm ²	5°	75°	10°
8°	72°	10°	Aço moldado até 50 Km/mm ²	5°	79°	6°
8°	68°	14°	Aço com liga até 85Kg/mm ²	5°	75°	10°
8°	72°	40°	Aço com liga até 100 Kg/mm ²	5°	77°	8°
8°	74°	10°	Fundição. maleável	5°	75°	10°
8°	82°	0°	Ferro Fundido Cinzento	5°	85°	0°
8°	64°	18°	Cobre	8°	64°	17°
8°	82°	0°	Latão, bronze Fundido	5°	79°	6°
12°	48°	30°	Alumínio Puro	12°	48°	30°
12°	64°	14°	Ligas de Alumínio	12°	60°	18°
8°	76°	6°	Ligas de Magnésio	5°	79°	6°
12°	64°	14°	Massas prensadas Isolantes	12°	64°	14°
12°	65°	40°	Cauchu	12°	68°	40°
			Porcelana	5°	85°	0°

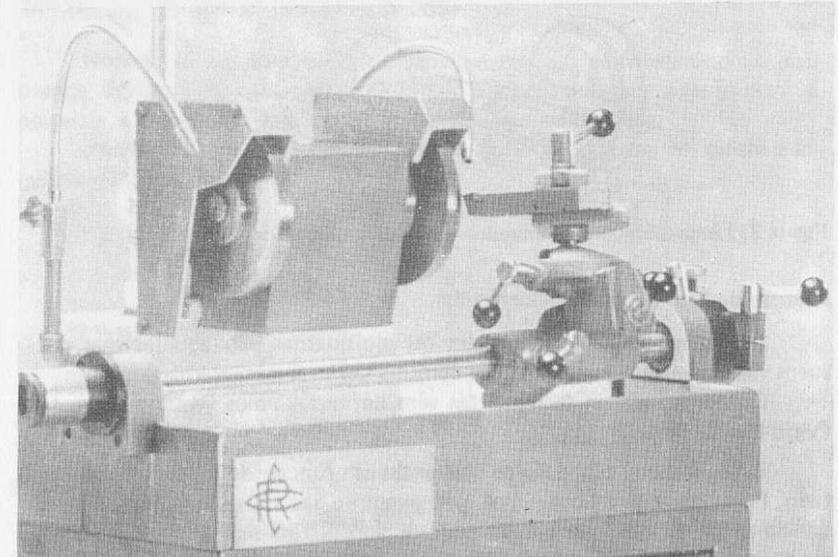


- Ângulos das arestas de corte
 1 = ângulo de ataque
 2 = ângulo de incidência lateral
 3 = ângulo secundário
 4 = ângulo de corte (B) = 90° - L - X
 5 e 6 = ângulos laterais

Figura 252: Ângulos das arestas de corte.

A afiação destas ferramentas é totalmente manual, sendo que o resultado depende da habilidade do operador.

As afiadoras dispõem de suportes orientáveis de ângulos, de modo a dispor a face da aresta a retificar segundo a justa inclinação em relação à superfície do rebolo. Recomenda-se movimentar a ferramenta sobre a superfície do rebolo para evitar desgastes desuniformes da face do rebolo, evitando ou diminuindo as dressagens e também aquecimentos da aresta de corte da ferramenta.



Afiadora para ferramentas AGATA II (Cortesia de FAMECA - SP).

Na afiação das ferramentas de corte é necessário, às vezes, realizar as três operações: desbaste, semi-acabamento e acabamento, utilizando rebolos diferentes em cada operação.

As ferramentas lascadas e muito danificadas, assim como as recém-fabricadas, passam pela operação de desbaste dos ângulos de ataque, ângulos laterais, ângulos de incidência e do raio de ponta.

Quando as ferramentas não estão lascadas, elimina-se o desbaste sendo somente semi-acabadas ou simplesmente acabadas nas pontas (Figura 253).

Material	Tipo de rebolo	Desbaste	Semi-acabamento	Acabamento
Aços Rápidos	RT	AA 46 K6 V	AA 60 J6 V	AA 80 J6 V
	AN-CR	AA 36 K6 V	AA 60 J6 V	AA 80 I6 V
Metal Duro	RT	GC 60 K6 V	GC 80 J6 V	GC 120 I6 V
	AN-CR	GC 60 J8 V	GC 80 J8 V	GC 120 I8 V

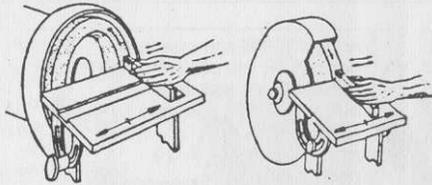


Figura 253: Especificações recomendadas para afiação manual.

Afiação de ferramentas policortantes

As ferramentas policortantes ou multidentes são aquelas que possuem vários dentes iguais. As mais comuns são as fresas, alargadores, etc.

Os dentes destas ferramentas vêm definidos pelos seguintes ângulos (Veja Figura 254):

Estes ângulos têm valores diferentes em função do material a ser cortado. Para aços-liga e aços-duros por exemplo são usados ângulos de incidência entre 4° e 5°; para latão e alumínio utilizam-se ângulos de incidência maiores, oscilando entre 10° e 12°.

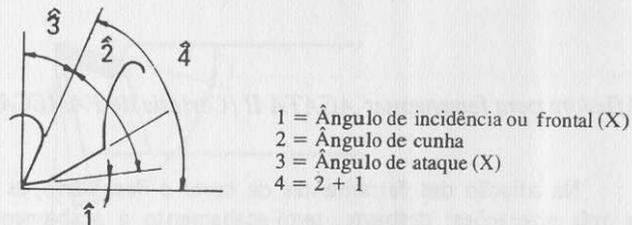


Figura 254: Ângulos dos dentes de uma fresa

A afiação destas ferramentas deverá realizar-se em máquinas especiais ante a impossibilidade de afiá-las manualmente. Nestas máquinas é possível afiar todo tipo de fresas: fresas frontais cilíndricas, fresas angulares, fresas com dentes postigos, fresas cilíndricas, etc.

Afiação de fresas cilíndricas

Na afiação de fresas cilíndricas, estas são presas ou encaixadas num mandril, que é montado entre pontas da máquina afiadora. Quando a fresa é afiada, esta é comprimida manualmente sobre o guia apoio "A" do dente e movimenta-se a mesa portadora da ferramenta à frente do rebolo. Desta forma afia-se sucessivamente todas as faces dos dentes. O formato do rebolo utilizado é copo reto, encontrando-se o eixo do mesmo inclinado num ângulo E, em relação ao eixo da fresa.

Com o fim de conseguir um ângulo de incidência correto, a linha central da fresa será colocada acima da linha central do rebolo, numa distância $h = \frac{d}{z} \operatorname{tg} \alpha'$ (Veja Figura 255).

Note-se que o ângulo de incidência é medido com referência a dois planos, devido à espiral da fresa. O ângulo α é medido sobre a seção normal cortante, e o ângulo α' sobre a seção normal ao eixo da fresa.

Entre os ângulos α , α' e W (ângulo da hélice dos dentes) existe a seguinte relação:

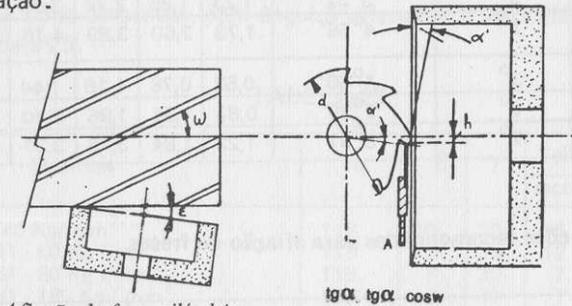


Figura 255: Afiação de fresa cilíndrica

Na tabela 24 e Figura 256 damos os valores da cota "n" em função dos ângulos α e α' , para os diferentes diâmetros de fresas.

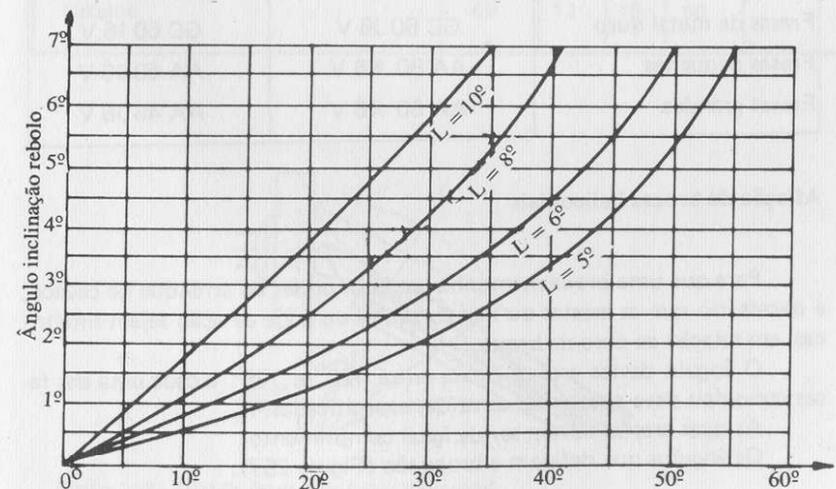


Figura 256: Ângulo da hélice da fresa (w)

TABELA 24. VALORES DE "h" EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO DA FRESA

Ângulo hélice W	Ângulo incidência α	Ângulo s/peça normal ao eixo fresa α'	VALORES DE "h" em "mm"					
			Diâmetro das fresas					
			40	60	90	110	130	150
0°	3°	3°	1,05	1,57	2,36	2,88	3,40	3,90
	5°	5°	1,74	2,61	3,92	4,78	5,67	6,54
	7°	7°	2,44	3,66	5,48	6,70	7,92	9,14
20°	3°	2°49'	0,98	1,47	2,21	2,70	3,19	3,68
	5°	4°42'	1,64	2,46	3,69	4,51	5,33	6,14
	7°	6°35'	2,29	3,44	5,16	6,30	7,45	8,60
45°	3°	2°7'	0,74	1,11	1,66	2,03	2,40	2,77
	5°	3°32'	1,23	1,85	2,77	3,39	4,00	4,61
	7°	4°58'	1,73	2,60	3,89	4,76	5,63	6,49
60°	3°	1°30'	0,52	0,78	1,18	1,44	1,70	1,96
	5°	2°30'	0,87	1,31	1,96	2,40	2,83	3,27
	7°	3°31'	1,23	1,84	3,76	3,37	3,99	4,60

Especificações recomendadas para afiação de fresas

Material	Rebolos RT	Rebolos CR
Fresas de aço rápido	AA 60 K6 V	AA 60 J6 V
Fresas de metal duro	GC 60 J6 V	GC 60 I6 V
Fresas pequenas	AA 80 K6 V	AA 60 J6 V
Fresas grandes	AA 60 K6 V	AA 46 J6 V

Afiação de brocas helicoidais

Para que uma broca mantenha um bom poder de arranque de cavaco, é necessário que as arestas ou fios cortantes do cone de ação sejam simétricas, em relação ao eixo da broca.

O ângulo destas arestas oscila entre 120° e 135° e cada uma das faces conoidais deve apresentar as saídas especificadas.

As duas arestas devem ser de igual comprimento.

Os ângulos que definem a broca são (Figura 257):

- α = ângulo da ponta
- β = ângulo de incidência
- γ = ângulo da hélice

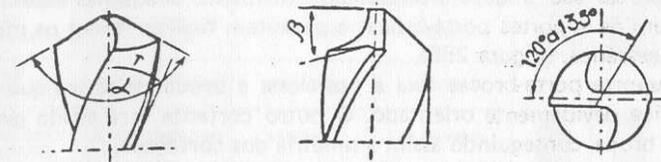


Figura 257: Ângulo de uma broca.

As brocas são fabricadas em aço ferramenta, aço rápido, aços super-rápidos e metais duros. Para diferentes materiais, corresponderam determinados tipos de brocas, com ângulos diferentes e velocidades diferentes. Ver Tabela 25.

TABELA 25.

Materiais	α	β	γ	Velocidades m/min.	
				seco	Refrigerado
Aço até 40 Kg / mm ²	118	10	30	15	25
Aço de 41 - 60 Kg / mm ²	118	10	30	12	21
Aço de 61 - 80 Kg / mm ²	118	8	30	7	15
Aço de 81 - 180 Kg / mm ²	125	8	30	7	15
Aço de 101 a 130 Kg / mm ²	136	6	30	5	7
Alumínio	140	10	37	50	80
Latão	118	12	15	32	48
Bronze duro	118	10	15	18	18
Bakelite	60	12	15	60	

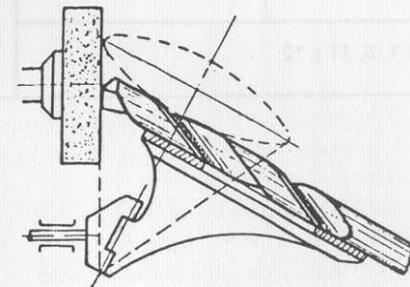


Figura 258: Afiação frontal de broca helicoidal

A afiação da broca influirá no acabamento da superfície do furo, na exatidão das medidas e no rendimento da mesma.

Uma broca gasta produzirá muito aquecimento, devido ao atrito, perdendo a dureza nas arestas de corte.

As brocas são afiadas frontalmente mediante máquinas especiais, que dispõem de suportes porta-brocas e permitem realizar todos os movimentos necessários. (Figura 258).

O suporte porta-brocas fixa e posiciona a broca de forma que um cortante fica devidamente orientado. O outro cortante será afiado girando 180° a broca, conseguindo assim a simetria dos cortantes.

Tal suporte permitirá também um ajuste em profundidade conseguindo desta broca a afiação uniforme dos dois cortantes.

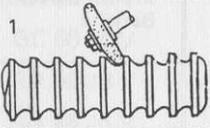
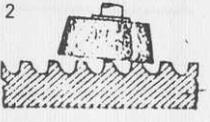
Especificações recomendadas para afiação de brocas

$V_p = 25$ até 33 m/s

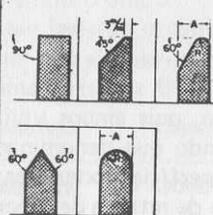
Material	$\phi < 9$ mm	$\phi > 9$ mm
Aço Carbono	AA 120 L6 V	AA 100 K6 V
Aço Rápido	AA 120 K6 V	AA 100 J6 V
Metal duro	GC 80 J6 V	GC 60 K6 V

ESPECIFICAÇÕES RECOMENDADAS PARA AFIAR OUTRAS FERRAMENTAS

AFIAÇÃO DE BROCHAS - ESPECIFICAÇÕES RECOMENDADAS:

OPERAÇÃO	BROCHA PLANA ²	BROCHA CIRCULAR ¹	
AFIAÇÃO ÂNGULO FRONTAL	AA46J6V	AA46K6V	
AFIAÇÃO ÂNGULO SUPERIOR	AA46I6V	AA60I8V	
AFIAÇÃO DO QUEBRA CAVACO	A60P6B	A60Q6B	
*São Utilizados Rebolos Tipo 1, 6, 11 e 12.			

ESPECIFICAÇÕES RECOMENDADAS

APLICAÇÃO		ATE ϕ 200mm	ϕ de 250-300 mm	PERFIS
SERRA DE FITA	AÇOS NORMAIS	A60P6V	A46P6V	
	AÇOS ESPECIAIS	AA60N6V A60N6V	AA60N6V. A60M6V.	
SERRAS ALTERNATIVAS	AÇOS RÁPIDOS SS e HSS	AA60L6V	AA60K6V	
SERRAS ALTERNATIVAS	AÇOS CARBONO	AA60N6V	AA60M6V	
SERRAS CIRCULARES P/ MADEIRA	AÇOS CARBONO	AA60N6V	AA60M6V.	
SERRAS CIRCULARES P/METAIS	AÇOS RÁPIDOS	DR60M6V	DR46L6V	

ESPECIFICAÇÕES RECOMENDADAS

MATERIAIS	ϕ REBOLO mm	DESBASTE	SEMI-ACABAMENTO	ACABAMENTO
AÇO CARBONO	Todos	AA46M6V.	AA60M6V	AA80L6V.
AÇOS RÁPIDOS SS e HSS	Até 100mm	AA54I6V	AA60I6V	AA100I6V.
	> 100mm	AA46J6V	AA54I6V	AA80I6V
METAL DURO	< 100mm	GC60J8V	GC80J8V.	---
	> 100mm	GC54J8V	GC80J8V.	---

III.2.11 Superacabamento e rodagem.

Como o nome genérico indica, esta operação permite o melhor acabamento possível nas peças após a operação de retífica cilíndrica, Centerless ou plana a que foram submetidas.

O superacabamento e a rodagem são métodos parecidos de retificação, pois ambos utilizam limas ou brunidores com granulometrias finas, sendo que denominamos superacabamento quando trata-se de retífica de superfícies exteriores, com as peças em rotação e rodagem quando trata-se de retífica de superfícies interiores de peças estáticas.

Superacabamento

A operação de superacabamento é realizado por uma ou várias limas abrasivas, aplicadas com certa pressão sobre uma ou várias peças em rotação. A rotação das peças oscila entre 15 a 20 m/minuto e a pressão das limas vem a ser em torno de 1 a 5 kg/cm².

Inicialmente as linhas removem as asperezas superficiais que ficaram de operações anteriores e os riscos superficiais diminuem com rapidez, resultando uma superfície lisa e brilhante e sem marcas de retificação.

Para a operação realizar-se com êxito deve-se considerar a interdependência da especificação da lima com a velocidade e pressão adequadas para cada caso.

Nos processos de superacabamento distinguimos conforme a forma operativa:

- Superacabamento de superfícies cilíndricas externas entre pontas (Figura 259)
- Superacabamento sem centros (Figura 260)
- Superacabamento - superfícies internas cilíndricas.
- Superacabamento - superfícies planas.

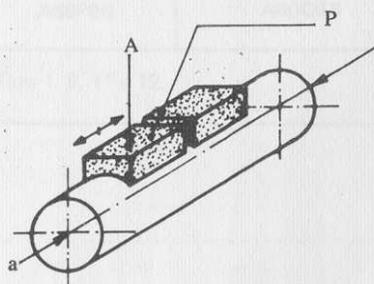
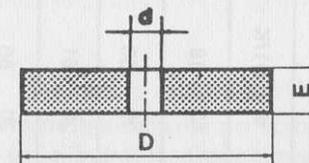


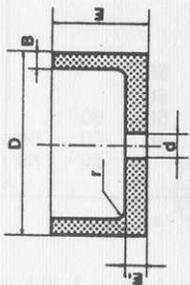
Figura 259: Superacabamento entre pontas.

USO GERAL DE TALHER E AFIADO MANUAL DE FERRAMENTAS EM MÁQUINAS DE PEDESTAL

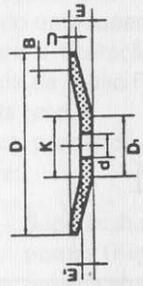
MATERIAL	φ REBOLO MM	DESBASTE	ACABADO	ACABADO FINO
Aço sem Temperatura Ferramentas de Uso manual	< 200	A24Q6V A36P6V	A60M6V	A80M6V
	250-400	A24Q6V A30Q6V	A60M6V	A80M6V
	> 500	A20R6V A24Q6V	A46M6V A60M6V	A60M6V.
Aços Temperados e Aços Rápidos	< 200	AA46J6V AA46M6V	AA60J6V AA60M6V	AA80M6V
	250÷ 400	AA46M6V AA46N6V	AA60K6V	AA80K6V
Metal Duro e Ferramentas com pastilhas de Metal Duro	< 200	GC60J6V	GC80J6V	
	250-400	GC46J6V GC60J6V	GC60J6V GC80J6V	



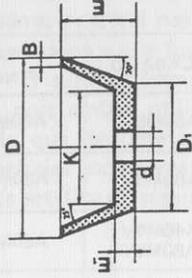
D	E								d
100	10	15	20						10
125		15	20	25					13
150		15	20	25	32				16
175			20	25	32				20
200			20	25	32	40			25
250				25	32	40			30
300				25	32	40	50		35
350					32	40	50		40
400						40	50	60	50
500							50	60	80
600								60	80



D	E	d	B	E
50	32	13	4	6
75	40	20	6	8
100	50	8	8	10
125	60	10	12	
150	80	20	15	15



D	E	d	D1/K	B	E1	U
75	8	13	18	4	6	2
100	12	20	36	5	7	3,2
125	14	20	61	6	7	3,2
150	15	20	66	8	9	3,2
175	18	20	70	8	11	3,2
200	19	20	90	10	12	3,2



D	E	d	D1	K	B	E
50	25	13	32	25	4	6
75	30	20	53	45	5	8
100	35	20	75	65	6	10
125	45	20	92	80	6	12
150	50	20	114	100	7	12

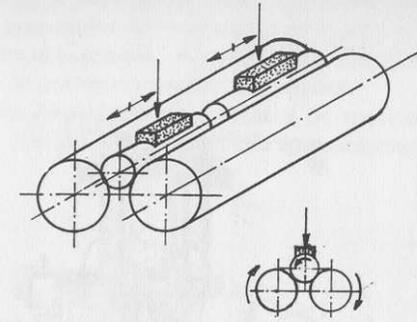


Figura 260: Superacabamento sem centros.

Tanto no superacabamento de superfícies cilíndricas externas entre pontas como no superacabamento de superfícies internas, os processos são similares aos de retíficas cilíndricas externas e internas já descritos em capítulos anteriores, com a única diferença que o cabeçote porta-rebolos é substituído pelo das limas abrasivas.

O superacabamento sem centros é o mais utilizado hoje em dia, especialmente nas indústrias de rolamentos. Os roletes após as operações de acabamento passam por este processo de superacabamento.

Rodagem ou "honing"

Esta operação consiste basicamente no acabamento superficial das superfícies internas de um cilindro, mediante limas ou brunidores montadas num mandril de forma cilíndrica (Figura 261).

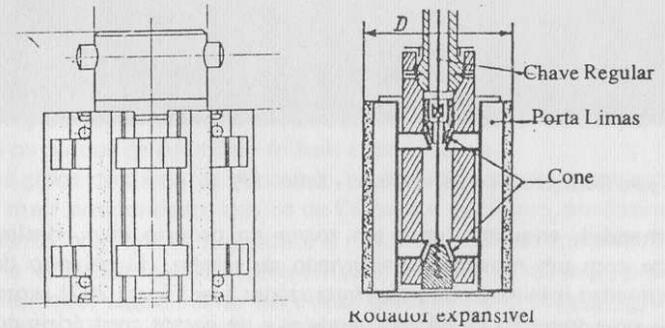
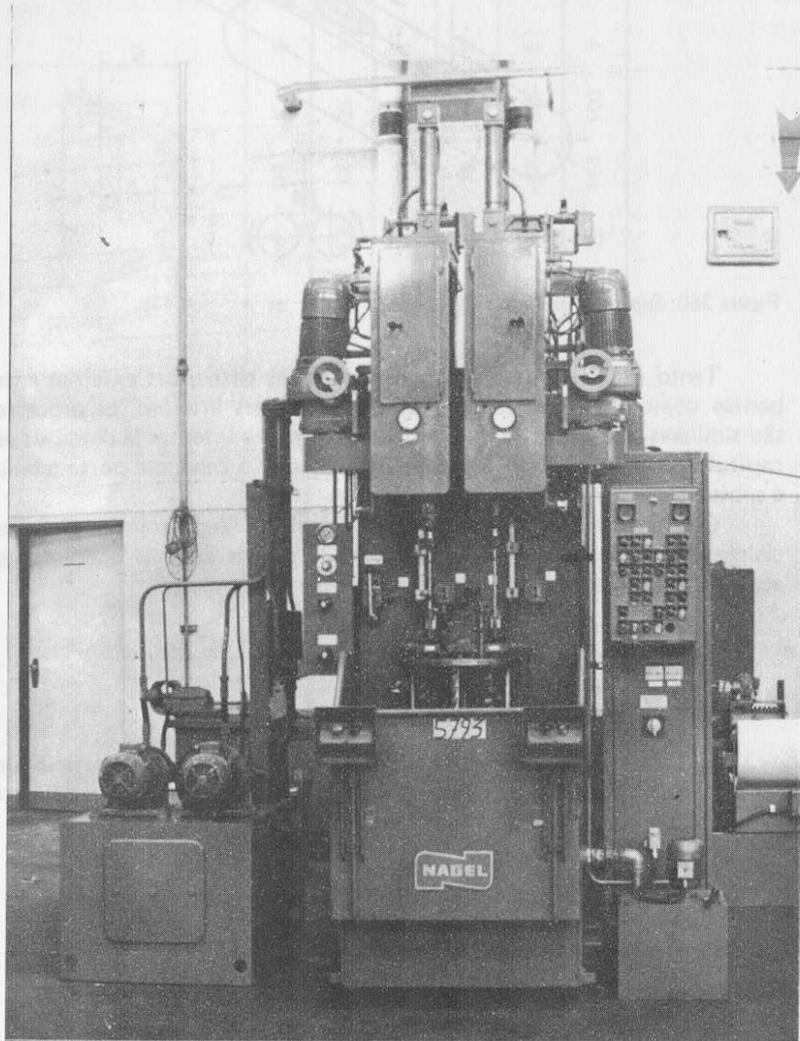


Figura 261: Cabeçote porta-brunidores



Brunidora para Rodagem (Cortesia de Nagel - Salto - SP)

O mandril, enquanto roda em torno do próprio eixo, desloca-se axialmente com um movimento alternado de vaivém. O balanço desses dois movimentos origina os traços entrecruzados (ver Figura 262) representados por uma sucessão de hélices paralelas e de passos contrários que se cortam sobre si mesmo formando ângulos aproximados a 30° .

O mandril opera através de um cone, cujo movimento força para fora as cunhas sobre os brunidores. O movimento do cone é acionado mecânica, hidráulica ou pneumáticamente. A pressão nos brunidores é dado pelo cone e transmitido às cunhas de pressão individuais.

Os valores das velocidades de rotação e de translação oscilam entre 15 e 60 metros por minuto e as pressões são aproximadas a 8 kg/cm^2 .

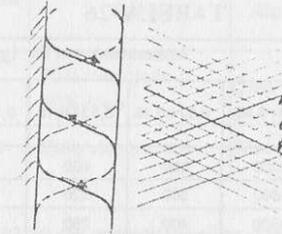


Figura 262: Movimentos relativos e cruzamento da rugosidade

Especificação do abrasivo a utilizar

Para determinar as especificações das limas deve-se ter em consideração os seguintes fatores.

- Material a retificar
- Quantidade de material a retirar
- Acabamento superficial requerido
- Tipo de resinagem e qualidade superficial
- Dureza do material
- Tipo de refrigerante

Atendendo estes fatores, seleciona-se o tipo de grão, granulometria da liga e dureza das limas a utilizar na operação.

Grãos abrasivos

Os grãos abrasivos mais utilizados são o Carbureto de Silício verde e preto, e os óxidos de Alumínio friáveis e semifriáveis.

Os grãos de óxido de Alumínio, como já foi extensamente comentado, são mais arredondados que os de Carbureto de Silício, produzindo um acabamento com menor rugosidade e maior remoção de material. Porém, devido a esta configuração geométrica e à maior tenacidade, provocam freqüentemente aquecimento nas peças. Embora a diferença de tenacidade entre os dois abrasivos diminui sensivelmente em granulometrias acima de 320 o SiC continua oferecendo maior poder de corte devido à sua dureza superior. Por este motivo é o mais utilizado em superacabamento.

Tamanho do grão

Dependerá principalmente da rugosidade desejada e da qualidade e dureza do material a retirar da peça.

Na Tabela 26, em função da rugosidade, indicamos a granulometria adequada para uma primeira escolha.

TABELA 26

Durezas do Material	Acabamento em Ra (μ)						
	0,02÷0,03	0,04÷0,06	0,07÷0,10	0,12÷0,16	0,18÷0,25	0,30÷0,40	0,44÷0,60
< 40 HRc	1.200—1.600	1.000	600	400	280	220	150
40—60 HRc	1.000—1.200	800	500	320	240	180	120
> 60 HRc	1.000—1.200	600	400	280	220	150	100

Granulometrias e função da dureza do material a trabalhar e rugosidade desejada.

Durezas

As durezas para limas em ligas vitrificadas oscilam entre J e N e para limas em ligas resinóides entre M e P

Para granulometrias muito finas empregam-se durezas menores às descritas anteriormente.

Estruturas

As estruturas utilizadas são médias entre 6 e 8. Estruturas muito abertas aumentarão o desgaste das limas que tenderão a desgastar-se irregularmente. Uma porosidade excessiva pode provocar trinca e até a quebra da própria lima por pressão dos cavacos sobre ela. Nestes casos é melhor usar limas menos duras e mais densas.

Ligas

As ligas vitrificadas permitem a fabricação de limas de alta rigidez conseguindo a remoção de material projetada dentro de limites muito precisos.

As ligas resinóides têm estrutura mais densa, prejudicando de um modo geral a saída de cavacos, produzindo aquecimentos, se a quantidade de material a remover for grande. São aconselháveis em casos de superacabamento final.

Refrigerante

A qualidade do líquido refrigerante terá uma importância na qualidade da rugosidade obtida.

Numa tabela orientativa pode-se sugerir:

Material	Aço Temperado 62 HRc	FoFo	Alumínio-Bronze-Cobre
Refrigerante	Petróleo	70% Petróleo 30% óleo	Óleo
Características	Baixa viscosidade	Meia viscosidade	Alta viscosidade

Tabela orientativa de especificações padrão

Material	Seqüência de limas				ACABAMENTO (Ra)
	1	2	3	4	
Cromo duro	AA 500 KV	AA 600 KV	GC 800 LV	GC 1.000 LV	0,02 — 0,04 μ
Aço \geq 60 HRc	AA 600 LV	GC 800 LV	GC 1000 KV	GC 1200 KV	0,02 μ
Aço inoxidável	AA 500 MV	AA 600 LV	AA 800 KV	GC 1000 LV	0,03 μ
Ferro fundido	CGC 320 NV	CGC 500 NV	CGC 600 LV	GC 800 LV	0,04 μ

III. 2.12 Rebolos com Superabrasivos Operações - Especificações

Do ponto de vista mecânico, as operações realizadas com rebolos superabrasivos não apresentam diferenças com as estudadas, até agora, para os rebolos convencionais. As características dos superabrasivos, como dureza, reatividade química, estabilidade térmica e, especialmente, alto preço, fazem com que sejam observados alguns parâmetros específicos em cada operação e que se excluam de outras.

A seguir veremos os principais fatores a serem considerados para rebolos de diamante e NCB (Nitreto cúbico de Boro ou CBN), cujas vantagens principais são: o elevado desempenho na retífica de alta precisão devido à sua dureza, manutenção do perfil durante maior tempo que os abrasivos convencionais e rentabilidade de operação muito elevada.

Sugerimos a leitura do tema "Superabrasivos Diamante e NCB - Capítulo I" e dos temas "Dressagem" e "Lubrificantes - Capítulo III, para melhor visão de conjunto.

Como introdução, lembramos alguns conceitos válidos para Diamante e NCB:

Granulometrias

FEPA Diamante NCB		ASTM-E11 (malhas)	DINB48	Uso orientativo
D 46	B 46	325/400	D 50	Acabamento
D 54	B 54	270/325		
D 64	B 64	230/270		
D 76	B 76	200/230	D 70	Semi-acabamento
D 91	B 91	170/200		
D 107	B 107	140/170		
D 126	B 126	120/140		
D 151	B 151	100/120	D 180	Desbaste
D 181	B 181	80/100		
D 252	B 252	60/80		

Concentração

DTE.	Borazon	Qt/cm ³	1qt = 0.205g
25	60	1,1	
50	120	2,2	
75	180	3,3	
100	240	4,4	
125	300	5,5	
150	360	6,6	
175	420	7,7	

Reatividade e dureza

	NCB	Diamante	OA	SiC
Dureza Knoop	4500	8000	2200	2500
Reativo a (ou alta temperatura)	Água	Oxigênio Ferro	-	Ferro

Máquinas

As operações com rebolos superabrasivos requerem máquinas e dispositivos de montagem de alta rigidez e precisão. As tolerâncias dimensionais de montagem do rebolo têm uma posição de tolerância correspondente a acoplamentos H/h em qualidades H6 para o furo e h5 (mínimo) para o eixo.

Rebolos diamantados

Os rebolos diamantados encontram a sua principal aplicação nas operações de retífica tangencial interna e nas operações de afiação de ferramentas manuais ou automáticas, principalmente de carburetos sinterizados. A usinagem de peças cerâmicas, porcelana, vidro, corte de pedras, concreto e refratários, complementam o campo de trabalho. As variações de qualidade dos lotes de diamante natural e a possibilidade de controlar até a forma do grão do sintético fizeram com que os fabricantes adotassem cada vez em maior escala, este último. Na Tabela 27 aparecem os tipos de diamante mais usados atualmente e suas aplicações mais comuns.

TABELA 27

Tipo de diamante	Uso/Características operacionais
D "normal"	Carburetos — em seco ou úmido
CN D — com revestimento níquel	Carburetos limitadamente, Aço ou Metal em seco ou úmido
CC D — com revestimento cobre	Carburetos em seco
CNF D — com revestimento níquel	Carbureto, grão mais fiável — operação em úmido
CNA D — com revestimento níquel	Carburetos com relativa alta quantidade de aço — operação em seco ou úmido
CD D — com revestimento níquel	Grão mais arredondado, mais "tenaz" para ligas metálicas e/ou operações severas

Os diamantes podem ser revestidos, mediante tratamentos químicos especiais, com uma quantidade de níquel ou cobre de até 50/60% em peso. Este recobrimento tem por objetivo principal, moderar a transmissão de calor para a liga, evitando uma rápida degradação da mesma, o que encurtaria a vida útil do rebolo. O objetivo secundário é melhorar a adesão grão-liga, tanto no caso de ligas resinóides como para as metálicas. Todos os tamanhos de grãos até o correspondente à malha 240 são suscetíveis de revestimento.

Tipos de ligas

As ligas mais usuais para rebolo diamantados são a resinóide e a metálica. As ligas vitrificadas foram introduzidas em 1945 e não tiveram grande repercussão, provavelmente pelas dificuldades do processo de fabricação.

As ligas resinóides caracterizam-se por um corte rápido e frio, enquanto as ligas metálicas têm uma vida superior às resinóides, com alta resistência ao desgaste. Num quadro comparativo, podemos descrever:

Liga	Aplicações
— Resinóide	— w/dia, carburetos sinterizados, operações de precisão — em seco ou úmido
— Metálica	— para trabalhos com exigências de manutenção do perfil, operações manuais — sempre em úmido para pedras, cerâmica, vidro
— Vitrificada	— efeito intermediário entre as duas procedentes. Afiação de ferramentas monoponta — preferivelmente em úmido (praticamente sem uso).

Nota: Para complementar o conhecimento das ligas ver também Capítulo III-Fabricação

Concentração

Juntamente com a dureza, a concentração é a outra variável capaz de afetar definitivamente o resultado da operação. A concentração 100 é considerada a melhor para qualquer tipo de trabalho, para uma rápida e alta remoção.

Para retífica mecânica de pequenas áreas de contato é recomendável a concentração 75. Uma sugestão inicial para diferentes condições de retífica está na Tabela 28, que, acompanhada das granulometrias, já constitui a primeira escolha de especificação.

TABELA 28

Concentração	Aplicação	Granulometria
100 – 125	c/refrigeração retífica interna rebolos pequenos	80/150
75	retíficas: plana, cilíndrica exterior, pequenas áreas de contato — Em seco	120/150
50	rebolos copo largas áreas de contato	200/320
25	baixa remoção superacabamento	150/200/320

As concentrações indicadas correspondem principalmente a rebolos em liga resinóide. Para ligas metálicas (bronze) as concentrações usuais variam entre 75 e 100. A concentração limite para rebolos diamantados é 125.

Refrigeração

A retífica ou afiação com rebolos diamantados deve ser, sempre que possível, refrigerada. A vida útil do rebolo fica bastante reduzida se usado em seco. Uma aplicação intermitente do refrigerante submete a liga à mudanças violentas da temperatura, que afetam sensivelmente a sua resistência mecânica, sem esquecer que em caso de retífica de carburetos sinterizados estas mudanças também prejudicam as características da peça.

Formas típicas dos rebolos e discos diamantados (Válidas também para rebolos em NCB)

Na Figura 263 mostramos algumas das formas padronizadas de rebolos diamantados e NCB. As partes escuras correspondem à camada diamantada (ou em NCB), cuja espessura pode variar entre 1,5 e 3mm, dependendo do tipo de rebolo e operação.

O núcleo ou alma do rebolo, como já foi exposto no Capítulo II – Fabricação, pode ser de vários materiais, porém o tipo mais usado é à base de alumínio-resina, que permite uma dissipação eficiente do calor gerado durante a operação, além de baixa densidade, contribuindo com sua baixa massa para um perfeito balanceamento do rebolo.

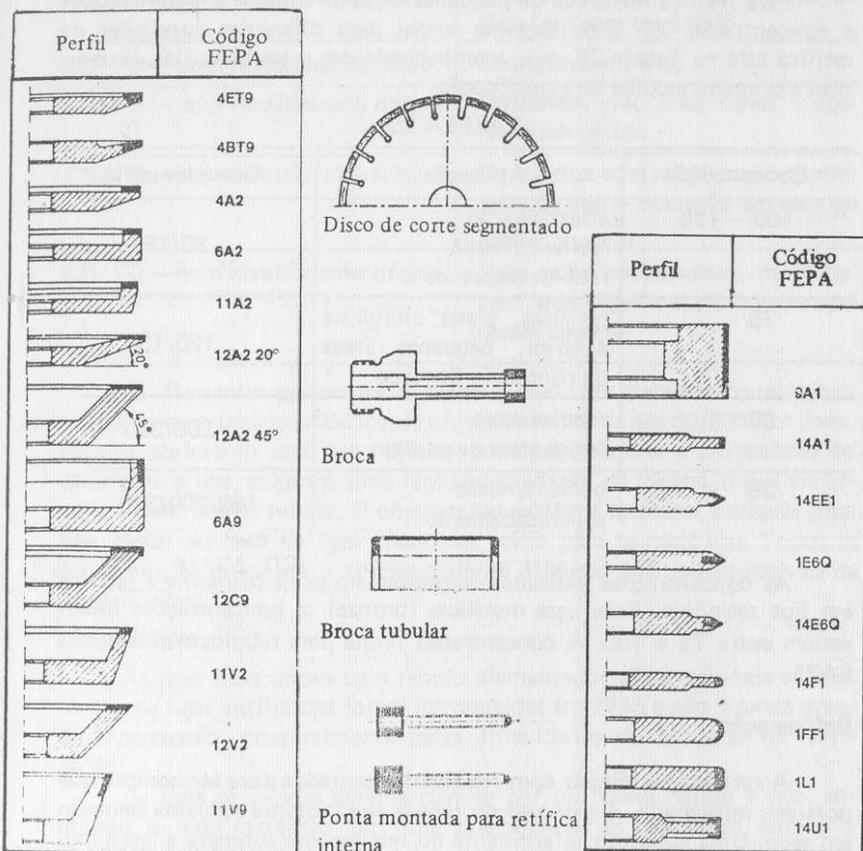


Figura 263: Rebolos. Diamantados e NCB.

Especificações para Rebolos Diamantados

As especificações dos rebolos com superabrasivos indicam por ordem de colocação: tipo de grão, tamanho (granulometria), dureza, concentração e liga.

As especificações mostradas na Tabela 29 são para carburetos sinterizados.

TABELA 29

Operação	Material (*)	Especificação rebolo
Afição Manual e Afição Mecânica	Ferramentas Ponta Única	
	<ul style="list-style-type: none"> – Desbaste – úmido – Desbaste – seco – Acabamento – úmido – Acabamento – seco 	CND 100 N 100 B CCD 100 N 100 B CND 220 P 75 B CCD 220 P 75 B
Afição Mecânica	Ferramentas Policortantes (Serras, Fresas, Brocas, etc.)	
	<ul style="list-style-type: none"> – Desbaste – úmido – Desbaste – seco – Acabamento – úmido – Acabamento – seco 	CND 100 N 100 B CCD 100 R 100 B CND 220 N 100 B CCD 220 R 100 B
Retífica	Superfícies	
	<ul style="list-style-type: none"> – Desbaste – úmido – Desbaste – seco – Acabamento – úmido – Acabamento – seco 	CND 120 N 100 B CCD 120 N 100 B CND 240 P 100 B CCD 240 P 100 B
Retífica Interna	Úmido	CND 150 N 100 B
Brunimento Rodagem	Úmido	D 400 L 50 B
Corte		CND 150 R 100 B

(*) Para combinações: Carburetos/Aço, com mais de 30% aço, usar sempre diamante tipo CNA.

Condições de trabalho

1. Velocidade de corte – Vp em m/s.

Operação	Vp em m/s	
	Resinóide	Metálica
Úmido	20 – 25	12 – 20
Seco	15 – 20	10 – 15

2. Avanço – Avanço em 1/100 mm por curso ou passagem.

Granulometria	Operação		
	Retificação mecânica vel. mesa 0,3-3 mm	Retificação plana 10-20 m/m (*)	Retificação cilíndrica 0,5-1,5 m/m
230 – 270	1	0,5 – 1	0,5 – 1
120 – 140	1 – 3	1 – 2	1 – 2
100 – 120	2 – 5	1 – 3	1 – 3

(*) Avanço transversal 1/3 : 1/5 da espessura do rebolo.

O acúmulo de resíduos da retificação precisa ser retirado para permitir um trabalho correto do grão. Da mesma forma que é feito no caso dos rebolos com abrasivos convencionais, para os rebolos diamantados também é preciso "dressar" o rebolo em algumas ocasiões. Para este fim usam-se limas em especificações "C", em granas finas e durezas baixas que, aplicadas manualmente, limparam a superfície do rebolo e deixarão expostos os grãos de diamante novamente para um trabalho eficiente (Ver Tema "Dressagem" e "Recomendações" neste Capítulo).

Rebolos de nitreto cúbico de boro (NCB ou CBN)

As características do NCB fazem dele um complemento do diamante no campo dos superabrasivos. Não reage com o Fe, o que permite a retificação de FoFo e até Aços Liga de extrema dureza com rendimentos inatingíveis comparados com os obtidos com os abrasivos convencionais OA e SiC.

Os revestimentos com 60% de Ni em peso são adequados para ligas resinóides. As granulometrias disponíveis e as concentrações usuais já foram indicadas na primeira parte deste tema. A este respeito devemos notar que a concentração para NCB 240 é a mesma que a 100 para diamante, equivalendo a 24% de volume de NCB no revestimento.

As concentrações típicas para rebolos em liga resinóide são:

- 120 equivalente a 12% de NCB no revestimento
- 180 equivalente a 18% de NCB no revestimento
- 240 equivalente a 24% de NCB no revestimento

Para ligas vitrificadas as concentrações são superiores, oscilando entre 240 e 400, combinando, em geral, o NCB com OA branco e às vezes com SiC verde.

Considerando as aplicações, as concentrações mais freqüentes são:

Concentração	Aplicação
120 – 180	Retífica plana, Retífica cilíndrica, afiação, uso geral
125 – 150	Afiação, baixa remoção
150 – 175	Pequenas áreas de contato, corte, alta remoção
180 – 240 ou mais	Retífica interna, alta precisão, rebolos vitrificados

Aqui, como no caso dos rebolos diamantados, a concentração tem uma importância definitiva no rendimento do rebolo. No gráfico da Figura 264 observa-se a variação do fator "G" em função da concentração para uma determinada operação, mantendo as outras condições de trabalho constantes.

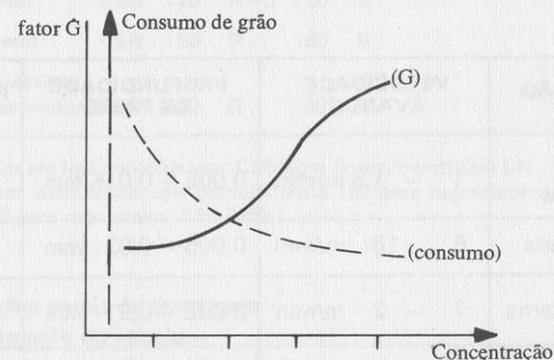


Figura 264

Durezas e granulometrias

Como regra geral, deve usar-se o rebolo mais duro possível sempre que não prejudique a peça que está sendo retificada. Os graus de dureza comumente usados correspondem, para ligas resinóides, aos seguintes:

Médios	N – Q	Rebolos retos, copos e pires
Duros	R – T	Copos de pouca espessura de parede

Para ligas vitrificadas, numa primeira escolha:

Médias	K – M	Rebolos retos
Duras	N – P	Retífica interna

As granulometrias usuais variam entre 60 e 200, sendo as mais freqüentes 100, 120 e 140, de forma que considerando as aplicações, sugere-se:

Retífica cilíndrica	100 – 140
Retífica interna	80 – 200
Retífica e afiação de ferramentas	120 – 200

Velocidades e condições de operação

As velocidades de trabalho usuais correspondem aos seguintes limites, expressos em m/s:

Liga	Em seco	Em úmido
Resinóide	15 – 20	20 – 40 e até 60 em casos especiais
Vitrificada	25	25 – 60 e até 80 em casos especiais

Os valores restantes dos parâmetros para cada tipo de operação são:

OPERAÇÃO	VELOCIDADE AVANÇO	PROFUNDIDADE DE PASSE	RPM PEÇA
Retífica cilíndrica	1 – 1,5 m/min	0,005 – 0,015 mm	$\frac{1}{60}$
Retífica plana	6 – 16 m/min	0,005 – 0,02 mm	
Retífica interna	1 – 2 m/min	0,002 – 0,01 mm	$\frac{1}{60}$
Afiação ferramentas	0,5 – 3 m/min	0,01 – 0,05 mm	---

Os refrigerantes mais usados são a base de óleo solúvel aos 50%. Para os rebolos resinóides deve-se procurar manter um pH em redor de 7. Para rebolos vitrificados o valor do pH pode ser mais elevado, pois não terá influência nenhuma sobre a liga. É também aconselhável o uso de óleos que contenham aditivos EP (extrema pressão).

Ver neste capítulo o item "Refrigerantes", para maiores esclarecimentos, sendo que as indicações expostas são válidas para todo o tipo de rebolo abrasivo e liga.

Especificações para Rebolos em NCB

O NCB é aplicável para retífica de aços com dureza superior à HRc60: — aços de ferramentas, rápidos, aços Cr, aços ligas, stellite, etc.

OPERAÇÃO

ESPECIFICAÇÃO INICIAL

Retífica de Superfícies

Planas

a) eixo vertical	CBN	60	N-Q	120	B (*)
b) eixo horizontal	CBN	46	N-Q	120	B Também: 100 N 180 B

Retífica Interna

(uso geral)

CBN	120	N	100	B	Também: 150 N 180 B, 180 N 120 V
-----	-----	---	-----	---	----------------------------------

Retífica Interna

(acab^o, FoFo e metais não ferrosos)

CBN	120	N	125	V
-----	-----	---	-----	---

Retífica Cilíndrica

CBN	100	N-Q	120	B	Também: 120 L 360 V
-----	-----	-----	-----	---	---------------------

Retífica Centerless

(acabamento)

CBN	120	N-Q	180	B
-----	-----	-----	-----	---

Afiação de Fresas

CBN	150	R	180	B
-----	-----	---	-----	---

Ferramentas rotativas

(tipo broca, escariador)

CBN	200	R	180	B
-----	-----	---	-----	---

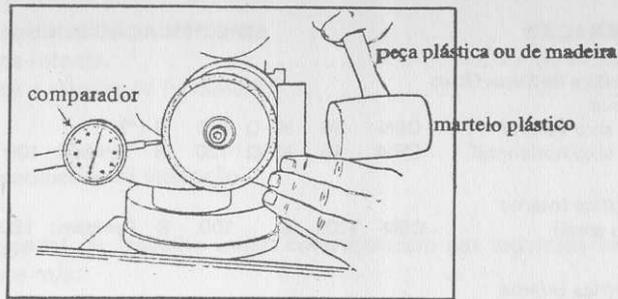
(*) Para rebolos em liga resinóide usar CBN com revestimento tipo CN.

Para rebolos vitrificados, usar granulometria 180 para rugosidade desejada \cong 15 RMS e 150 para rugosidade \sim 10 RMS

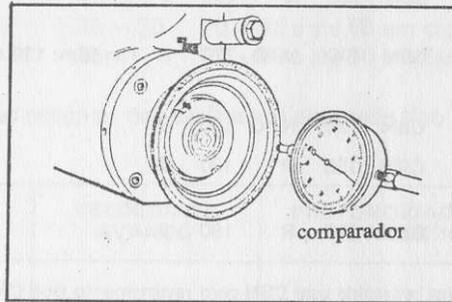
Recomendações gerais de montagem — Acondicionamento do rebolo — Alguns problemas, defeitos e correções

Estas recomendações são válidas para rebolos de diamante e de NCB. A vida útil do rebolo dependerá, em grande parte, da precisão com que é feita a montagem na máquina. Antes de iniciar a retificação das peças o rebolo deve ser dressado e diamantado. Daí a importância da concentricidade rebolo-eixo, para evitar perdas de material abrasivo devido à excessiva dressagem.

Os rebolos forma RT ou Copos, que trabalham pela periferia, deverão ser montados com ajuda de um comparador, para medir a excentricidade da periferia, com uma precisão de $\frac{1}{1000}$ mm. A excentricidade medida na periferia, não deve ser nunca superior aos 12/1000 mm para rebolos retos (RT). Para rebolos Copo Reto ou Cônico trabalhando pela face frontal, 25/1000 mm é o limite tolerável. Na Figura 265, vemos a posição do rebolo, do comparador e a forma de correção de excentricidade, com ajuda de um martelo de plástico e uma proteção de madeira ou outro material macio.



(a)



(b)

Figura 265: Montagem de rebolos superabrasivos na máquina. (a) rebolo reto (b) rebolo Copo.

Atingida a melhor posição possível, o rebolo deverá ser dressado conforme as indicações do tema "Dressagem", neste Capítulo, lembrando que nunca de ve ser usado um dressador de diamante tipo ponta única.

Os defeitos que podem aparecer durante a operação são muitos, porém os mais freqüentes podem ser resumidos assim:

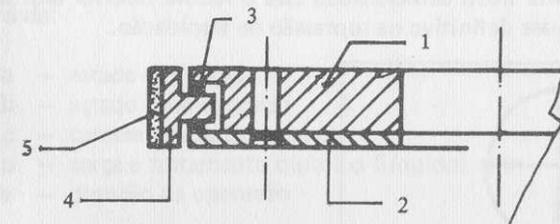
DEFEITO/PROBLEMA	CAUSA PROVÁVEL	CORREÇÃO SUGERIDA
<ul style="list-style-type: none"> Arranque pobre ou lento 	<ul style="list-style-type: none"> Baixa velocidade ou pouca profundidade 	<ul style="list-style-type: none"> Aumentar rpm até velocidade de aprox. 40 m/s Aumentar profundidade de passe até 0,03 ou 0,05 mm, dependendo do tipo de operação
<ul style="list-style-type: none"> O rebolo não corta 	<ul style="list-style-type: none"> Rebolo sujo, "fechado" 	<ul style="list-style-type: none"> Dressar levemente para limpar a superfície Aumentar vazão refrigerante
<ul style="list-style-type: none"> Acabamento insuficiente ou defeituoso 	<ul style="list-style-type: none"> Trepidação Dressagem excessiva Grão grosso demais 	<ul style="list-style-type: none"> Conferir concentricidade Dressar novamente o rebolo com passada leve Usar rebolo de grana mais fina

DEFEITO/PROBLEMA	CAUSA PROVÁVEL	CORREÇÃO SUGERIDA
	<ul style="list-style-type: none"> Insuficiente refrigeração 	<ul style="list-style-type: none"> Aumentar vazão e/ou mudar para óleo solúvel com aditivo de extrema pressão diminuindo a porcentagem de água para 40 ou 35%
<ul style="list-style-type: none"> Vida útil do rebolo 	<ul style="list-style-type: none"> Dressagem excessiva Velocidade do rebolo baixa Diamantado excessivo 	<ul style="list-style-type: none"> Dressar com passes leves de 2/1000 à 3/1000 mm Aumentar rpm Diamantar levemente

III.2.12.1 Rebolos Flexíveis.

O desenho de um rebolo flexível, insensível às vibrações (ver Capítulo III tema "Máquinas"), é hoje um exemplo das possibilidades futuras na retífica de altíssima precisão, combinando a capacidade dos superabrasivos com as características de materiais, como o RETIMET da DUNLOP, de alto poder de amortecimento e alta condutividade térmica neste caso imprescindível, pelas razões expostas a respeito da qualidade dos núcleos ou centros dos rebolos de NCB ou diamante.

A forma construtiva do rebolo aparece na Figura 266.



1. Flange principal
2. Flange secundária
3. "Retimet" - junta antivibração
4. Suporte do abrasivo
5. Abrasivo NCB ou Diamante

Figura 266: *Rebolo flexível.*

Um interessante estudo efetuado por J. S. SEXTON em 1982 (*), mostrou os resultados comparativos em testes efetuados usando um rebolo "flexível" que comentamos à seguir.

(*) J.S. SEXTON "Chatter vibrations their suppression through wheel design IDR Industrial Diamond Review - 3/82.

III 2.12.2 Tamboreamento ou triboacabamento - 'chips'

Na aplicação prática os chips são usados em tambores rotativos, daí a denominação de tamboreamento junto com as peças a serem tratadas e o agente líquido adequado.

Os líquidos em solução atuam como amortecedores do trabalho dos abrasivos, como lubrificantes e quimicamente, como reagentes sobre os diferentes produtos presentes na carga. O líquido mais freqüente encontrado no "tamboreamento" é uma solução aquosa de concentração conveniente, que, considerando as propriedades da peça a ser usinada, terá um pH em função do resultado desejado. Quando nenhum ataque sobre as peças metálicas for desejado, como num caso suposto, este pH deverá ter um valor entre 8 e 8,5.

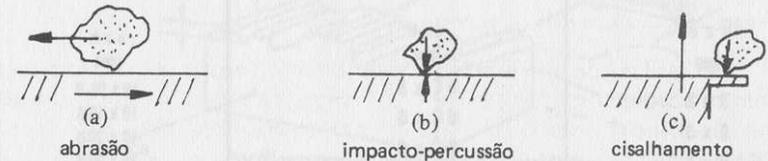


Figura 269: Forças atuantes no triboacabamento.

As forças atuantes no tamboreamento ou triboacabamento, no que diz respeito a movimentos, são as indicadas na Figura 269 e são consequência da energia dinâmica fornecida pela face interna do tambor. A intensidade de ação dependerá dos movimentos da máquina, da rotação, da translação, da vibração e da centrifugação. O resultado final da operação dependerá de:

- a - estado das peças
- b - estado final desejado
- c - características do tambor
- d - carga e tratamento químico (líquido)
- e - duração da operação

A carga dos tambores dependerá da qualidade de acabamento desejado:

- Para desbaste - 60% abrasivo - 40% peças
- Para acabamento - 70% abrasivo - 30% peças

A carga no tambor é aproximadamente 3/4 do volume disponível. As peças mais usuais com acabamento por tamboreamento são:

- peças de fundição em pequenos formatos
- forjados de pequenas dimensões

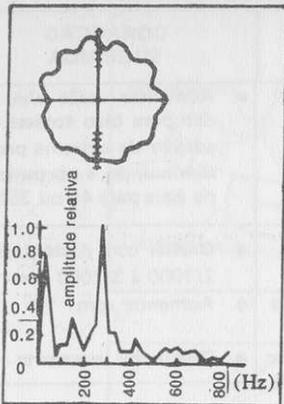


GRÁFICO TALYROND

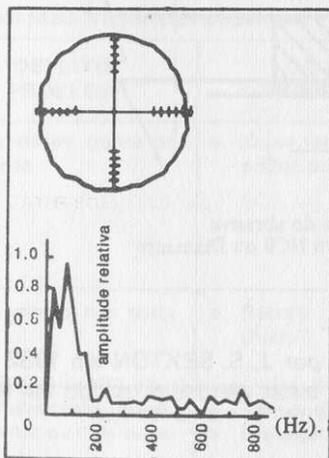
Rebolo convencional
 RPM = 1510
 RPM peça = 67
 Avanço (prof. passe) = 2,5
 Avanço transversal = 0,30 espessura rebolo / rev. peça
 Tempo de usinagem = 1,5 h
 Freqüência das ondas do rebolo

Figura 267: Gráficos rebolo convencional

O gráfico do perfil periférico do rebolo (Figura 267) mostra ondas bem marcadas. Aproximadamente 11 ondas de altura até 20μ . A análise das freqüências mostra a predominante aproximadamente no valor de 280 Hz, além das correspondentes à excentricidade de rebolo e eixo. Estes resultados de ondulação do rebolo são concordantes com a freqüência natural da máquina, medida em 280 Hz.

No caso do rebolo flexível (Figura 268) as ondas da periferia do rebolo não aparecem e a análise de freqüências não mostrou vibrações significativas perto do valor 280 Hz. As únicas importantes na faixa 0-100 Hz foram as associadas à falta de concentricidade rebolo-eixo.

Claramente ficou demonstrado que o rebolo flexível tem um efeito importante, quase definitivo na supressão de trepidação.



- GRÁFICO TALYROND

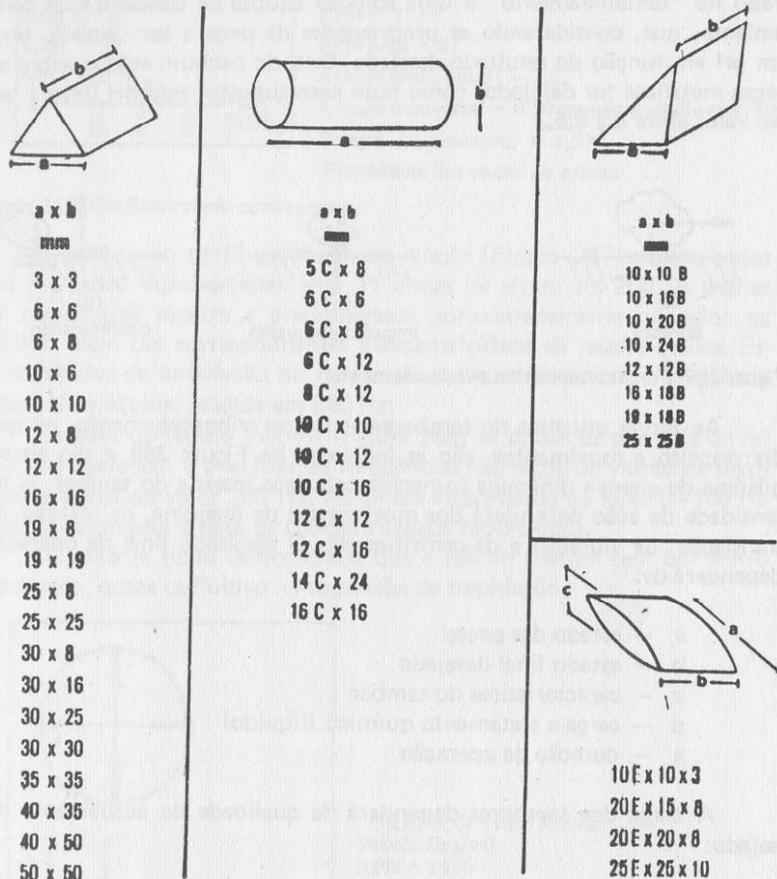
Rebolo flexível
 RPM = 1510
 RPM peça: 67
 Avanço (prof. pásse) = 2,5s
 Avanço transversal = 0,30 - espessura rebolo / rev. peça
 Tempo de usinagem = 1,5h
 Freqüência das ondas do rebolo

Figura 268:

- peças estampadas
- peças injetadas

As limitações correspondem principalmente às formas geométricas complicadas (entalhes, furos) ou peças que tenham restos de usinagem ou arestas de tamanho excessivo, necessitando neste caso de um desbaste prévio à operação de tamboreamento.

Damos abaixo alguns formatos e dimensões:



As qualidades de fabricação variam de forma progressiva, conforme a Tabela:

	"ACBTD".	"MÉDIO"	DESBASTE
*Peso específico	2.37 - 2.40	2.45 - 2.47	2.48 - 2.49
*Aspecto	Branco, liso	Cinza	Cinza com pós azuis
*Dureza Mohs	7	8 - 9	8 - 9
*Uso	Metais ferrosos e não ferrosos Acabamento perfeito	Uso Universal (o mais usado)	Alta agressividade Desbaste leve -M

III 3. Rugosidade

As razões econômicas, principalmente, orientam a escolha do acabamento nas peças sempre que a qualidade da superfície seja controlada. Este controle consiste na observação e medição de:

- erros macrogeométricos que podem ser observados a olho nu, como a conicidade, a ovalização ou as ondulações, e
- erros microgeométricos que precisam de aparelhos mais ou menos sofisticados para a medição, principalmente, da rugosidade.



Figura 270: Perfil mostrando ondulação e rugosidade

Na superfície encontramos a rugosidade como "textura primária", a ondulação ou "textura secundária" e a direção dominante das marcas (Figura 270).

A rugosidade e a direção dominante da mesma são motivadas pela ferramenta-rebolo e influenciados, também, pelo líquido ou fluido refrigerante usado.

A ondulação, que poderíamos definir como onda portadora sobre a que a rugosidade aparece, é motivada principalmente pelo fator elástico do conjunto peça-máquina-rebolo que pode motivar o aparecimento de vibrações e trepidações em frequências determinadas. A peça sensível ao calor pode apresentar deformações durante a operação facilitando o aparecimento de deformações deste tipo.

A qualidade da superfície influi diretamente sobre a capacidade de resistência à corrosão, à fadiga, ao desgaste e ainda "define" o atrito. Para as peças submetidas a esforços ou condições de trabalho crítico, o acabamento deverá ser melhor do que para peças "auxiliares". Um rolamento, por exemplo, deverá ter melhor acabamento do que uma simples alavanca de comando manual.

A observação e avaliação da superfície é feita por meio de:

- microscópios metalográficos ou eletrônicos sobre o plano horizontal,

- b) com apalpadores num plano normal à superfície, e
 c) com métodos de interferência óptica num plano oblíquo transversal.

Na Figura 271 estão dois, dos sistemas citados:

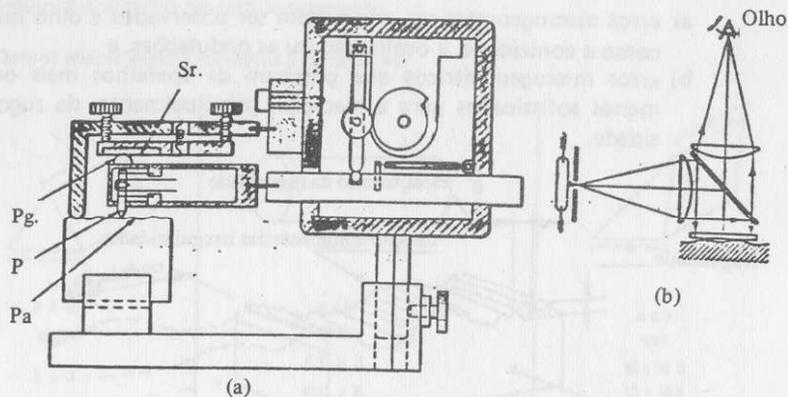
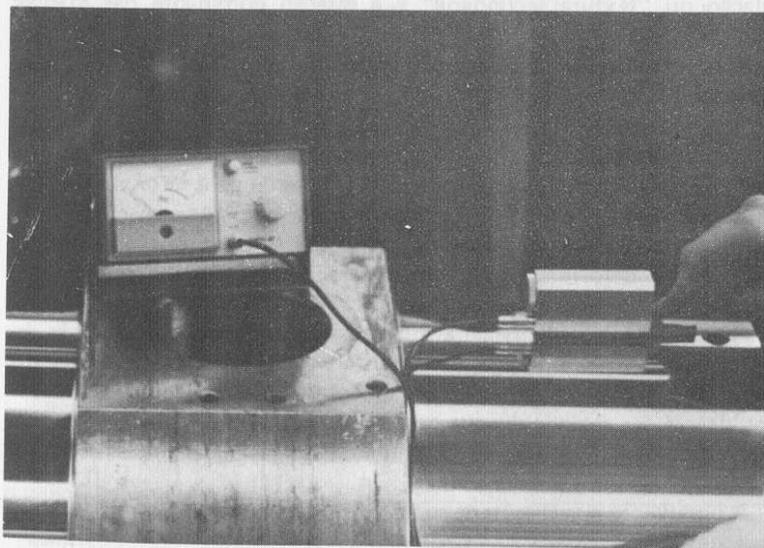


Figura 271: Sistemas e esquemas de princípio de medição.



Medição de rugosidade num pino de cruzeta de motor SULZER. Ra 0,1M rebolo SIVAT AA 400NBX (Cortesia de Mecânica Arapongas R.J).

O rugosímetro (Figura 271a) é provavelmente o mais comum na indústria e consiste num apalpador P que desloca-se em contato com a superfície da peça PA, ao mesmo tempo que o apalpador PG desloca-se sobre uma superfície de referência SR, de características conhecidas, e facilmente recambiável. O apalpador PA em geral é uma ponta diamantada cônica ou piramidal com ângulo 60° e rádio na ponta, de $12,5\mu$ ($1/1000$ mm) ou $2,5\mu$.

O interferômetro mostrado na posição (b) é um modelo simples, porém serve para exemplo do princípio de funcionamento.

A medição de circularidade é feita com aparelhos de esquema similar ao da Figura 272 onde um apalpador recolhe o valor de referência que é comparado no aparelho medidor com o valor da peça em teste.

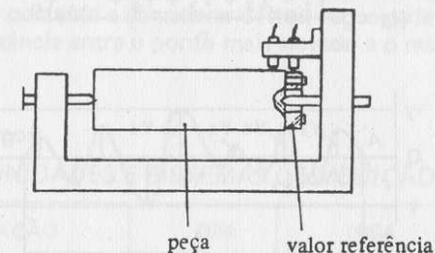


Figura 272: Medição de Circularidade (Variação radial)

Para permitir um estudo rápido da qualidade superficial sem ter que analisar gráficos muito detalhados, ampliam-se os valores no eixo das ordenadas, mais do que nas abscissas (Figura 273).

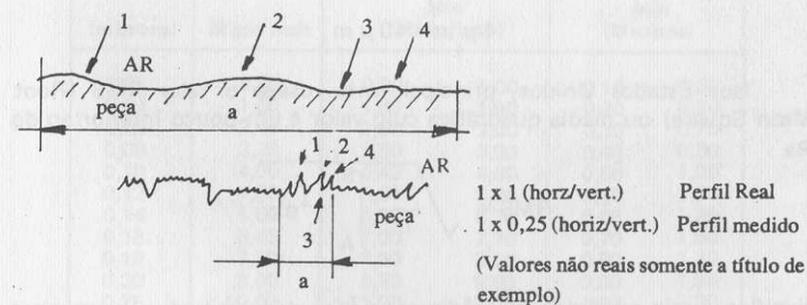


Figura 273. Perfil Real e Perfil Medido num Rugosímetro

A rugosidade é medida em μ ($1/1000$ mm) e micro-inch ($1''/1000$) dependendo do método usado e da norma. A seguir comentamos os sistemas e valores mais usuais.

O critério principal Ra (Norma DIN) é a profundidade média da "aspereza" superficial, de acordo com a expressão:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_A^B y \, dx$$

considerando os valores das superfícies reais, das partes superior e inferior da linha média OX que divide as áreas em partes iguais, ou seja Ra é praticamente a altura média aritmética das ordenadas sobre uma longitude e de referência dividida em partes iguais ou em fórmula matemática:

$$Ra = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + \dots + Y_n}{n}$$

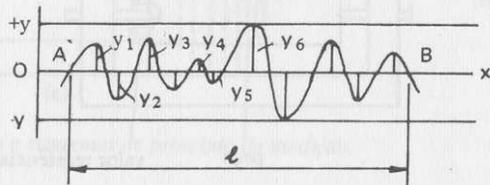


Figura 274: Gráfico de rugosidade criteriosa

O sistema métrico expressa Ra em microns μ (micro-milímetros- μ m) e em sistema britânico (unidades imperiais) em μ in (micro-inch ou micropolegadas)

$$1 \mu \text{ in} = 40 \mu \text{ m}$$

Nos Estados Unidos, principalmente, usa-se o valor RMS (Root Mean Square) ou média quadrática cujo valor é um pouco inferior ao do Ra

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{l} \int_A^B y^2 \, dx}$$

significa a raiz quadrada da média aritmética dos quadrados das mesmas ordenadas.

Na Alemanha usa-se outra expressão do valor da rugosidade. É o Rz, determinado como valor médio da altura, distância entre o ponto mais alto ao mais baixo das cinco maiores irregularidades medidas numa distância L da linha de base.

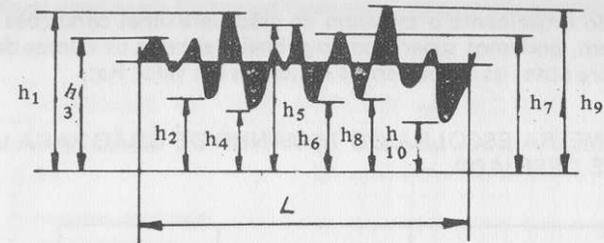


Figura 275: Critério Rz

$$Rz = \frac{(h_1 + h_3 + h_5 + h_7 + h_9) - (h_2 + h_4 + h_6 + h_8 + h_{10})}{5}$$

Outro valor importante a considerar é Rt ou rugosidade total, correspondente à maior distância entre o ponto mais elevado e o mais profundo.

Na figura anterior

$$Rt = h_9 - h_{10}$$

Como resumo temos:

UNIDADES E SISTEMAS DE MEDIÇÃO

DENOMINAÇÃO	DIN	BSA	ISO
Altura média da rugosidade	Ra (μ)	CLA (m)	Ra (μ)
Rugoridade média quadrática	Rs (s)	RMS (min)	RMS (min)
Altura máx. das rugosidades	Rt (s)	R (min)	Rt (min)

Não existe uma relação exata entre Ra e RT nem entre CLA e RMS, porém aceita-se a tabela a seguir;

Ra Min (microns)	CLA min Micro inch	RMS Min (Micro inch)		Rt Min (Microns)	
0,02	0,80	0,90	1,00	0,10	0,30
0,04	1,60	1,80	1,90	0,20	0,50
0,06	2,40	2,60	2,90	0,30	0,70
0,08	3,20	3,50	3,80	0,40	0,80
0,10	4,00	4,40	4,80	0,50	1,00
0,12	4,80	5,30	5,80	0,60	1,20
0,14	5,60	6,20	6,70	0,65	1,40
0,16	6,40	7,00	7,70	0,70	1,60
0,18	7,20	7,90	8,60	0,80	1,70
0,20	8,00	8,80	9,60	0,90	1,90
0,25	10,00	11,00	12,00	1,10	2,30
0,30	12,00	13,20	14,40	1,30	2,70
0,35	14,00	15,40	16,80	1,50	3,00
0,40	16,00	17,60	19,20	1,70	3,40
0,45	18,00	19,80	21,60	1,90	3,80
0,65	26,00	28,60	31,20	2,70	5,20
0,90	38,00	39,60	43,20	3,70	7,00
1,10	44,00	48,40	52,80	4,50	8,20

Considerando unicamente o tamanho de grão para umas condições médias de usinagem, podemos sugerir como primeira escolha os valores da tabela a seguir para obter os acabamentos indicados em valor Ra;

TABELA PRIMEIRA ESCOLHA DO TAMANHO DE GRÃO PARA UMA RUGOSIDADE DESEJADA. —

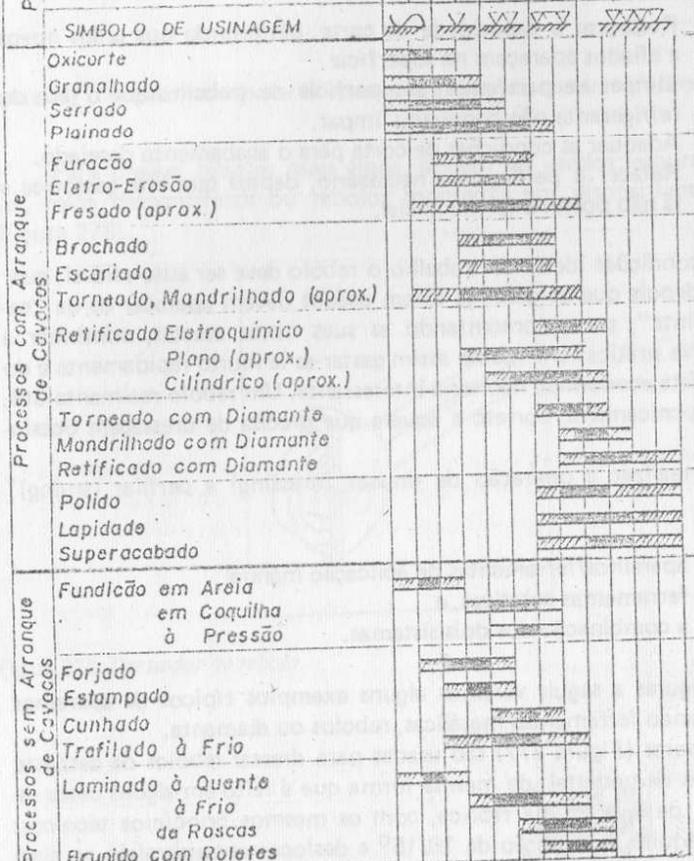
Operação	Tamanho Grão	Acabat ^o Ra
Ret. Cilíndrica	36	2,5/3,5
Ret. Centerless	60	0,8
Ret. Plana Tangencial	120	0,4
	240	0,1
	600/800	0,03
Ret. Plana		
Sgts.	30/36	1,30
Rebolo Copos Anel }	46/54	1,10
Porcas Inseridas Rebolo	60/80	0,65/0,70
	120/150	0,35

Finalmente, como resumo comparativo, o painel de valores Ra para os diferentes processos de usinagem dá uma idéia bastante clara da posição e importância da usinagem com abrasivos (Figura 276).

Perfil Superficial	Operação	Acabamento Ra
	Torneado	4 μ
	Retífica	4 μ
	Retífica Acabamento	0,3 μ
	Super-acabamento	0,06 μ

Figura 276: Perfis comparativos de superfícies (rugosímetro)

Rugosidades em Ra para diferentes processos de usinagem

RUGOSIDADE Ra PARA PROCESSOS DE USINAGEM														
Processos	Rugosidade	μm	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
	Ra	μin	200	100	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1
	Numero de Graus de Rugosidade	N	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
			20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
SIMBOLO DE USINAGEM														
Processos com Arranque de Cavacos	Oxicorte													
	Granalhado													
	Serrado													
	Plainado													
	Furacão													
	Eletro-Erosão													
	Fresado (aprox.)													
	Brochado													
	Escariado													
	Torneado, Mandrilhado (aprox.)													
Processos sem Arranque de Cavacos	Retificado Eletroquímico Plano (aprox.)													
	Cilíndrico (aprox.)													
	Torneado com Diamante													
	Mandrilhado com Diamante													
	Retificado com Diamante													
	Polido													
	Lapidado													
	Superacabado													
	Fundição em Areia em Coquilha à Pressão													
	Forjado Estampado Cunhado Trafilado à Frio Laminado à Quente à Frio de Roscas Brunido com Roletes													

III. 4. Dressagem e diamantado

A operação de dressagem forma parte integral da operação de retífica. Não podemos considerar o desempenho de um rebolo sem estudar as condições de dressagem. A forma com que é realizada vai influir notavelmente no acabamento, no arranque de material, na tolerância dimensional e na vida do rebolo.

Os objetivos elementares da dressagem são:

- Restaurar a capacidade de corte, permitindo que grãos novos e afiados apareçam na superfície.
- Limpar de partículas, a superfície de trabalho que o jato do refrigerante não conseguiu limpar.
- Adequar as condições de corte para o acabamento desejado.
- Refazer o perfil, caso necessário, depois que este gastou-se e já não possui a forma inicial.

Em condições ideais de trabalho o rebolo deve ser auto-afiável, quer dizer que depois que os grãos já foram usados devem aparecer os da "camada seguinte", para, apresentando as suas novas arestas, continuar a operação. Na prática, um rebolo assim gastar-se-ia muito rapidamente e do ponto de vista econômico não seria interessante. Um rebolo realmente útil, prático e tecnicamente correto é aquele que precisa de dressagem ocasionalmente.

Para realizar a operação de dressar (dressing) e perfilar (truing)* usam-se:

- a) aparelhos/ferramentas de aplicação manual,
- b) ferramentas rotativas, e
- c) a combinação dos dois sistemas.

Nas figuras a seguir veremos alguns exemplos típicos de aparelhos manuais, usando ferramentas metálicas, rebolos ou diamante.

As esporas (Figura 277) são usadas para dressar rebolos de desbaste em máquinas de pedestal, da mesma forma que é feito em alguns casos de acabamento de rebolos na fábrica, com os mesmos princípios técnicos: apoio na máquina, inclinação de $10/15^\circ$ e deslocamento paralelo ao eixo de giro.

(*) Nota: Dressar e diamantar são dois termos usados indistintamente que precisam de um esclarecimento:

- 1º) Dressamos um rebolo para fazê-lo concêntrico com o eixo da máquina.
- 2º) Diamantamos um rebolo para deixar a superfície em condições de trabalho.

Acontece que, normalmente, depois da 1ª dressagem as sucessivas diamantadas, "dressam e diamantam" numa mesma operação e por esta razão são usadas as duas palavras às vezes inadequadamente.

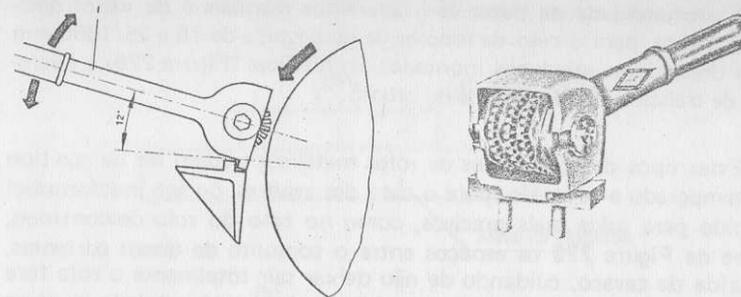


Figura 277: Dressador de esporas de aço e posicionamento correto de operação.

Para dressar rebolos mais finos, podem ser usados: esporas mais finas, rolos descontínuos ou rebolos montados em dispositivos similares (Figura 278).

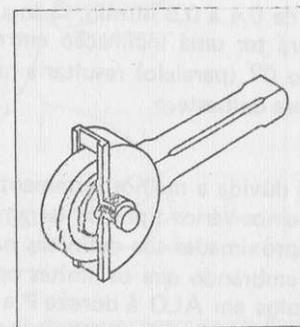


Figura 278: Dressador de rebolo

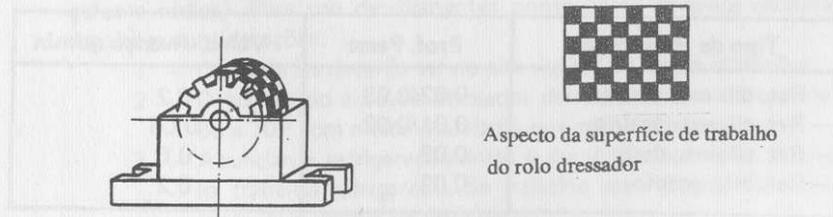


Figura 279: Rolo dressador para retífica.

A profundidade de passe com aparelhos manuais é de vários décimos até 1 mm, para o caso de rebolos de desbaste, e de 15 a 25/1000 mm para os dressadores metálicos montados em retíficas (Figura 279) e a velocidade de trabalho corresponde à do rebolo.

Estes tipos de dressadores de rolos metálicos podem ser de aço tipo 1045 temperado e revenido, para o caso das esporas, ou aço indeformável ou rápido para rolos mais precisos, como no caso do rolo descontínuo. Observe na Figura 279 os espaços entre o conjunto de discos cortantes, para saída de cavaco, cuidando de não deixar totalmente o rolo fora do rebolo no movimento de vaivém e ajustando a profundidade de passe para cada caso, é possível obter um alto rendimento de dressagem, substituindo o diamante monoponta e especialmente pensando na economia.

Quando se usa rebolo, a ferramenta deverá ter características similares às estabelecidas para acabamento na fábrica: grana 16–24 dureza S/T ou para um melhor acabamento grana 16/24 dureza um pouco menor e em SiC verde. A profundidade de passe entre 5/100 e 8/100 com velocidade de deslocamento de 0,4 a 0,5 m/min. O ângulo entre-eixos (rebolo/rebolos dressador) deverá ter uma inclinação entre 6 e 7° para um bom acabamento. Um ângulo 0° (paralelo) resultaria numa superfície de alta rugosidade, adequada para desbaste.

O diamante é sem dúvida a melhor ferramenta para dressar e formar perfil. Na Figura 280 vemos vários tipos de ferramentas diamantadas. As condições de trabalho aproximadas são definidas nas tabelas a seguir, para diamante ponta única, lembrando que os limites operacionais econômicos correspondem para rebolos em ALO à dureza P e para rebolos em SiC à dureza N, aproximadamente. O uso de dressadores ou formadores de perfil diamantados exige uma abundante refrigeração e um grande cuidado na execução.

CONDIÇÕES DE DRESSAGEM (Diamante ponta única)

Tipo de Retificação	Prof. Passe	Veloc. Avanço m/min
– Ret. cil. ext. desbaste	0,02/0,03	0,2
– Ret. cil. ext. acabto.	0,01/0,02	0,06
– Ret. cil. int. desb.	0,02	0,6
– Ret. int. acabto.	0,02	0,2

Nota* Durante a operação de dressagem é necessária a máxima vazão de refrigerante.

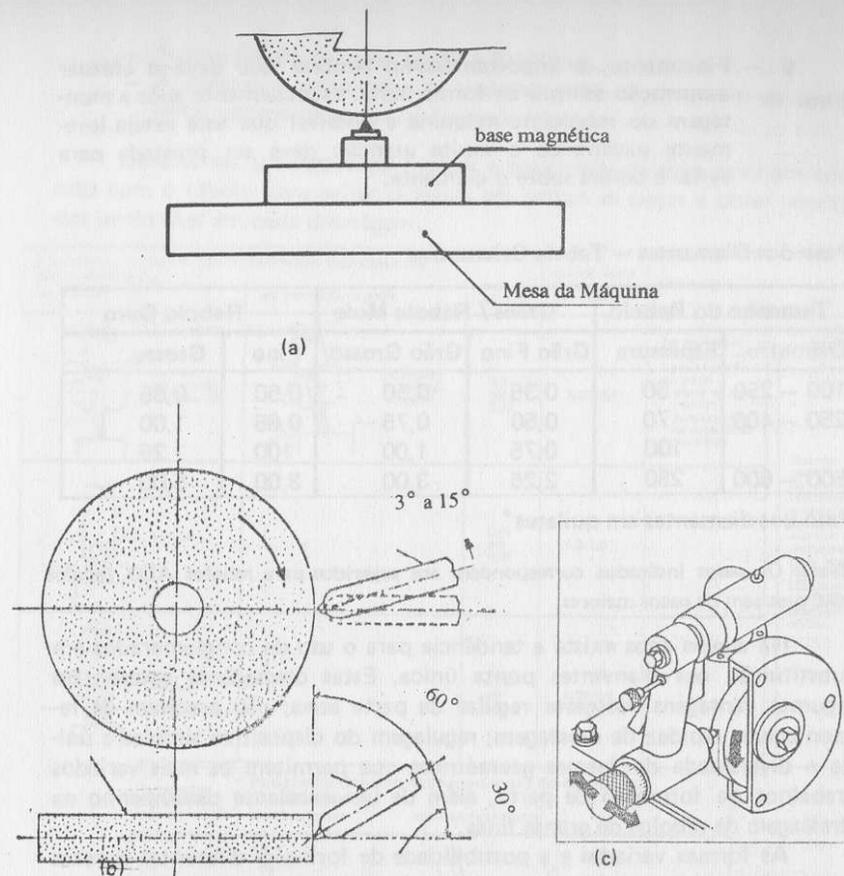


Figura 280: Montagens de diamantes ponta única. Posições de trabalho

Na Figura 280 podemos ver os três tipos básicos de dressadores com diamante ponta única. A Figura (a) corresponde a uma retífica tangencial plana, a (b) a um dressador manual e o dispositivo (c) usado para dressar e perfilar o rebolo com ajuda de micrômetros, para formas simples (ângulos e rádios). Para uso de diamantes ponta única devemos observar as seguintes considerações:

- 1 – Os suportes deverão ser de alta rigidez evitando vibrações.
- 2 – O ângulo do eixo do dressador deverá formar um ângulo entre 65 e 70° com a face do rebolo que está sendo dressada.
- 3 – Abundante refrigeração antes e durante a operação, se o rebolo trabalha refrigerado. Se trabalha seco dressar sem refrigerante, mas depois de cada passe.
- 4 – Profundidade de passe inferior à 2/100 no início.
- 5 – Virar o ponta-diamante 30° sobre si mesmo (nas máquinas "simples") cada vez que seja usado, para manter um desgaste constante em todas as faces.

6 — Finalmente, é importantíssimo lembrar que deve-se efetuar a operação sempre de forma lenta. Especialmente após a montagem do rebolo na máquina é possível que este esteja levemente excêntrico e muita atenção deve ser prestada para evitar a batida sobre o diamante.

Peso dos Diamantes — Tabela Orientativa

Tamanho do Rebolo		Grãos / Rebolo Mole		Rebolo Duro	
Diâmetro	Espessura	Grão Fino	Grão Grosso	Fino	Grosso
100 — 250	50	0,35	0,50	0,50	0,65
250 — 400	70	0,50	0,75	0,65	1,00
	100	0,75	1,00	100	1,25
500 — 600	250	2,25	3,00	3,00	5,00

Peso dos diamantes em quilates*

Nota: Os pesos indicados correspondem aos sugeridos para rebolos ALO, rebolos SiC precisam de pesos maiores.

Há alguns anos existe a tendência para o uso de conglomerados em substituição aos diamantes ponta única. Estes dressadores apresentam algumas vantagens: desgaste regular da parte ativa; não precisam de remontagem; rapidez de dressagem; regulagem do dispositivo simples e única e diversidade de formas geométricas que permitem os mais variados trabalhos de formação de perfil, além de um excelente desempenho na dressagem de rebolos de granas finas.

As formas variadas e a possibilidade de formular diferentes durezas e granulometrias permitem um campo de aplicação muito maior do que têm os dressadores de ponta única (Figura 281).

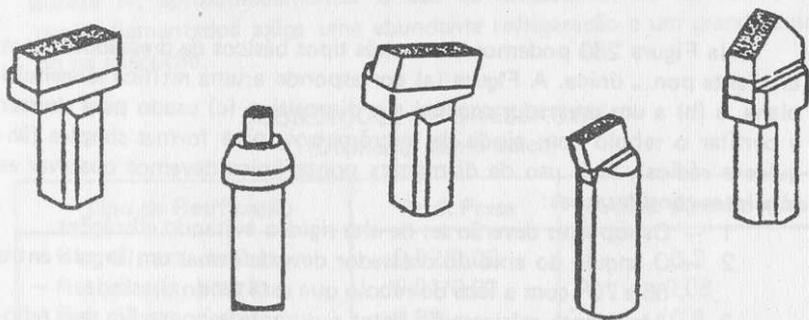


Figura 281 — Diversas formas de dressadores conglomerados.

Para obter bons resultados em uma operação, as regras básicas são as mesmas indicadas para o caso dos dressadores ponta única, em especial:

- Profundidade de passe 1/100 a 3/100mm.
- Aumentar a velocidade de deslocamento do dressador se desejar obter um maior poder de corte do rebolo.

Deve-se ter o cuidado de manter a totalidade da área ativa em contato com o rebolo para evitar defeitos em ambas as peças e obter resultados uniformes em cada dressagem.

Posição de trabalho das ferramentas diamantadas para retificação		avanco em mm	avanco lateral (hab-tua) mm. rotação	Observações
em retificação reta	em retificação de perfis	0,01 até 0,03	0,05-0,5	Na retificação reta é possível obter posição diagonal - erro de corte melhor - acabamento da superfície mais fino
		0,01 até 0,05	0,3-1,0	
		0,005 até 0,03	0,05-0,5	

Quando do uso pela primeira vez da ferramenta de retificação, aconselhamos dar vários avanços com um ajuste maior, para obter um melhor adaptação do revestimento diamantado com o rebolo.

Ferramentas diamantadas para retificação	Posição de trabalho das ferramentas diamantadas p. retificação	
	com fixação reta	com fixação inclinada
Retificador diamantado Fijase		
Retificador diamantado Igel		
Retificador diamantado Pro-dress		

A inclinação é compensada pelo ajuste do retificador. Fixe no suporte móvel, até 30°.

Para posição inclinada de fixação pedimos informar o ângulo de inclinação.

Figura 282 — Posição de trabalho das ferramentas conglomeradas (cortesia Winter do Brasil).

Como orientação, na Tabela abaixo estão os tamanhos de grãos adequados para cada rebolo.

Tabela orientativa para escolha de dressadores conglomerados

OPERAÇÃO	TAMANHO DE GRÃO DO REBOLO	INCLINAÇÃO DO DRESSADOR	TAMANHO DE GRÃO DO DRESSADOR
Retífica Cilíndrica	36-46	0° - 15°	Grosso (46)
Centerless	54-100	0° - 15° - 30°	Medio (100/120)
Varias	120 e mais fino	0° - 15°	Fino (180/240)

O problema maior da dressagem está na formação de perfil e este se complica bastante quando as formas requeridas contêm vários ângulos.

Para a formação de perfis é necessário o uso do pantógrafo que guia o diamante ou, preferivelmente, o rolo perfilador ou "crusher" (de "crush", esmagar, comprimir), que pode ser de aço, sinterizado ou diamante. O perfil é obtido por meio da pressão exercida pelo rolo sobre o rebolo. No caso de rolo diamantado existe uma ação de corte dos grãos abrasivos que são os diamantes, sobre os abrasivos do rebolo ALO ou SiC o que diferencia os dois tipos de rolo.

A formação do perfil para operações em mergulho ("plongée"), seja centerless ou cilíndrica entre pontos, tangencial plana e em especial para retífica de roscas, desenvolveram e continuam aperfeiçoando este sistema. Os rebolos que melhor se adaptam ao "crushing" são os vitrificados. Os resinóides, devido à resiliência da liga, precisam de rolos diamantados para serem perfilados e, ainda, apresentam algumas dificuldades (mais pela característica da liga do que pela capacidade do rolo diamantado) (Figura 282).

O método crushing é rápido e preciso para a duplicação de peças, transferindo a forma ou perfil do rolo preformado para o rebolo e este para a peça a ser usinada.

Três são as etapas: fabricação do rolo, perfilar o rebolo e retífica da peça (Figura 283).

Como já foi dito, os rolos são em aço rápido (ou aço indeformável, tratado dureza > 63 HRC) porém podem ser em aço ao carbono tipo 1045 para testes e pequenas séries. Quando as séries são grandes é preciso usar vários rolos, guardando sempre um (ou mais) como rolo mestre. O rolo mestre é usado para perfilar o rebolo quando este já perdeu o perfil e o rolo de trabalho não consegue recuperar a forma. O rolo mestre perfila o rebolo e este por sua vez perfila o rolo de trabalho.

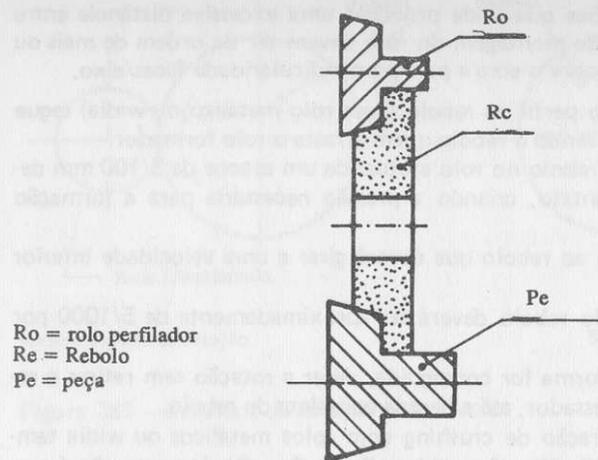


Figura 283 – Princípio de trabalho do rolo perfilador.

Na Figura 284 vemos a colocação de rolos (de trabalho e mestre) numa retífica plana, com rebolo multiperfilado, para retífica de pentes rosqueadores (por exemplo).

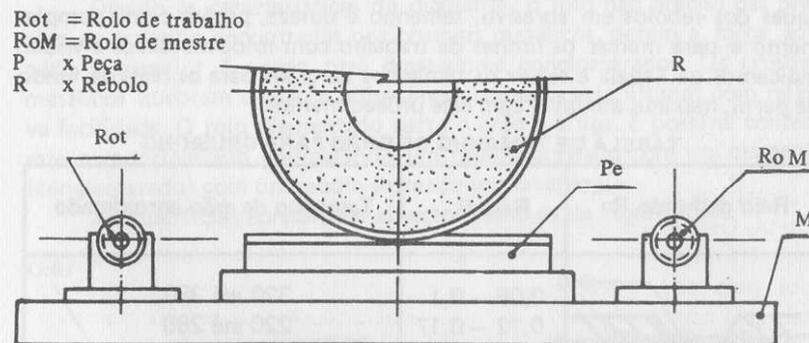


Figura 284 – Esquema de colocação de rebolo e rolos dressadores.

Os rolos costumam ter entre 70 mm e 150 mm de diâmetros e larguras de até 250 mm, escolhendo-se sempre o menor possível, compatível com o rebolo a ser dressado, devido à pressão específica de trabalho que sendo da ordem de 10 até 40 kg/cm² precisaria de enorme esforço no caso de rolos de grande tamanho.

Um dos maiores problemas que enfrenta o "crushing" é a qualidade dos rolamentos de apoio e as características de rigidez do conjunto, incluindo logicamente o equipamento do rebolo. Não podem ser perfilados com crushers rebolos montados sobre mancais de metal patente e deve ser considerada a posição dos apoios do rebolo ao efetuar qualquer estudo

devido às deformações que pode provocar uma excessiva distância entre eles. As tolerâncias de montagem do rolo devem ser da ordem de mais ou menos 5/1000 mm sobre o eixo e para perpendicularidade faces/eixo.

A formação do perfil no rebolo (com rolo metálico ou widia) segue o seguinte processo, sendo o rebolo quem arrasta o rolo formador:

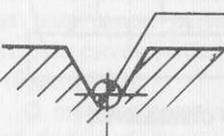
- encostar o rebolo no rolo efetuando um avance de 5/100 mm depois do contato, criando a pressão necessária para a formação do perfil.
- dar partida ao rebolo que deverá girar a uma velocidade inferior a 1 m/s.
- o avanço do rebolo deverá ser aproximadamente de 5/1000 por revolução.
- quando a forma for conseguida, deter a rotação sem retirar o rebolo do dressador, até a parada completa do rebolo.

Para esta operação de crushing com rolos metálicos ou widia também os rebolos vitrificados têm as suas limitações. Obviamente não é possível usar rebolos de porosidade aberta (induzida) ou rebolos de grana muito fina ou muito duros.

As durezas médias e médias/moles (desde I até M) aceitam a formação de perfil por crushing. Para os casos mais críticos devemos usar rolos diamantados.

No tema Retífica de Roscas estudamos com maior detalhe as qualidades dos rebolos em abrasivo, tamanho e dureza, porém como complemento e para marcar os limites de trabalho com rolos metálicos e widia, indicamos na Tabela a seguir os tamanhos de grãos para os raios de fundo de perfil, máximo atingível com este procedimento:

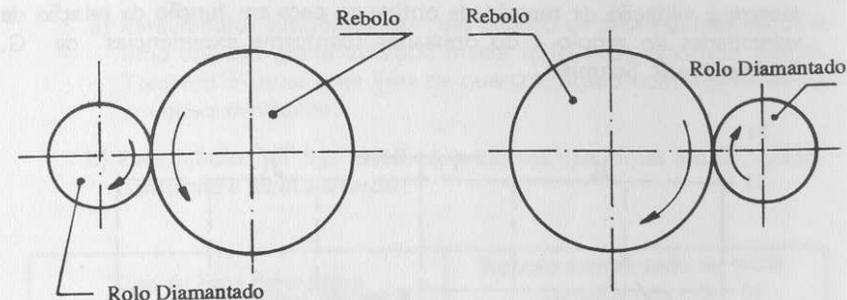
TABELA DE TAMANHO DE GRÃO PARA CRUSHING

Raio de fundo R	Raio R	Tamanho de grão aproximado
	0,08 – 0,1	320 até 380
	0,12 – 0,17	220 até 280
	0,2 – 0,3	150 até 180
	0,35 – 0,5	120 até 150

O uso de rolos dressadores-perfiladores diamantados apresenta características diferentes das expostas até aqui. Precisão, rapidez de operação e duração são as principais.

Do ponto de vista operacional existem também várias diferenças:

- O rolo diamantado não é arrastado pelo rebolo, possui o próprio sistema motor, podendo virar no mesmo sentido ou em sentido oposto ao rebolo, modificando a qualidade do acabamento na peça (Figura 285).
- O rebolo gira à velocidade normal de trabalho durante a formação do perfil.



Mesmo sentido de rotação

Sentido de rotação oposto

Figura 285 – Sentidos de rotação rebolo-rolo.

A precisão das formas conseguidas, especialmente com ligas galvânicas, permitem atingir na peça raios com concavidades de até 0,05 mm e formas convexas com valores de $R \geq 0,1$ mm, valores bastante frequentes em roscas e perfis de alta precisão.

A potência necessária para arraste do rolo diamantado corresponde aproximadamente a 20 W por cada centímetro de largura da face de trabalho e é usual encontrar arrastes de 1 kW.

Devido às características do diamante, o rolo não precisa das pressões de trabalho encontradas nos crushers metálicos, porém a força aplicada é superior à usada para dressadores conglomerados. Os crushers metálicos quebram o grão e a liga (especialmente esta última) com relativa facilidade. O rolo diamantado corta o grão e a liga. É possível conferir este comportamento comparando um rebolo dressado com um diamante (conglomerado) com um rebolo formado por crushing.

As superfícies apresentam aspectos como os da Figura 286.



Figura 286 – Aspectos superficiais.

Mais uma vez é a demonstração de ações complementárias de dressagem e formação de perfil.

No caso do rolo dressador-formador diamantado, o comportamento é intermediário, oferecendo possibilidades muito maiores do que o uso de crushers e diamantes dressadores individual ou conjuntamente, para a formação de perfil, devido às possibilidades de variação de velocidades e profundidades de passe além das variáveis de liga e tamanho de grão do rolo diamantado. Para confirmar esta exposição, o gráfico da Figura 287

mostra a variação de rugosidade obtida na peça em função da relação de velocidades do rebolo e do dressador (conforme experiências de G. Pahlitzsch e R. Schmitt).

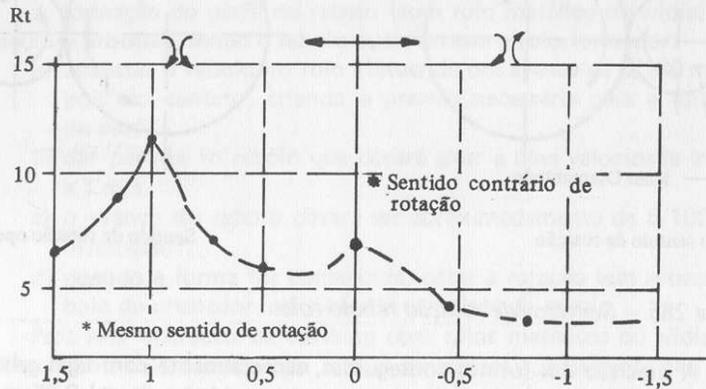


Figura 287 – Rugosidade em função da relação $V_{\text{rolo}}/V_{\text{rebolo}}$.

Como toda ferramenta de precisão, o rolo diamantado precisa ser tratado com máxima atenção e operado com conhecimento do processo para obter o melhor rendimento.

Considerando como condições de trabalho corretas a rpm rebolo/rolo, quantidade e qualidade de refrigerante, rigidez eixo rebolo-dispositivo rolo, tamanho do grão diamante, etc., a vida de um rolo pode ser estimada orientativamente como:

Perfis finos (exemplo: roscas)	10.000/50.000 dressagens
Perfis de tolerâncias precisas, inclusive com formas profundas	10.000/50.000 dressagens
Perfis sem alta exigência	30/150.000 dressagens

Considerando uma profundidade de dressagem de 0,02 mm.

Aqui também é necessário lembrar a necessidade de refrigeração em grande quantidade, inclusive superior à normalmente usada.

Os rebolos diamantados podem ser dressados com produtos em SiC ou ALO vitrificados.

Observe que tanto no caso de ligas metálicas como resinóides a porosidade do rebolo é sempre nula, daí que com a ferramenta dressadora (rebolo ou lima) desgastaremos a liga deixando o grão "livre" para um trabalho mais limpo.

No caso de rebolos em NCB ou Diamante vitrificados, podemos usar os mesmos critérios de diamantado-dressado ou formação de perfil com rolo diamantado, como temos visto até agora.

Para dressagem simples:

- Para rebolos resinóides usar um pedaço de pedra-pomes ou uma lima em SiC grana 400/500 macia (H/l) e de estrutura aberta. Também é usual uma lima de quartzo, ligado com liga cerâmica em baixa densidade.
- Para rebolos de liga metálica, podemos usar limas em SiC preto, conforme a tabela a seguir:

Tipo de lima dressadora	Rebolo diamantado ou NCB Tamanho do grão
C 80 MV	80
C 120/150 L	100/220
C 320 H/l	240 e mais fino

Para trabalhos de precisão (Rebols retos ou formas):

- O rebolo pode ser desmontado e dressado em outra máquina (retífica cilíndrica) com grande vazão de líquido, usando um rebolo de características aproximadas C-60 JV mantendo a velocidade de 30 m/s para o dressador e 20 a 25 m/s para o rebolo diamantado.
- Usar um aparelho dressador montado na própria máquina, consistente num pequeno rebolo com um dispositivo de freio sobre o próprio eixo. (Figura 288)

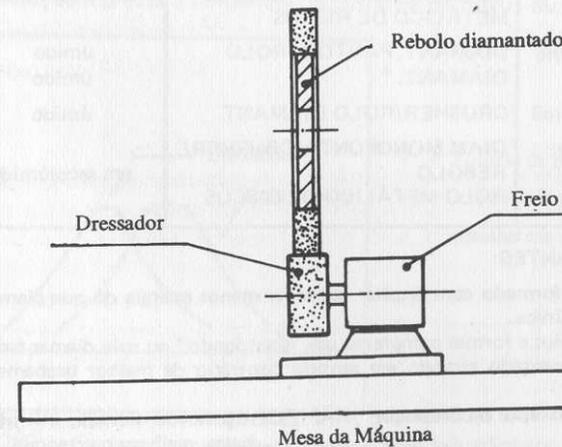


Figura 288 – Aparelho dressador para rebolos diamantados.

Características aproximadas dos rebolos dressadores:

Rebolo dressador	Rebolo diamantado Tamanho de grão
C 60 JV C 100 I 9 V	100 – 150 200 e mais fino

Nota: a profundidade de passe deve ser no máximo 2/100.

- c) Montar um aparelho retificador na máquina com os mesmos critérios do ponto a), sempre aplicando grande quantidade de refrigerante.

Como resumo, a Tabela 31 indica os pontos mais importantes do tema:

TABELA 31 – RESUMO DRESSAGEM

CRUSHER = Rolo metálico ou widia – AÇOS: Rápido-indeformável MONOPONTA = Diamante ponta única. Virar constantemente o suporte para ter desgaste uniforme.		
TIPO DE REBOLO OPERAÇÃO	TIPO DE DRESSADOR SUGERIDO	OBSERVAÇÕES
Desbaste Ret. Cil. em geral	ESPORAS . REBOLO ESPORAS.DIAMANTE MONO P. REBOLO	em seco em seco/úmido
Ret. Cil. mergulho (formas) Ret. Cil. precisão	CRUSHER-ROLO DIAMANT. preferível ROLO DIAMANT./DIAMANT. PANTOGRAF.	úmido úmido
Centerless em geral	DIAMANTE MONOPONTA/CON- GLOMERADO,preferível ROLO METÁLICO DE RISCOS	em seco/úmido
Centerless mergulho (Formas)	DIAMANT. PANTOG./ROLO DIAMANT.	úmido úmido
Retíf. Roscas e simil	CRUSHER/ROLO DIAMANT.	úmido
Retíf. Plana Tang.	DIAM.MONOPONTA/CRUSHER/ REBOLO ROLO METÁLICO DE DISCOS	em seco/úmido

NOTAS IMPORTANTES:

- Um rebolo formado com crusher consome menos energia do que diamantado com ponta única.
- Pequenos raios e formas complexas use "pantógrafo" ou rolo diamantado.
- O rolo diamantado girando em sentido contrário dá melhor acabamento na peça.
- Avanço transversal do dressador
 - RÁPIDO: rugosidade elevada, útil para desbaste, melhora o arranque.
 - LENTO: rugosidade baixa, útil para acabamento.

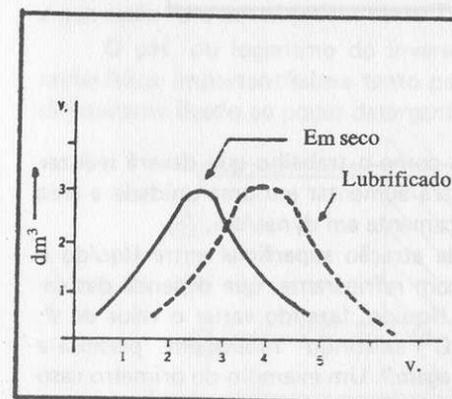
III.5. Refrigerantes

Os fluídos refrigerantes desempenham uma função muito importante no processo de retífica. Um bom líquido ou um líquido inadequado pode fazer com que a operação seja um sucesso ou um fracasso. A qualidade do refrigerante influirá na qualidade da peça usinada, na rugosidade, na tolerância dimensional e no custo operacional. Por todas estas razões, a escolha de um líquido deve ser estudada com toda atenção, procurando o auxílio de um técnico que oriente, de acordo com o fornecedor do rebolo, o melhor ou o produto mais adequado para as condições de trabalho consideradas.

Os líquidos são usados em primeiro lugar para:

- Providenciar uma lubrificação na interface peça/rebolo (ponto de contato abrasivo/peça).
- Para manter uma uniformidade de temperatura na área de trabalho. Mais do que esfriar a peça o que é importante é mantê-la em temperatura constante para, entre outras coisas, evitar as deformações devido aos choques térmicos.
- Remoção do cavaco produzido na área de trabalho, evitando que o arraste e/ou compressão do mesmo risque a peça e feche o poro do rebolo e provoque maior número de dressagem.
- Finalmente o líquido é o perfeito ajudante do rebolo, complementando o seu trabalho e melhorando o arranque e/ou acabamento.

Arranque de cavaco e velocidade de trabalho podem ser modificados pela ação do líquido refrigerante, conforme mostrado no gráfico da Figura 289. É óbvio que a qualidade do refrigerante vai modificar o perfil das curvas, sendo esta a tendência da pesquisa de novos fluídos.



V_r = Volume de remoção
 V_p = Velocidade perf. do rebolo
(escalas em valores simbólicos)

Figura 289 – Curvas de rendimento com e sem lubrificante.

A potência absorvida na operação pode diminuir até 10% a consumida originalmente em seco.

A curva mostra também que a Vp pode aumentar até em 50% para um mesmo rendimento. Ou, em outros termos, aumentar a seção do cavaco para uma mesma velocidade.

Os líquidos refrigerantes devem reunir características comuns:

- 1 - lubrificante
- 2 - antioxidante
- 3 - baixa tensão superficial
- 4 - detergência
- 5 - capacidade emulsionante e condicionante da água
- 6 - não irritante ou perigoso para a saúde (não tóxico)
- 7 - estável na emulsão
- 8 - não inflamável

Os mecanismos químicos superficiais mais importantes que precisam ser comentados para uma melhor compreensão da operação são a tensão superficial e a detergência (Figura 290) interligadas, como veremos ao explicar outros conceitos.

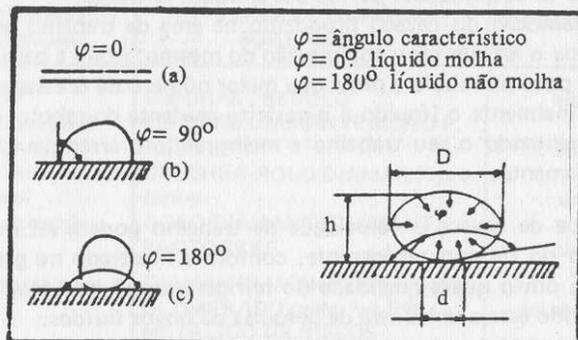


Figura 290 - Tensão superficial.

A tensão superficial é definida como o trabalho que deverá realizar uma força tangencial à superfície para aumentar em uma unidade a área mínima de uma gota. É medida praticamente em dynas/cm.

A adsorção é um fenômeno de atração superficial entre líquido e sólido, neste caso a peça e rebolo com refrigerante, que depende das características deles e da natureza do líquido, fazendo variar o valor de φ . Este valor pode oscilar entre $\varphi = 0^\circ$ existindo "molhagem" perfeita e $\varphi = 180^\circ$ quando não existe "molhagem". Um exemplo do primeiro caso está na ação do petróleo sobre os metais e um exemplo do segundo está no mercúrio que rola em esferas independentes de diversos tamanhos ao cair sobre uma superfície sólida.

Os líquidos de BAIXA TENSÃO SUPERFICIAL ou seja, quando $\varphi = 0^\circ$, molharão melhor a superfície sobre a qual forem aplicados.

Chamamos TENSÓATIVOS aqueles aditivos capazes de abaixar a tensão superficial das soluções a que são adicionados, favorecendo os mecanismos da DETERGÊNCIA.

A DETERGÊNCIA é definida como o conjunto de fenômenos físicos-químicos pelos quais a sujeira líquida ou sólida é removida da superfície do sólido, sendo dissolvida ou dispersada. O efeito prático desta ação é a limpeza da superfície em três tempos: adsorção, emulsificação e estabilização (veja Figura 291).

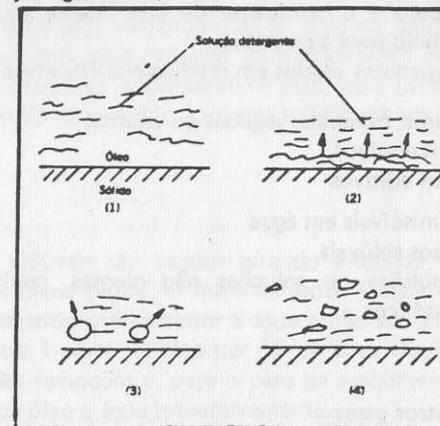


Figura 291 - Detergência - Fases evolutivas.

A presença de agentes tensoativos capazes de abaixar as tensões superficiais favorece o contato solução/peça, mantendo separadas as gotas de óleo (ou as partículas sólidas) durante a emulsificação e estabilização (3) e (4). A ação é desenvolvida nas fases indicadas via uma série de ações-reações, baseadas nas forças Van der Waals, bastante complexas e que estão fora dos objetivos deste Tema.

O pH, ou logaritmo do inverso da concentração, define outra característica importantíssima tanto para a peça como para o rebolo e está diretamente ligado ao poder detergente.

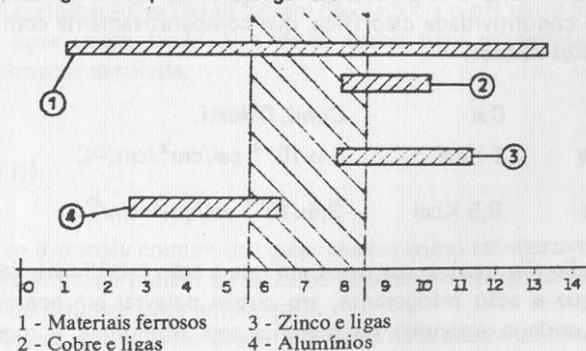


Figura 292 - pH e limites de uso - aproximados.

Como indicado na Figura 292, os materiais ferrosos admitem uma gama muito grande de valores pH, porém como veremos mais adiante o valor do pH pode afetar as ligas orgânicas e por esta razão é aconselhável trabalhar dentro dos limites indicados na zona 5,5/8,5, que por outro lado correspondem aos limites geralmente aceitos pelos organismos de controle de poluição e meio ambiente.

Em algumas operações é imprescindível o uso de valores perto de 10/11. Nestes casos é preciso uma estreita colaboração entre o usuário, o fabricante do rebolo e o fabricante do lubrificante para adequar as características do rebolo para a operação.

Os meios refrigerantes usados em retífica classificam-se em:

- I – Óleos Puros: minerais, vegetais ou animais
 - 1.1 sem aditivos
 - 1.2 com aditivos
- II – Fluídos miscíveis em água
 - 2.1 óleos solúveis
 - 2.2 emulsões ou soluções não oleosas, conhecidas como sintéticos
- III – Gases
 - 3.1 ar
 - 3.2 outros gases
- IV – Impregnantes
 - 4.1 enxofre
 - 4.2 óleo
 - 4.3 resinas

GRUPO I

Os óleos puros costumam ter uma viscosidade entre 1,8 e 4,5^oE a 50^oC.

Os óleos puros, que podem ser minerais, vegetais ou animais têm alto poder lubrificante e relativa ação refrigerante, devido ao calor específico e à sua condutividade calorífica, que comparativamente com a água apresentam estes valores:

	C.e	Cond. Calorif.
Água	1 Kcal	14x10 ⁻⁴ cal/cm ² /cm/°C
Óleo	0,5 Kcal	3,5x10 ⁻⁴ cal/cm ² /cm/°C

e por esta razão são usados nos casos em que a ação lubrificante seja mais importante que a ação refrigerante, em outras palavras em operações de acabamento onde o arranque de material seja mínimo e a rugosidade desejada de baixo valor, como no caso de retífica de roscas ou perfis complexos.

Os óleos com aditivos foram desenvolvidos para melhorar ainda mais o poder lubrificante e/ou incrementando ao mesmo tempo várias das seguintes características:

- a) viscosidade
- b) detergência
- c) poder anti-oxidante ou anticorrosivo
- d) resistência às condições de extrema pressão.

Estes aditivos são, normalmente, S livre ou combinado e CI combinado que permitem uma redução da fricção entre rebolo e peça, reduzindo conseqüentemente a temperatura pelo calor gerado e permitindo o aumento da pressão de trabalho a valores superiores aos 150 kg/mm².

GRUPO II

Os óleos solúveis são usados quando interessa aumentar o poder refrigerante dos óleos puros. O meio solvente é água e a mistura deverá ser preparada vazando o óleo sobre a água e não ao contrário. As proporções variam entre 1 parte de óleo por 80 de água até 1 por 150 em operações de grandes remoções e, para o caso de acabamento, em proporções de 1/10 partes de óleo e água respectivamente.

Para uma concentração de 5% o pH deve oscilar entre 7 e 10,5.

Um grande passo foi dado na engenharia de fluídos refrigerantes com a introdução dos fluídos sintéticos, compostos orgânicos e inorgânicos solúveis em água e não oleosos. A possibilidade de formular fluídos de características controladas, ou desenhadas sob medida, permite obter valores ótimos de detergência, lubrificação e refrigeração, além de propriedades anticorrosivas e antissépticas de alto valor para o desempenho nas operações de retífica modernas.

Em geral têm alto poder detergente, limpando profundamente a superfície do rebolo e o poder lubrificante costuma ser relativamente baixo.

As concentrações usuais variam de 3 a 5% e o pH entre 9 e 12.

A água usada tanto para óleos como para os sintéticos deve ser preferivelmente destilada.

GRUPO III

O ar é o mais comum dos gases usados como refrigerante. De fato as operações em seco podem ser consideradas como refrigeradas por ar, seja injetado ou simplesmente ambiental.

O outro gás às vezes usado é o CO₂, com excelente desempenho refrigerante sobre a peça. Dois são os grandes inconvenientes do CO₂: é caro e de poder lubrificante nulo, como no caso do ar.

GRUPO IV

Como impregnantes sólidos usuais em rebolos, exclusivamente vitrificados, encontramos como mais importantes, o enxofre e as ceras e resinas.

O óleo é pouco usado e quase reservado para operações de afiação de ferramentas normais: talhadeiras e similares.

Os rebolos são impregnados ou "banhados" em ceras, resinas ou enxofre depois da queima e normalmente depois do acabamento.

As características gerais de desempenho produzidas pelos impregnantes são as mesmas que as perseguidas com o uso de refrigerantes líquidos, apresentando algumas vantagens no caso de operações de retífica interna, rebolos de pouca espessura em retífica cilíndrica e em superacabamento (lapidado e brunido).

Estes materiais, especialmente no caso das ceras e enxofre, fundem com a ação do calor gerado na zona de trabalho (o ponto de fusão delas é muito baixo) liquefazendo-se imediatamente e providenciando um alto poder lubrificante no ponto de contato grão abrasivo/peça, que seria difícil de atingir com jato refrigerante, especialmente se a área de trabalho é pequena como no caso de retífica interna e brunido.

Alguns tipos de resina são adequados como impregnantes de rebolos vitrificados em operações de desbaste pesado.

Rebolos "enxofrados" ou banhados em ceras ou graxas são usados em operações sobre materiais não ferrosos, permitindo uma maior vida entre dressagens e um melhor rendimento de remoção.

Recomendações de Uso

Nem todos os líquidos são adequados para todos os rebolos. Alguns atacam os rebolos, provocando sérios problemas na operação. É preciso, por esta razão, informar-se com o fabricante do rebole sobre a qualidade do líquido para que ele possa tomar as providências necessárias em vista das condições de trabalho.

A Tabela 32 traz indicações iniciais acerca da ação de alguns refrigerantes sobre as ligas.

TABELA 32 – RESISTÊNCIA DAS LIGAS AOS LÍQUIDOS

Tipo de liga	Água	Óleo e Óleo Solúvel	Soluções Alcalinas			Petróleo
			1%	3%	5%	
Vitrificada	—	—	—	—	—	—
Resina	leve ação	leve ação*	leve*	leve*	importante*	—
Borracha	—	ação importante	—	—	—	—

(*) Dependendo do pH da solução ou do óleo a ação será mais pronunciada, porém o fabricante tem meios para evitar o problema.

Para uma primeira escolha, sugerimos os valores da Tabela 33.

TABELA 33 – TIPOS DE LÍQUIDOS PARA DIVERSOS MATERIAIS (*)

	Ret. Plana	Ret. Centerless	Ret. Cilíndrica
Aços < 70 kg/mm ²	SA	SSS	SA
Aços 70 ÷ 110 kg/mm ²	SA	SSS	SA
Aços > 110 kg/mm ²	SA	EP	SSS
Aço inox	SSS	EP	EP
FoFo (em geral)	SA	SS	SS
Níquel e ligas	SA	SC	SC
Alumínio	SON	SON	SON
Cobre e suas ligas			

EP = Óleo com aditivos EP (emulsão)
 SA = Solução alcalina (sem óleo) sintética
 SC = Solução coloidal (sem óleo) sintética
 SON = Emulsão óleo neutra
 SSS = Solução semi-sintética – oleosa (sintético + óleo)

(*) Ver no fim do Capítulo "Conselhos Práticos".

INSTALAÇÃO E FILTROS

O esquema da Figura 293 dá uma idéia geral da disposição dos principais elementos de uma instalação.

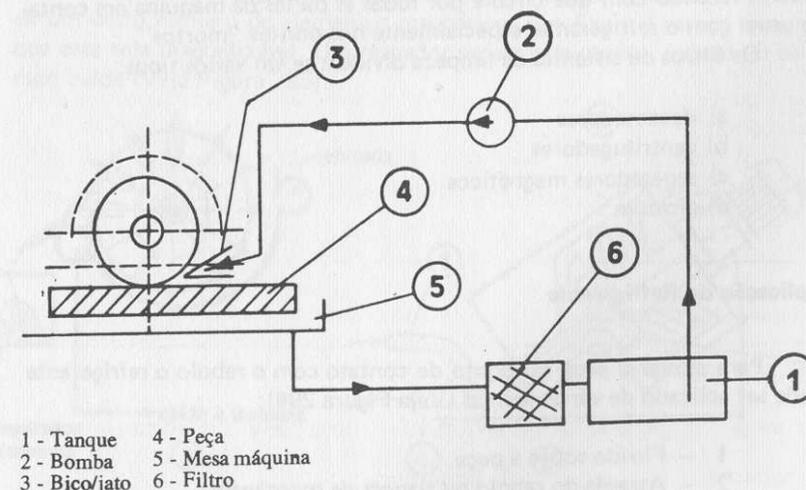


Figura 293. Esquema de circuito-refrigeração.

Como orientação consideram-se os valores seguintes para vazão de refrigerante:

- 10 l/min por HP ou
- 1 l/min por cada mm de espessura do rebolo

e a capacidade do tanque deverá ser de 2 a 2,5 vezes o valor da vazão.

A temperatura máxima de trabalho recomendada será de 50/60°C, para evitar a formação de bolhas de ar que impedem uma ação normal do refrigerante.

Os filtros são necessários para limpar o fluído de forma que possa ser usado novamente, pois o comportamento de um rebolo é variável em função da temperatura e da sujeira em suspensão no refrigerante (além do pH e da concentração, no caso de óleos solúveis).

Um líquido sujo fechará ou "carregará" mais o rebolo de partículas procedentes da própria peça, fazendo com que:

- a) o acabamento piore,
- b) a temperatura aumente, e
- c) o rebolo precise de mais número de dressagens.

Resumindo, a operação pode tornar-se antieconômica pelo simples fato de não existir um filtro ou este estar em péssimas condições.

É preciso pois manter um controle constante do estado do refrigerante, comprovando: partículas em suspensão (limpeza), temperatura, pH e conseqüentemente concentração.

Uma limpeza periódica de todo o circuito é aconselhável em função do trabalho a que esteja submetido. Usa-se uma solução de soda cáustica a 10%, fazendo com que circule por todas as partes da máquina em contato usual com o refrigerante, especialmente nos pontos "mortos".

Os filtros ou sistemas de limpeza dividem-se em vários tipos:

- a) decantadores
- b) centrifugadores
- c) separadores magnéticos
- d) ciclones

Aplicação do Refrigerante

Para atingir a peça no ponto de contato com o rebolo o refrigerante pode ser aplicado de várias formas (Veja Figura 294):

- 1 - Fluído sobre a peça.
- 2 - Através do rebolo ou flanges de montagem.
- 3 - Névoa (spray).
- 4 - Jato.

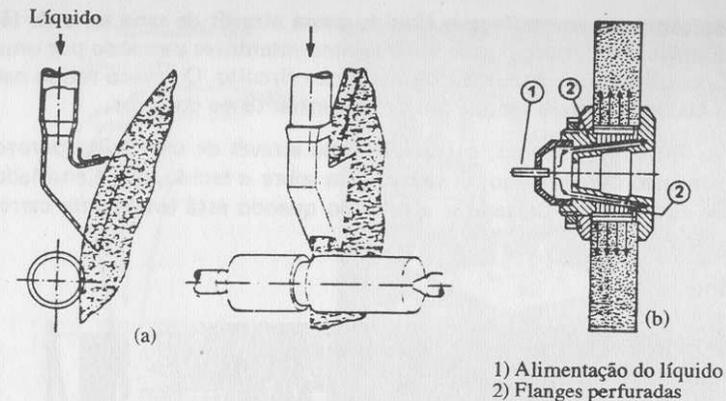


Figura 294. Formas de aplicação do refrigerante.

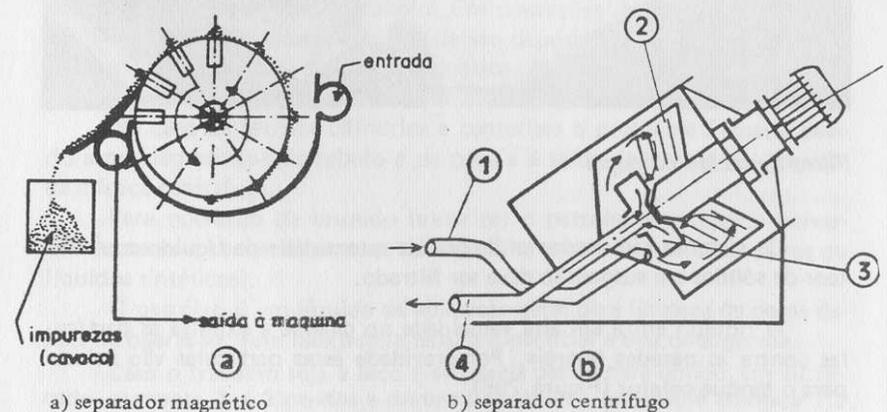
A forma (a) é a mais usada e conhecida. A forma (b) apresenta os inconvenientes imagináveis quando o rebolo não é poroso.

As aplicações a névoa e a jato permitem uma alta velocidade de saída e uma localização precisa (no segundo caso), usando pressões no sistema muito mais elevadas do que as convencionais.

Quando a operação é lenta e o cavaco desprendido é grande, um sistema de decantação simples pode ser usado embora não seja aconselhável.

Os filtros de tecidos ou papel contínuo são muito empregados, especialmente em instalações centralizadas e às vezes em combinação com sistemas trocadores de calor e/ou de separação forçada magnética ou de centrifugação.

O separador magnético é constituído por um rotor/tambor provido de um certo número de elementos magnéticos que fixam o cavaco sempre que este seja magnetizável. Um raspador separa este cavaco, fazendo-o cair num balde (Veja Figura 295).



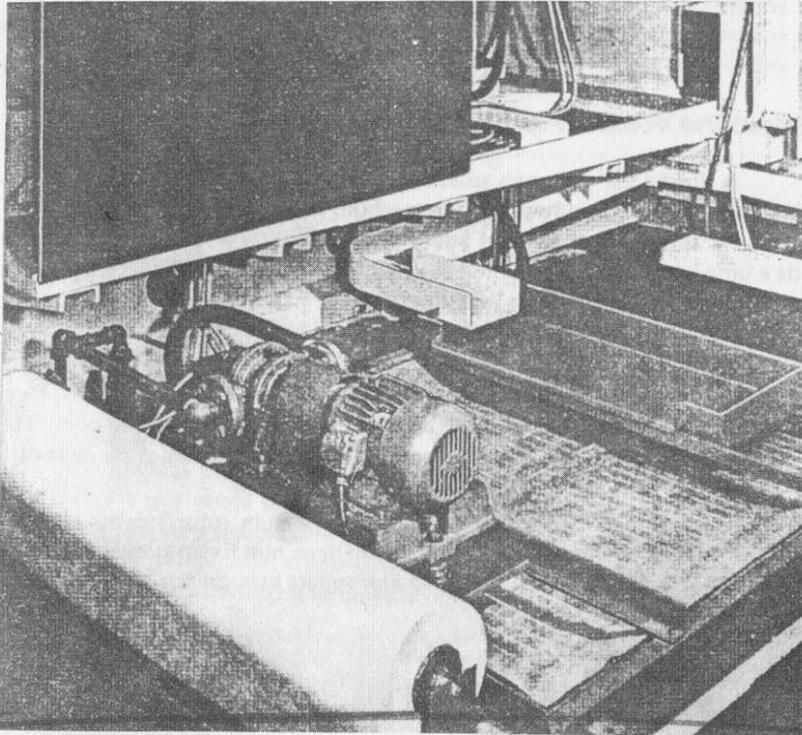
a) separador magnético

b) separador centrifugador

Figura 295 Filtragem do refrigerante.

No separador centrífugo o líquido passa através de uma serie de lâminas metálicas em rotação, que atuam como retentores passando por uma bomba centrípeta que o injeta novamente ao circuito. O cavaco retido nas lâminas cai no fundo do tanque por parada instantânea do rotor.

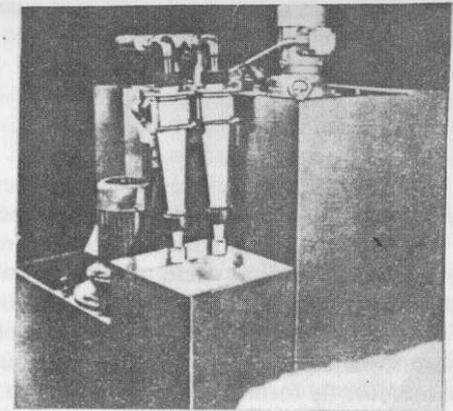
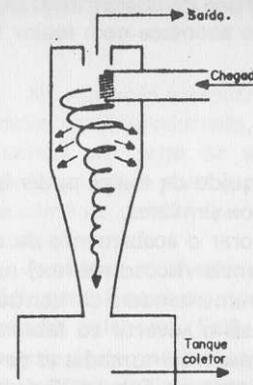
No filtro com tecido, o líquido passa através de um tecido poroso em movimento descontínuo. O cavaco fica sobre o tecido, que é enrolado na outra extremidade do tanque e retirado quando está totalmente carregado (veja Foto)



Filtro de tecido ou papel

Os ciclones são usados onde grande quantidade de líquido com alto teor de sólidos em suspensão deve ser filtrado.

O líquido entra em alta velocidade no ciclone e expulsa as partículas contra as paredes laterais. Por gravidade estas partículas vão caindo para o tanque coletor (Figura 296).



separador centrífugo

Figura 296. Ciclone separador – Princípio de funcionamento

Notas e conselhos práticos sobre o uso de refrigerantes

Considerando o tipo da máquina e da operação, o tipo do rebolo, o tipo do material e o acabamento desejado, damos a seguir alguns conselhos práticos que devem ser estudados conjuntamente com a Tabela 33.

1 – Máquina e operação:

Quase todas as máquinas podem trabalhar com soluções aquosas, com exceção das retíficas especiais para roscas, engrenagens e similares. É aconselhável o uso de óleos puros para proteger os mecanismos da ação corrosiva ou oxidante de alguns líquidos. Para operações de retífica interna é preciso usar líquidos de alta detergência porque o espaço (área) de trabalho é muito pequeno e a máxima atenção deve ser para a remoção do cavaco da superfície do rebolo. Em operações de retífica plana este problema também pode aparecer, criando depósitos que interferem com a capacidade de fixação da mesa magnética. Aqui devemos considerar alta vazão e detergência relativamente alta.

No caso de retífica cilíndrica e centerless o problema é menor devido a posição relativa do rebolo e da peça e à saída do cavaco por gravidade e força centrífuga.

Para operação de brunido (exterior) o petróleo é o líquido universal. Às vezes o uso de óleos com aditivos EP é aconselhável (óleos puros ou líquidos sintéticos).

O petróleo é um líquido de aplicação geral para limpeza de peças depois da operação. Tem baixíssima tensão superficial e boa detergência.

Caso o trabalho seja a seco e se deseja passar para úmido, em vitrificado, aumente 1 a 2 pontos a dureza do rebolo e em resina amoleça 1 a 2 pontos.

Usando óleos puros é possível reduzir o risco de microtrincas que às vezes são produzidas pelo choque térmico, que acontece com maior facilidade no emprego de soluções aquosas.

2 – Rebolo:

Os rebolos perfilados precisam de um líquido de maior poder lubrificante do que os rebolos de perfil RT (tipo 1) ou similares.

Para uma mesma dureza podemos melhorar o acabamento de qualquer tipo de rebolo usando um óleo (quanto mais viscoso melhor) no lugar de uma solução (oleosa ou sintética) ou incrementando a concentração.

Quando o pH for superior a 7,5 é necessário advertir ao fabricante, no caso de usar rebolos resinóides, para que possam ser tomadas as devidas precauções de formulação, pois conforme indicado na Tabela 32 os líquidos de pH acima do limite indicado podem atacar a liga.

Em operações críticas é preferível usar um líquido detergente, de forma que o rebolo trabalhe limpo, sacrificando se for preciso a qualidade do acabamento, pois este pode ser obtido em uma segunda operação com outro rebolo de granulometria e estrutura adequada.

3 – Material:

Na Figura 294 damos uma orientação dos limites de trabalho dos líquidos em relação ao pH e nas Tabelas 32 e 33 as orientações pertinentes à escolha. Porém é bom lembrar que nos casos duvidosos é aconselhável fazer um teste de imersão na peça e observar o resultado.

No caso de aços inox e ligas de Al e Cu é adequado o uso de óleos puros ou solúveis antes dos sintéticos, evitando sempre os valores elevados do pH.

4 – Acabamento desejado:

Considerando o fluído como fator isolado, lembramos que óleos e soluções oleosas proporcionam melhor acabamento do que os sintéticos. Quanto maior o poder detergente, maior a capacidade de limpeza do rebolo.

O uso de óleos com aditivos, em casos específicos de alta pressão e alta precisão de acabamento, é provavelmente uma boa solução, porém, insistimos mais uma vez em que é necessário o estudo de todos os parâmetros conjuntamente com técnicos de aplicação de líquidos e rebolos para encontrar o ponto de equilíbrio.

Finalmente devemos lembrar que uma especial atenção deve ser dedicada ao problema de poluição, pois os líquidos descontrolados podem ser causadores de doenças dermatológicas nos funcionários que trabalham com eles e até criar problemas legais devido à vazão nos esgotos de álcalis muito fortes.

III. 6. BALANCEAMENTO

Na recepção e especialmente antes da montagem na máquina o rebolo deve ser inspecionado, sendo conferidas as dimensões, o aspecto e efetuando um teste de som (conforme veremos no item NORMAS) batendo em dois pontos ou mais para tentar detectar qualquer defeito, especialmente trinca que possa ter acontecido durante o transporte e manuseio.

A prática ideal seria (e dizemos seria porque muitas vezes não é seguida) montar o rebolo no eixo, balancear, montar na máquina, diamantar e voltar a balancear. Esta prática, muitas vezes por uma preocupação de economia de tempo mal-entendida, não costuma ter muitos seguidores. É necessário ter disciplina no comportamento, em especial nas pequenas oficinas de retífica, para que o balanceamento seja controlado constantemente, pois é responsável por muitos dos defeitos que aparecem na usinagem. Embora possamos eliminar o desbalanceamento antes de começar a primeira operação, ele pode aparecer de novo depois de um tempo de trabalho, por exemplo, devido à penetração do refrigerante dentro do corpo do rebolo que nem sempre apresenta uma porosidade uniforme. Esta diferença estrutural da peça faz com que a absorção seja de valor diferente em determinados pontos, provocando um desbalanceamento que deve ser corrigido imediatamente.

O desbalanceamento é um fenômeno de natureza descontínua que varia aleatoriamente e é influenciado pela modificação da massa do rebolo, à medida que vai se desgastando.

As causas principais do desbalanceamento são:

- assimetria geométrica
- heterogeneidade do rebolo
- flexão do eixo da máquina
- impregnação do líquido refrigerante

sendo as suas conseqüências mais importantes:

- vibrações (ver capítulo de máquinas-retíficas)
- trepidações (ver capítulo de máquinas-retíficas)
- desgaste anormal dos mancais
- diminuição da velocidade de ruptura do rebolo, por acréscimo das tensões.

Especialmente lembramos aqui:

- a) a influência das vibrações que podem chegar a limites extremos de ressonância, diminuindo perigosamente os limites mecânicos de trabalho do sistema de transmissão, e

b) a necessidade de deixar virar o rebolo durante vários minutos em vazio, com sistema refrigerante desligado, antes de efetuar a comprovação do desbalanceamento. Esta recomendação deve ser seguida também sempre que a máquina deva parar, no fim da jornada ou para revisão, permitindo que o rebolo expulse todo o líquido que o impregnou.

O estudo cinemático deste problema já foi feito no Capítulo de Fabricação, inclusive com comentários a respeito do tipo de máquinas e cavaletes recomendados para determinação dos valores do desbalanceamento. Agora veremos a parte que interessa do ponto de vista prático para o usuário, começando pelas flanges com contrapesos, que são de dois tipos:

- a) de três contrapesos, e
- b) de dois contrapesos.

O balanceamento com três contrapesos (Figura 297), efetua-se fixando um deles na direção oposta, 180° , do ponto desbalanceado e os outros dois formando um ângulo igual com o primeiro, um a cada lado. Corrigindo o valor do ângulo formado pelos contrapesos 2 e 3 consegue-se depois de alguma tentativa um balanceamento perfeito.

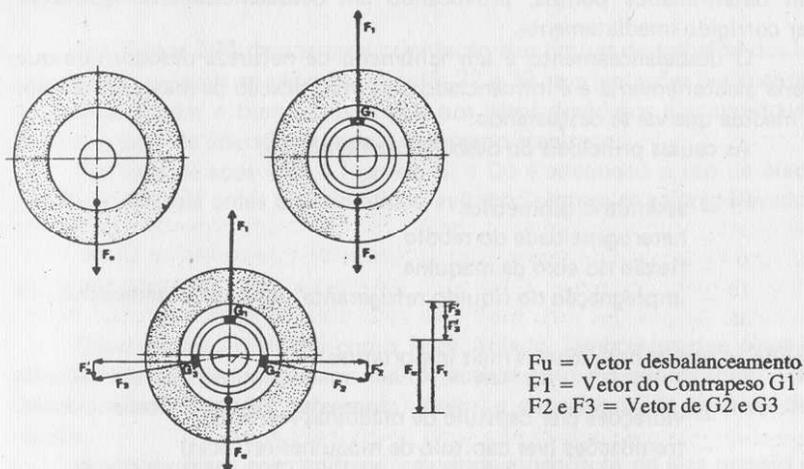


Figura 297. Balanceamento com três contrapesos.

A necessidade de usar três pesos é derivada do fato de que o valor de G_1 multiplicado pelo raio da sua posição (ranhura) raramente coincide exatamente com o valor do desbalanceamento. Idealmente deveria cumprir-se que:

$$G_1 \cdot r = mr' \text{ sendo } m \text{ o valor do peso do desbalanceamento e } r \text{ e } r' \text{ os raios respectivos, ou seja } F_1$$

Colocando os dois contrapesos auxiliares em ângulos iguais a partir de F_1 os contrapesos G_2 e G_3 apresentam as respectivas componentes F_2' e F_3' que anulam-se mutuamente sendo que estão em oposição e têm o mesmo valor.

$$\text{Assim: } \vec{F}_1 - (\vec{F}_2' + \vec{F}_3') = \vec{F}_u$$

É preciso, por esta razão, conservar sempre o mesmo ângulo para G_2 e G_3 .

Para o caso de pequenos rebolos, de pouca espessura, usam-se flanges de montagem com unicamente dois contrapesos.

O esquema dispositivo está indicado na Figura 298 e a diferença consiste em deixar marcada a posição que ocuparia o contrapeso G_1 e colocar em ambos os lados os contrapesos G_2 e G_3 de forma a compensar o valor de F_u .

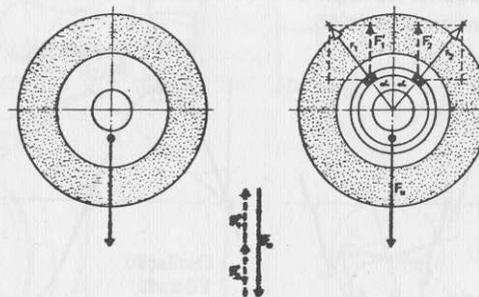


Figura 298. Balanceamento com dois contrapesos.

Além dos cavaletes e das barras paralelas também são usadas balanças que permitem uma maior precisão por não terem dependência do atrito eixo-suportes de rodagem, nem precisam de tolerâncias de ajuste eixo-furo do rebolo exigentes. O berço repousa sobre "ves" em ágata, por meio de facas. As balanças mais modernas estão equipadas com sistemas eletromecânicos de medição.

Nos sistemas até aqui comentados o rebolo precisa ser retirado da máquina para ser balanceado, o que apresenta limitações operacionais, especialmente nos casos de produção de grandes séries.

Para contornar este problema é aconselhável o uso de aparelhos capazes de medir o desbalanceamento diretamente sobre a máquina, sem desmontar o rebolo. O operador da máquina usa os contrapesos situados na flange livre do rebolo para efetuar a compensação (sem mexer nos da flange traseira, para evitar a desmontagem) de forma que o reajuste é rápido. Os contrapesos usados nesta flange livre deverão ser de pouco peso para aumentar a precisão do rebalanceamento.

Os contrapesos da face interior do rebolo (do lado da máquina), mais pesados, são usados para compensar o desbalanceamento na primeira comprovação e correção em cavalete ou balança.

Existem dois tipos de aparelho: um equipado com sensor e estroboscópio e o outro chamado comercialmente Kompenser (Hofmann), dotado de sensor e sistema de compensação montado no eixo.

O aparelho estroboscópico dispara o flash a cada passagem positiva da senóide pelo zero, obtendo uma referência exata da posição do desbalanceamento, o que permite o deslocamento de correção dos contrapesos. Esta correção é efetuada em 3 ou 4 ajustes. Na Figura 299 vemos a colocação dos elementos de medição.

O aparelho Kompenser foi desenvolvido pela exigência de uma rápida operação de balanceamento nas máquinas modernas, que trabalham em altas velocidades (superiores a 35 m/s).

Para conservar o nível de qualidade pretendido com usinagem em alta velocidade e lembrando que os esforços centrífugos aumentam com o quadrado da velocidade periférica, seria preferível efetuar o balanceamento na própria máquina no lugar de fazê-lo fora dela e com a ajuda dos cavaletes de balanceamento estático.

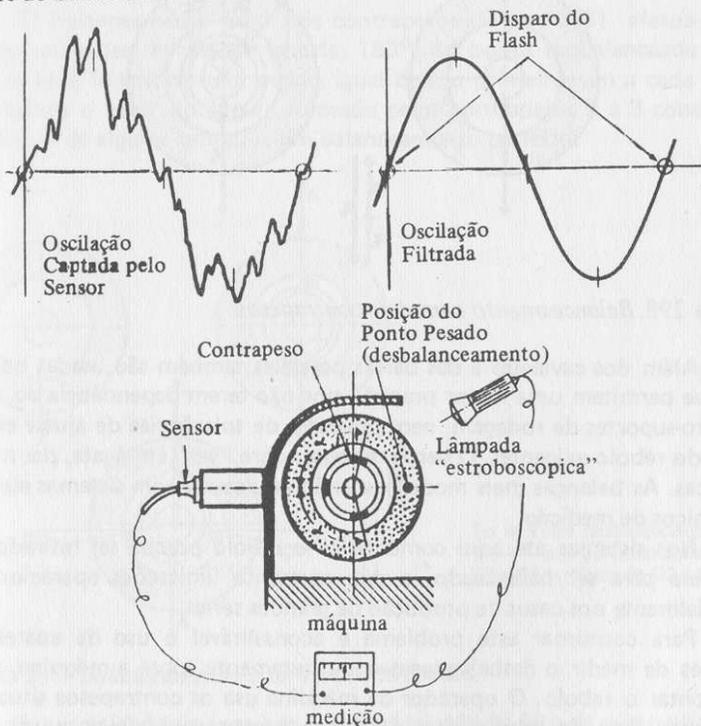


Figura 299. Correção do desbalanceamento com estroboscópio.

Teoricamente o aparelho com sistema estroboscópico permite este teste na máquina, porém, em altas velocidades e no caso de rebolos grandes, o tempo necessário para a compensação é muito grande devido ao tempo de desaceleração do rebole. Por outro lado a prática demonstrou

que a comprovação do desbalanceamento deve ser mais freqüente quanto maior seja a velocidade de trabalho. Daí a necessidade de ter um método rápido de compensação para reduzir ao mínimo os tempos curtos. O aparelho Kompenser pode ser montado em todos os eixos de rebolos que trabalhem com um extremo livre.

As ilustrações da Figura 300 mostram o esquema de montagem e o princípio de funcionamento. Com ajuda dos anéis de regulagem podem-se deslocar radialmente os contrapesos enquanto o eixo continua girando, pois o dispositivo de montagem permite manter estática a parte externa onde estão alojados os anéis de ajustagem.

Outro modelo mais sofisticado, o Hydrokompenser, baseado no mesmo princípio, usa câmaras anulares contendo água como contrapesos compensadores.

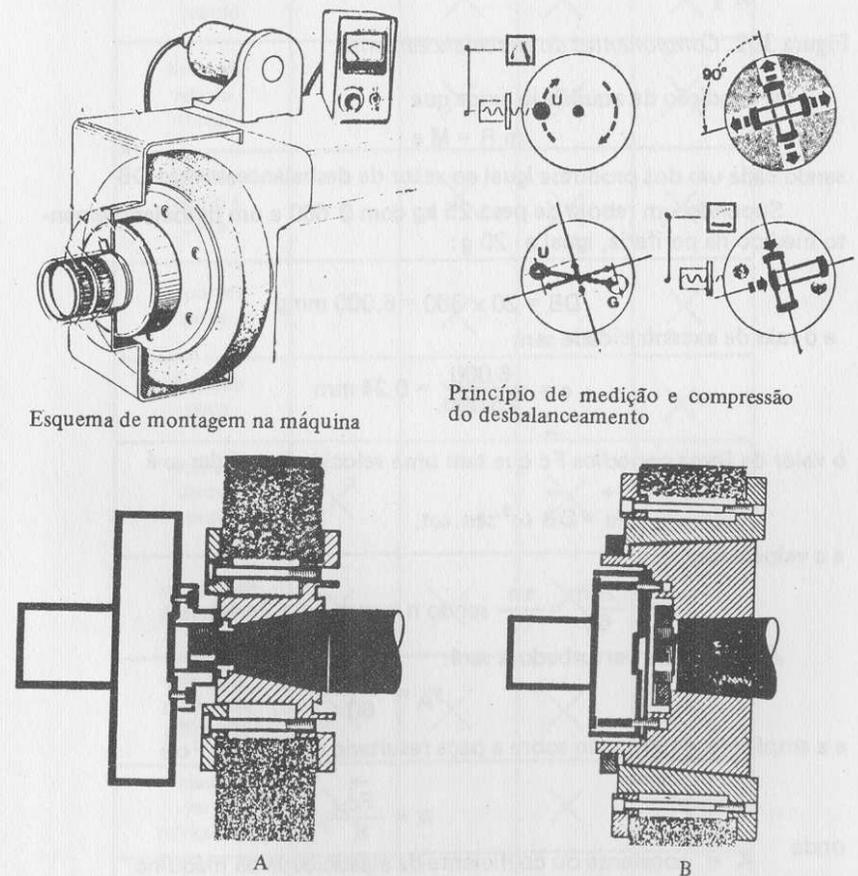


Figura 300. Esquema de montagem do Kompenser. A e B - Posições de montagem (diferentes tipos de aparelhos)

Como resumo deste Tema vamos lembrar os conceitos já expostos no Capítulo 2 (Tema Desbalanceamento) em relação aos valores e fatores que influem sobre a peça com ajuda da Figura 301.

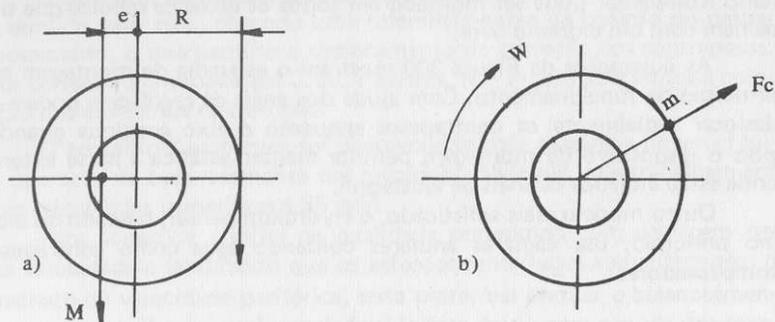


Figura 301. Componentes do desbalanceamento.

A condição de equilíbrio exige que

$$m R = M e$$

sendo cada um dos produtos igual ao vetor de desbalanceamento DB

Supondo um rebolo de peso 25 kg com \varnothing 600 e um desbalanceamento medido na periferia, igual a 20 g:

$$DB = 20 \times 300 = 6.000 \text{ mmg}$$

e o raio de excentricidade será

$$e = \frac{6.000}{25.000} = 0,24 \text{ mm}$$

o valor da força periódica F_c que tem uma velocidade angular ω é

$$F_c = DB \omega^2 \text{ sen. } \omega t,$$

e a velocidade

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30} \text{ sendo } n = \text{rpm} (\omega = 2\pi \text{ fa})$$

A frequência perturbadora será:

$$f_A = \frac{n}{60}$$

e a amplitude da vibração sobre a peça resultado da ação de F_c é

$$A = \frac{F_c}{K} j$$

onde K = constante ou coeficiente da elasticidade da máquina

$$j = \frac{1}{1 - f_A^2 / f_p^2} = \text{fator de amplificação};$$

$$f_p = \sqrt{K/M}$$

III.7 Defeitos mais frequentes encontrados em operações de retificação

Como norma de uso geral indicamos na Tabela 34 valores que orientarão na primeira escolha dos pontos a conferir.

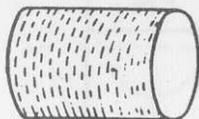
TABELA 34

especificação do rebolo	X	X	X	X	
vazão de refrigerante na dressagem	X		X		
balancto. rebolo		X	X	X	
limpeza rebolo (face)		X	X	X	
RPM rebolo e peça		X	X	X	
suportes peça		X		X	
sujeição peça		X		X	
conferir dureza peça	X		X		
velocidade dressagem	X	X	X		
estado e qualidade diamante	X	X	X	X	
ajustar vazão refrigerante	X		X	X	
Conferir ↑	↑	Queimaduras	Marcas	Acabamento	Ovalização

Vamos ver em continuação alguns casos concretos de defeitos que podem apresentar as diferentes operações e suas causas, que permitirão as correções pertinentes.

RETÍFICA CILÍNDRICA EXTERNA

Peça



Causa possível

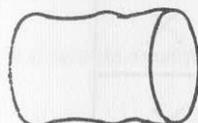
- Rebolo macio
- Rebolo grana grossa
- Relação velocidade peça/rebolo incorreta
- Diamante inadequado

Peças com riscos



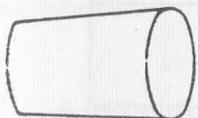
- Rebolo duro ou de grão excessivamente fino
- Baixa rotação da peça
- Avanço excessivamente rápido
- Profundidade de passe excessivo
- Refrigeração insuficiente
- Refrigerante não adequado
- Verificar tensão das correias

Peça queimada ou com fendas



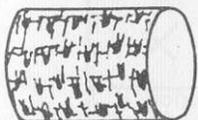
- Folga no eixo porta-rebolo
- Carro ou dispositivo porta diamante solto
- Diamante inadequado
- Mesa com defeito nas guias

Peça de dimensões irregulares



- Rebolo mole
- Mesa com defeito nas guias
- Alinhamento dos pontos de suporte defeituoso

Conicidade da peça



- Rebolo mole
- Vibração no diamante
- Refrigerante sujo

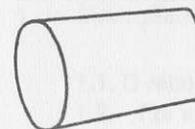
Queimaduras e material arrancado em forma de vírgula

RETÍFICA CENTERLESS



- Rebolo duro
- Rebolo estrutura fechada demais
- Velocidade rebolo excessiva
- Excessiva profundidade de passe
- Refrigeração insuficiente

Queimaduras e fendas



- Rebolo com dressagem defeituosa
- Rebolo de trabalho "estrito" (altura insuficiente)
- Rebolo de trabalho mole
- Paralelismo dos rebolos incorreto
- Régua de apoio mal colocada

Peças cônicas



- Rotação da peça irregular
- Colocação da régua, defeituosa
- Pouco sobremetal

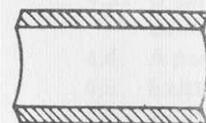
Peça deformada com cantos arredondados



- Rebolo de trabalho duro
- Posição de régua, defeituosa
- Excessiva profundidade de passe
- Velocidade de translação excessiva

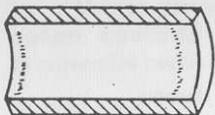
Peças ovalizadas

RETÍFICA INTERNA



- Rebolo mole
- Erro paralelismo eixos rebolo/peça
- Eixo porta-rebolo de comprimento excessivo

Conicidade



Peça deformada na entrada e na saída

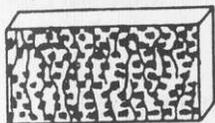
- Falta de rigidez no eixo porta-rebolo
- Curso do rebolo excessivo
- Rebolo duro



Queimaduras e fendas

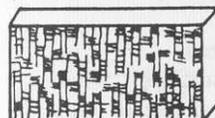
- Velocidade excessiva do rebolo
- Velocidade da peça insuficiente
- Profundidade de passe muito grande
- Rebolo duro ou de grana excessivamente fina
- Falta de refrigeração

RETÍFICA PLANA



Queimaduras e fendas

- Velocidade excessiva do rebolo
- Profundidade de passe excessiva
- Movimento da mesa irregular
- Dressagem deficiente
- Rebolo duro ou de grana excessivamente fina



Facetas

- Folga no eixo porta-rebolo
- Defeito no mecanismo de deslocamento da mesa
- Rebolo desbalanceado
- Rebolo de grana excessivamente fina
- Rebolo duro

QUEBRA DE UM REBOLO

Quando ocorrer a quebra de um rebolo, uma pesquisa séria deve ser feita, estudando todos os aspectos e cada um dos detalhes deve ser minuciosamente anotado para poder determinar a causa do acidente.

Para proceder com um método preciso anotamos a seguir os itens mais importantes a serem conferidos, em forma de questionário, que deverá ser analisado pelos técnicos competentes, tanto do usuário quanto do fabricante do rebolo:

1 - MANUSEIO

- 1.1. O rebolo foi vistoriado na sua chegada?
- 1.2. Foi examinado e feito o teste de som antes da montagem?

2 - MÁQUINA

- 2.1. A máquina está em boas condições? Vibra?
- 2.2. O eixo apresenta folga?
- 2.3. A velocidade de giro é correta?
- 2.4. O motor é de corrente contínua, suscetível de aceleração?
- 2.5. Se existe uma caixa de câmbio de velocidade, o dispositivo de segurança funciona?

3 - FLANGES E ELEMENTOS DE MONTAGEM

- 3.1. O eixo porta-rebolo aquece-se de forma excessiva?
- 3.2. O eixo gira no sentido correto?
- 3.3. Anotar dimensões: \emptyset e espessuras.
- 3.4. Conferir planicidade dos elementos (flanges) de apoio.
- 3.5. Desenho das flanges e perfil conforme normas, sim ou não?

4 - MONTAGEM

- 4.1. A montagem foi feita por funcionário experiente?
- 4.2. O rebolo apresenta sinais de ter sido forçado sobre o eixo?
- 4.3. O torque dos parafusos da flange de montagem foi excessivo? ou insuficiente?
- 4.4. A porca de fixação pode se afrouxar durante a aceleração?
- 4.5. Existe junta de aperto?
- 4.6. As marcas sobre as etiquetas mostram aperto defeituoso?

5 - CONDIÇÕES DE USO

- 5.1. O operador da máquina conhece bem a operação? (é experiente?)
- 5.2. O rebolo trabalha com pressão excessiva? Aquece-se demais? Diminui a velocidade de giro durante o trabalho?
- 5.3. O rebolo previsto para trabalho em sentido radial, sofre pressões laterais?
- 5.4. A peça é suscetível de ficar travada entre o suporte e o rebolo ou em qualquer outro elemento da máquina?
- 5.5. Qual o líquido ou refrigerante usado?
- 5.6. O rebolo fica impregnado ou mergulha no líquido em condições de repouso?
- 5.7. Antes da parada diária o rebolo gira sem carga para expulsar o líquido?
- 5.8. Quais as condições de trabalho da operação: profundidade de passe, velocidade da peça, etc..
- 5.9. As dimensões das peças são constantes?
- 5.10. O carro porta-diamante desloca-se em perfeitas condições?
- 5.11. O elemento de dressagem está em perfeitas condições?

6 - VERIFICAÇÃO DO REBOLO QUEBRADO

- 6.1. Esta análise somente pode ser feita nos laboratórios do fabricante, para onde deverão ser remetidos todos os pedaços, com toda a informação adicional: características de controle e/ou número da ordem de fabricação.

Estas indicações não são limitativas e pretendem chamar a atenção dos usuários sobre a importância de todos os detalhes envolvidos nas operações de retífica.

III. 8 Análise da operação de retífica - Estudo de rendimentos

Para se efetuar uma análise de operação, essencialmente econômica, considera-se principalmente o critério G.

"G" corresponde ao valor de

$$\frac{(L^3)}{(L^3)} \frac{V_{gp}}{V_{gr}} = G$$

onde V_{gp} = Volume gasto da peça
 V_{gr} = Volume gasto do rebolo

Conhecido o valor removido numa peça, para uma operação em estudo e sabendo o volume gasto do rebolo para a mesma peça, podemos determinar a quantidade de peças a esperar por rebolo

$$\frac{G \cdot V_{ur}}{V_p} = N$$

V_{ur} = Volume útil do rebolo
 V_p = Volume a retirar por peça
 N = Número de peças esperadas

Cronometrando o tempo real de operação podemos determinar a vazão da remoção:

$$\frac{V_{gp}}{t} = Q$$

sendo V_{gp} = Volume gasto por peça
 t = Tempo real (total)
 Q = Vazão da remoção [L^3/T]

e a quantidade de peças por hora será a velocidade da produção

$$\frac{Q \cdot 60}{V_{gp}} = N_{ph}$$

Q = Vazão remoção
 V_{gp} = Volume gasto da peça
 N_{ph} = Número de peças hora

O custo de cada peça será:

$$C_m + C_r = C_t$$

sendo C_m = custo máquina
 C_r = custo rebolo
 C_t = custo total

Conhecendo o custo-minuto de máquina teremos:

$$\frac{C_m - 60}{N_{ph}} = \text{Custo Cz\$ máquina}$$

e o custo rebolo por peça:

$$\frac{C}{N} = \text{custo rebolo (peça)}$$

Usando as fórmulas indicadas para o rebolo A e o rebolo B (e caso necessário o rebolo C) podemos estabelecer uma comparação de rendimento econômico, aplicável para rebolos especialmente de retífica.

Para um cálculo rápido e em especial para rebolos de desbaste podemos aplicar:

$$C = \frac{1}{DNph} (V + 2SD)$$

sendo C = Custo por unidade produzida
 D = Duração do rebolo em horas
 Nph = Número de peças/hora
 S = Salário e despesas máquina
 V = Custo do rebolo

Para efetuar um estudo técnico mais aprofundado, estabelecendo critérios sobre desempenho das ligas e formulações, é usual comparar com ajuda de gráficos os resultados de diferentes rebolos.

Assim mediremos:

- Valor G
- Desgaste do diamante dressado ou formado
- Erro macrogeométrico da forma ou rugosidade

Num teste típico para analisar as características técnicas de um rebolo e avaliar o desempenho de uma determinada fabricação é correto formar o rebolo com um perfil (Figura 302).

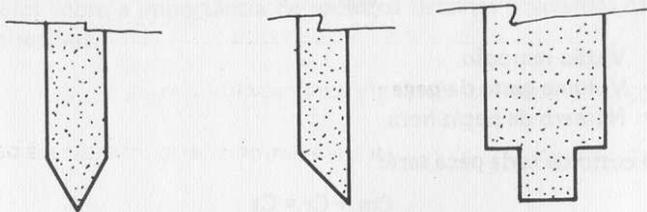
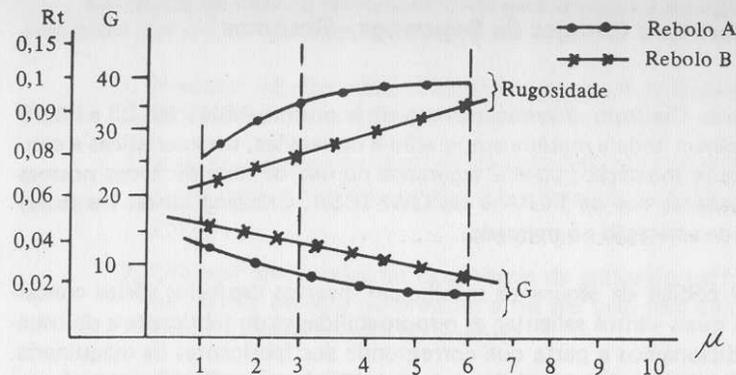


Figura 302. Exemplo de perfis para teste.

O valor de referência para os gráficos de avaliação (a), (b) e (c) serão traçados em função de profundidades de passe estabelecidas em valores fixos, por exemplo 3 μ, 6 μ e 9 μ, estudando a variação das curvas (ou retas) resultantes que podem tomar uma forma como na Figura 303 resumo dos gráficos pretendidos.



Nota: escalas variáveis e valores indicados somente como exemplo de montagem do teste.

Figura 303 Gráficos de desempenho técnico.

Para comparar o consumo de diamante calculamos o volume necessário a ser retirado do rebolo para a forma (perfil) em teste e medimos o desgaste do diamante em peso (Figura 304).

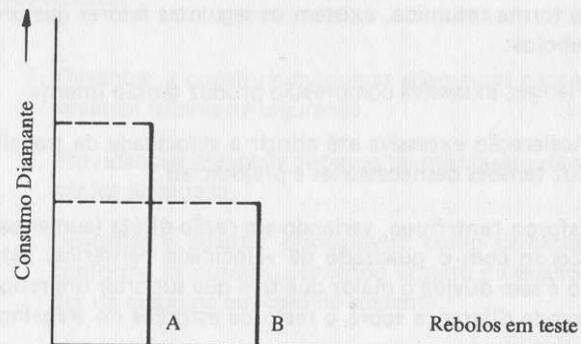


Figura 304. Consumo de diamante para cada rebolo.

Logicamente um número de parâmetros deve ser mantido, à parte do avanço já considerado:

- tempo de fagulhamento
- velocidade da mesa ou da peça
- velocidade do rebolo
- tipo e vazão do óleo (além de observar a temperatura)

Estes dados e condução do teste devem ser considerados como orientativos e não limitativos. Pretendemos unicamente fixar os critérios principais.

III.9 Normas e Códigos de Segurança - Resumos

Neste Capítulo devemos nos referir às normas ABNT NB,33 e PB.26 que recolhem toda a matéria em relação a dimensões, características e conceitos sobre marcação, tipos e segurança no uso de rebolos. Estas normas estão baseadas nas da FEPA e do GWI (USA, Grinding Wheel Institute) que são de aceitação no mercado.

O código de segurança recolhe em diversos capítulos vários conceitos dos quais vamos salientar as responsabilidades do fabricante e do usuário e adicionamos a parte que corresponde aos fabricantes da maquinaria. Se observados todos os tópicos, a operação de remoção de material com abrasivos, é uma das mais seguras, entre todas. Porém, acidentes acontecem, motivados em geral mais por desconhecimento dos fatores interligados na operação do que por defeitos próprios de fabricação. E, neste ponto, devemos lembrar que não existe o rebolo irrompível. Pensemos no vitrificado, que tem a mesma fragilidade que um prato cerâmico de hotelaria, ou o resinóide, que mesmo reforçado, pode quebrar por um esforço lateral momentâneo.

De uma forma resumida, existem os seguintes fatores que produzem tensões nos rebolos:

- a) Flanges, excessiva compressão produz tensão interna.
- b) Aceleração excessiva até atingir a velocidade de trabalho, produz tensões desnecessárias e prejudiciais.
- c) Esforço centrífugo, variando em razão direta (aumentando) de acordo com o quadrado da velocidade periférica. Este esforço é sem dúvida o maior que tem que suportar um rebolo, com grande diferença sobre o resto de esforços no trabalho na máquina.
- d) Desbalanceamento dinâmico, adiciona-se ao esforço centrífugo criando solicitações sobre o eixo e dispositivos de montagem.
- e) Impacto radial, produzido por contato brusco rebolo/peça, produz tensões capazes de até quebrar o rebolo.
- f) Esforço tangencial produzido pela componente de trabalho sobre a peça e que vai influenciar a potência consumida.
- g) Tensões devidas à geração de calor gerado na zona de contato e que devem ser neutralizadas pelo refrigerante.
- h) Cargas radiais, laterais e desaceleração brusca.

Do ponto de vista de responsabilidade pela segurança do rebolo, consideramos que são do fabricante os tópicos:

1. Produzir rebolos com a maior resistência à ruptura possível, compatível com a aplicação à qual é destinado.
2. Manter um rigoroso controle de qualidade para garantir a segurança para o usuário, indicando a máxima velocidade operacional.
3. Oferecer um serviço de Engenharia de aplicação para orientar na melhor escolha do produto e no seu uso. Isso dá maior segurança e desempenho do produto.
4. Providenciar embalagens e transportes adequados, para que o rebolo chegue ao seu destino em perfeitas condições de uso.
5. Desenvolver constantemente novos produtos, através de formulações adequadas para melhora do desempenho da operação e acompanhamento do desenvolvimento industrial.

A parte do fabricante de máquinas pode ser resumida nas seguintes responsabilidades:

1. Desenhar e construir máquinas adequadas para operar com os maiores fatores de segurança.
2. Providenciar flanges e sistemas de montagem de resistência mecânica adequada.
3. Desenhar e adaptar dispositivos, como carcaças de proteção conforme as normas, pensando sempre na segurança do operador da máquina em caso de acidente.

O usuário deve observar, e instruir devidamente operadores de máquinas e pessoal envolvido na recepção e manuseio de rebolos, os seguintes pontos:

1. Examinar o material recebido, conferindo se não foi danificado durante o transporte.
2. Manter uma rígida disciplina no manuseio e estocagem dos rebolos de acordo com as normas e indicações dos fabricantes.
3. Efetuar constantes controles do estado das máquinas, velocidades, elementos de transmissão, protetores, etc.

4. Operar sempre as máquinas tendo presente como elemento mais importante a segurança.

Em resumo, uma inspeção não inclui unicamente os controles na recepção do rebolo, deve-se estender até a máquina, dispositivos e operador.

Anexo alguns dos tipos mais interessantes das Normas ABNT NB.33 e como lembrete das operações a partir da recepção não esquecer:

Na recepção:

- Inspeção visual
- Inspeção teste de som
- Inspeção dimensional
- Observar características e marcação de rpm
- Colocar na prateleira de forma adequada

Na montagem na máquina:

- Inspeção visual
- Teste de som
- Inspeção dimensional. Atenção tolerâncias, furos/eixos
- Montagem sem forçar no eixo e nas flanges
- Aperto dos parafusos/porcas com torquímetro
- Balanceamento
- Montar na máquina e diamantar
- Balancear de novo
- Montar na máquina e deixar um mínimo de 10 min. girando à velocidade operacional, sem carga.
- Não esquecer que, em caso de trabalhar com refrigeração é necessário deixar girar o rebolo durante 30 min. em vazio antes de parar a máquina, para expulsar todo o refrigerante do seu interior, pois estando o rebolo parado, este deposita-se na parte inferior provocando um grande desbalanceamento que pode causar a ruptura ao iniciar de novo a operação.

As normas a seguir são extrato da ABNT, FEPA e GWI e insistimos, recomendamos a leitura e observação da NB.33 e PB.26 à todos aqueles envolvidos na fabricação e uso de rebolos.

— ARMAZENAGEM

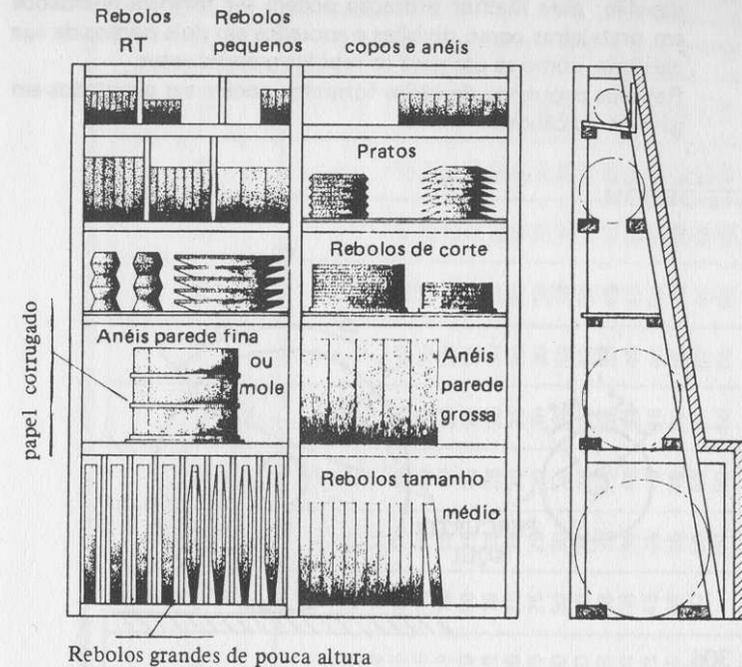


Figura 305. Este desenho mostra uma estante adequada para armazenar uma grande variedade de rebolos.

Construção das prateleiras, estantes ou armários:

- Rebolos orgânicos e de pequena altura (rebolos de corte) devem ser empilhados sobre superfície horizontal, plana, distante de calor excessivo para evitar empenamento. Chapa plana de aço serve de base para o empilhamento. Nem mesmo discos de assentamento devem ser mantidos entre rebolos finos empilhados.
- Quase todos os rebolos retos e rebaixados, de altura média, são melhor armazenados quando colocados em prateleiras com divisões, permitindo que os rebolos estejam apoiados em dois pontos de sua periferia. Os rebolos assim colocados oferecem facilidade no manuseio, evitando a queda de uns sobre os outros.

Espessuras mínimas para as partes periféricas e laterais das capas protetoras

Material empregado na construção da capa protetora	Altura máxima do rebolo mm	Diâmetro do rebolo															
		75 a 165 mm		166 a 315 mm		316 a 415 mm		416 a 515 mm		516 a 615 mm		616 a 765 mm		766 a 1275 mm			
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		
Ferro fundido satisfatório para velocidades até 35 m/s	50	6	8	10	10	12	12	16	16	20	20	25	25	32	32	35	38
	100	6	8	10	10	12	12	16	16	20	20	25	25	32	32	35	38
	150	6	8	10	10	12	12	16	16	20	20	25	25	32	32	35	38
Ferro fundido satisfatório para velocidades até 35 m/s	50	6	8	10	10	12	12	16	16	20	20	25	25	32	32	35	38
	100	6	8	10	10	12	12	16	16	20	20	25	25	32	32	35	38
	150	6	8	10	10	12	12	16	16	20	20	25	25	32	32	35	38
Aço fundido satisfatório para velocidades até 35 m/s (*)	50	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	100	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	150	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Diâmetro do rebolo mm.	A mm.	B mm.	C mm.	D mm.
25	10	2	2	2
50	20	3	3	2
75	25	5	5	2
100	40	5	5	3
125	45	6	6	3
150	50	8	10	5
175	65	10	10	5
200	75	10	10	5
250	90	13	10	6
300	100	13	13	8
350	120	16	13	8
400	140	16	13	8
450	150	19	16	10
500	175	22	16	10
550	190	22	16	11
600	200	25	16	11
650	225	25	16	13
700	240	25	19	13
750	250	30	19	16
900	300	30	22	19
1.050	350	30	22	19
1.200	400	40	28	25
1.500	500	40	30	28



NOTA: A medida B pode variar em ± 10%.

Observe-se que o φ dos flanges deve ser igual ou superior a 1/3 do diâmetro do rebolo e perfeitamente balanceadas.

Figura 308. Espessura das flanges

As espessuras indicadas na Figura 308 correspondem a valores mínimos para potências de máquinas consideradas normais, isto é:

- 10 HP para rebolo Ø 500
- 15 HP " " 600
- 25 HP " " 750
- 30 HP " " 900

Se a potência aplicada ao rebolo for superior às indicadas, a espessura mínima na borda (D) a ser usada é:

$$eT \cdot \sqrt{\frac{NHP}{NHP_t}} = esn$$

- onde NHP = Potência nova
- NHP_t = Potência tabela
- eT = Espessura tabela
- es_n = Espessura nova

Por exemplo: rebolo Ø 500, potência na máquina 20 HP

espessura "D" conf. tabela = 10

$$\text{Nova espessura: } 10 \cdot \sqrt{\frac{20}{10}} = 14/15 \text{ mm}$$

TOLERÂNCIAS DOS FUROS DOS REBOLOS

Valores em milímetros das tolerâncias (sistema ISA)

Ø rebolo	H 12	H 13	H 15	H 16
6 a 10 mm		+0,22 +0	+0,58 +0	+0,9 +0
10 a 18		+0,27 +0	+0,71 +0	+1,1 +0
18 a 30	+0,21 +0	+0,33 +0	+0,84 +0	+1,3 +0
30 a 50	+0,25 +0	+0,39 +0	+1 +0	+1,6 +0
50 a 80	+0,3 +0	+0,46 +0	+1,2 +0	+1,9 +0
80 a 120	+0,35 +0	+0,54 +0	+1,4 +0	+2,2 +0
120 a 180	+0,4 +0	+0,63 +0	+1,6 +0	+2,5 +0
180 a 250	+0,46 +0	+0,72 +0	+1,85 +0	+2,9 +0
250 a 315	+0,52 +0	+0,81 +0	+2,1 +0	+3,2 +0
315 a 400	+0,57 +0	+0,89 +0	+2,3 +0	+3,6 +0
400 a 500	+0,63 +0	+0,97 +0	+2,5 +0	+4 +0

A montagem dos rebolos no eixo não deve ser nunca forçada. O tipo de ajuste deve ser "livre escorrimto".

Rebolsos de precisão com furos normalizados, 76,2; 127; 203,2; 304,8 e 508 mm: H 11

Rebolsos de precisão com furos não normalizados superiores a 50 mm = H 12

O resto dos rebolsos = H 13

Quando o rebolo está girando, a máxima tensão produz-se na zona vizinha ao furo e por isto é necessário evitar que outras solicitações venham se adicionar às provocadas pela força centrífuga, como as provocadas pelo valor gerado durante a operação, que motivará uma dilatação das partes metálicas (eixo e flanges) e até do próprio rebolo. Por esta causa são aconselháveis os seguintes ajustes:

Rebolsos de precisão com furos normalizados: H 11/f7

Rebolsos de precisão com furos não normalizados: H 12/e 8

Resto dos rebolsos: H 13/d8

MONTAGEM

A Tabela 35 apresenta valores aproximados dos torques aplicáveis aos parafusos ou porcas das flanges de montagem. Os valores são para furos de pequenos diâmetros e eixo rosqueado.

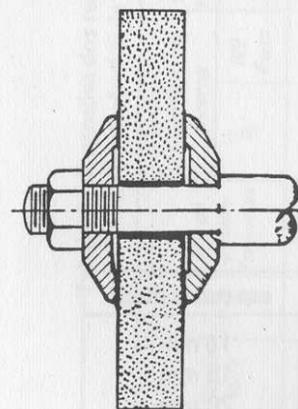


TABELA 35

Diâmetro rebolo	Passo da rosca			
	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm
100	0,4	0,4	0,6	0,8
200	1,2	1,6	2	2,8
300	—	3,6	4,8	6
400	—	6,4	8	10
500	—	10	14,8	16
600	—	14,4	19,2	24
800	—	25,6	34	44

Valores dos torques sobre porca de fixação para eixos rosqueados de pequeno diâmetro (até 80 mm) em mkg.

Os valores indicados são orientativos e correspondem à rebolos vitrificados. Para rebolos resinóides multiplicar os valores por 2.

Na Tabela 36 indicamos os valores para flanges com vários parafusos.

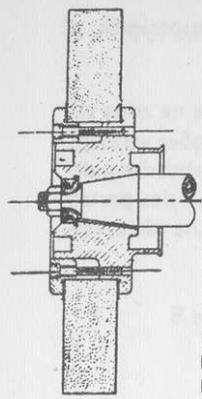
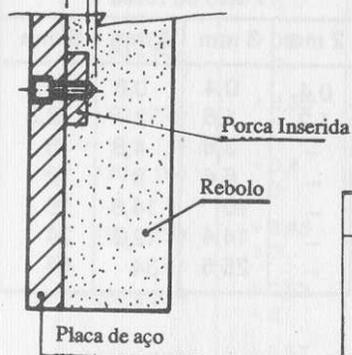
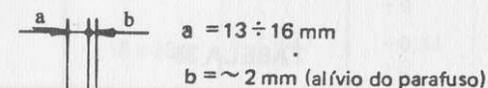


TABELA 36

Diâmetro do rebolo	Nº e passo do parafuso	Torque m Kg
250	6 de M8	0,2
400	6 de M10	0,5
600	8 de M12	1
750	8 de M16	2
1070	8 de M16	4

Para rebolos vitrificados em operação retífica plana dividir o torque por 2.
 Para rebolos resinóides de desbaste multiplicar o torque por 2.
 Para rebolos resinóides de alta pressão multiplicar o torque por 4.

PLACAS DE MONTAGEM – ESPESSURAS USUAIS



Ø rebolo	espessura placa
350–450	16 mm
475–660	18 mm
700–900	20 mm

Tabela de dimensões dos rebolos de porcas inseridas mais usuais
 Circunferências de situação e rosca das porcas

Ø	Espes-sura	Furo	Nº de Circunferências	Circunferência Interna		1ª Circunfer. Intermediária		2ª Circunfer. Intermediária		Circunfer. Externa		Total de	
				Ø	Nº Furo	Ø	Nº Furo	Ø	Nº Furo	Ø	Nº Furo	Furos	Roscas
355	45/50	152	2	190,5	5					280	10	15	9,52
457	45/50	178	2	250	6					405	12	18	9,52
508	45/50	152	3	203,2	6	304,8	6			431,8	12	24	9,52
508	45/50	90	4	107,95	3	203,2	6	304,8	6	431,8	12	27	9,52
660	45/50	178	3	280	7	430	7			580	14	28	9,52
760	45/50	152	3	254	6	457	12			660	18	36	9,52
900	45/50	600	2	650	16					650	16	32	9,52

POLUIÇÃO E PROTEÇÃO PESSOAL

Para evitar as moléstias provocadas pelo pó em operações a seco é necessário ligar, na mesma proteção do rebolo, um sistema de aspiração capaz de absorver pó e cavacos de pequeno volume.

É importante salientar que os rebolos em OA, SiC e superabrasivos não desprendem SiO_2 livre e portanto não são suspeitos de provocar silicose.

Nas máquinas retíficas deverá ser usado refrigerante (fluido, líquido de preferência) sempre que possível com sistema de filtragem, conforme indicado no tema "Refrigerantes".

Nas máquinas pedestais o elemento de apoio não deverá estar a uma distância maior de 3 mm da periferia do rebolo e o funcionário deverá trabalhar usando luvas de couro e óculos de segurança.

CONHECIMENTO SOBRE SEGURANÇA NO USO DE REBOLOS

Este é um pequeno exercício para testar seu conhecimento sobre segurança. Submeta-se você mesmo e depois faça-o preencher pelos seus funcionários. Se alguma das questões produzir discussões, tenha certeza de que todas têm respostas:

- 1 - Sabe o aperto necessário de cada rebolo na montagem do eixo?
- 2 - Sabe por que o aperto excessivo pode ser perigoso?
- 3 - Coloca sempre a proteção na máquina antes do início da operação?
- 4 - Costuma conferir as rpm da sua máquina freqüentemente?
- 5 - Costuma conferir as rpm marcadas no rebolo com as rpm do eixo da sua máquina?
- 6 - Costuma conferir a limpeza das flanges e a sua planicidade antes de montar o rebolo? Limpa as etiquetas do rebolo antes de montá-lo na máquina?
- 7 - Costuma fazer a prova de som e inspeção visual antes da montagem?
- 8 - Costuma usar óculos de segurança quando opera na máquina?
- 9 - Coloca-se ao lado da máquina quando trabalha?
- 10 - Coloca sempre etiquetas entre rebolo e flange de montagem?

Avaliação:

- Se o número de respostas afirmativas é inferior a 7 = deficiente
Se o número de respostas afirmativas está entre 7 e 8 = deve melhorar.
Se o número de respostas afirmativas é 10 = bom.

III. 10 Rebolos desfibradores (Fabricação de pasta mecânica)

Para a fabricação de papel de origem vegetal usam-se diversos tipos de pastas procedentes da madeira em processos conhecidos como:

- Pastas mecânicas
- Pastas semiquímicas
- Pastas mecano-químicas
- Pastas químicas

No processo mecânico o uso de rebolos de grandes dimensões é conhecido desde 1843, quando F. Keller descobriu o sistema que permitiu a construção do primeiro desfibrador, por Voelter e J. M. Voith em 1852. Desde então o progresso foi muito grande e na atualidade existem grandes máquinas trabalhando com rebolos de 2.500 mm de diâmetro e 2.600 mm de largura, pesando 28.000 kg e absorvendo potências de até 14.000 HP o que permite uma produção de 200 Tm/dia de pasta.

O processo de fabricação consiste no desfibrador de troncos de madeira, que são comprimidos contra a superfície do rebolo cuja ação abrasiva provoca uma temperatura da ordem de 170 a 190°C suficiente para o amolecimento da lignina (matéria resinosa, ligante das fibras da madeira) que permite o desprendimento das fibras, constituídas quase totalmente por celulose.

O esquema do princípio da fabricação da pasta mecânica está mostrado na Figura 309.

A pasta mecânica que cai na fossa do desfibrador ainda contém grande quantidade de partículas de madeira, que precisam ser desfibradas novamente, motivo pelo qual existe um circuito de recuperação e classificação de forma que o rendimento seja o mais elevado possível, como de fato

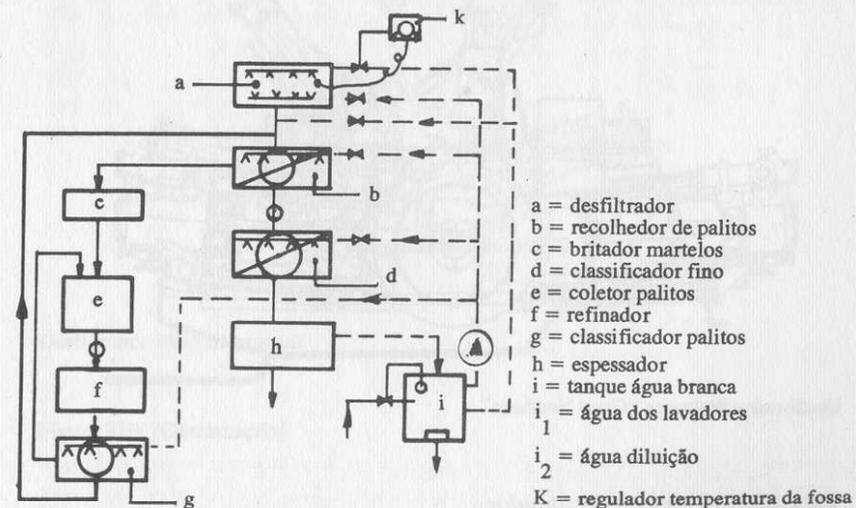
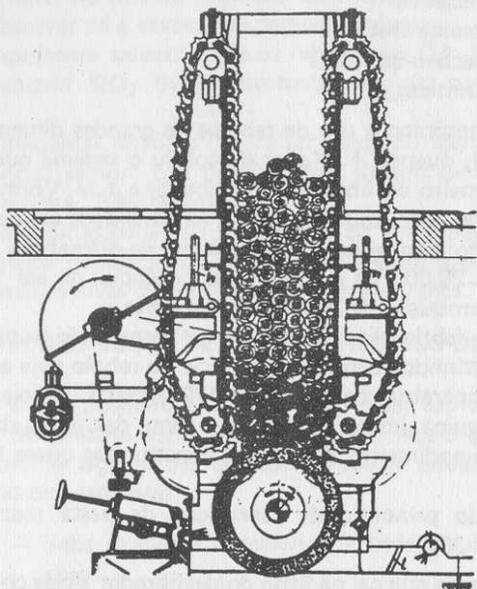
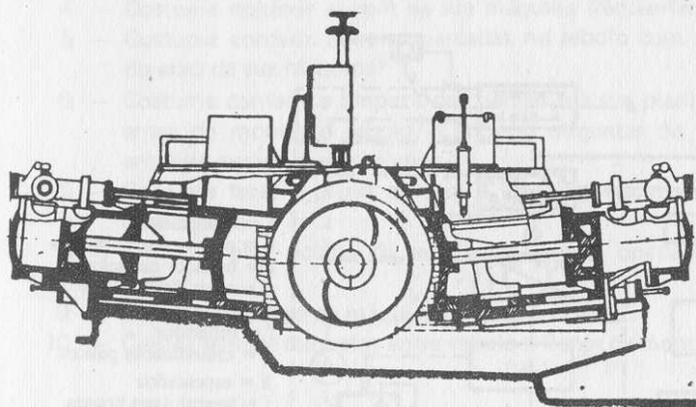


Figura 309. Diagrama da fabricação da pasta mecânica.

é, atingindo até 95%. Os esquemas dos desfibradores usuais são mostrados na Figura 310 sendo os mais conhecidos o VOITH de cadeias, MIAG de prensas, KOEHRING WATEROUS de armazéns e o ROBERTS anular.

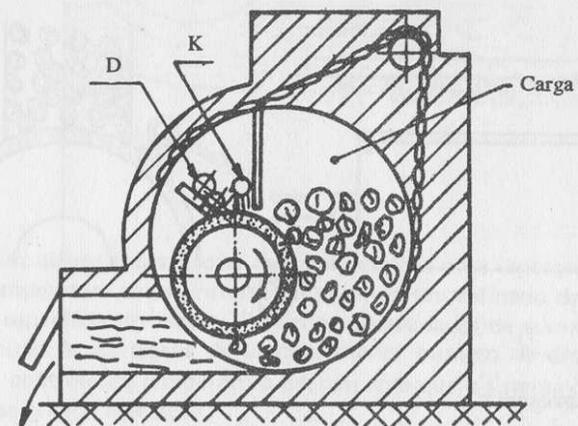


Desfibrador de cadeias contínuo Voith.



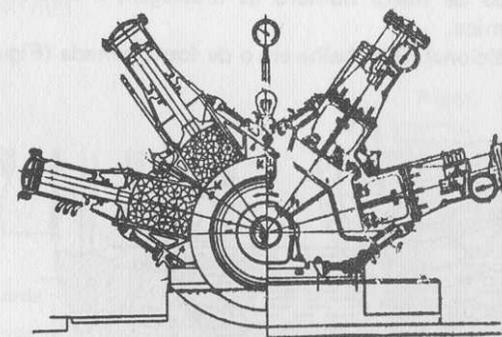
Desfibrador Waterous "Great Northern".

Figura 310. Tipos de desfibrador.



D = dressador
K = lavagem do rebolo

Desfibrador Roberts anular.



Desfibrador Miag de prensas.

Figura 310. (Continuação).

O rebolo é lavado constantemente antes de entrar na zona de desfibrção, durante a rotaçção. A lavagem é feita por meio de jato de água, em forma de chuva, como na Figura 311.

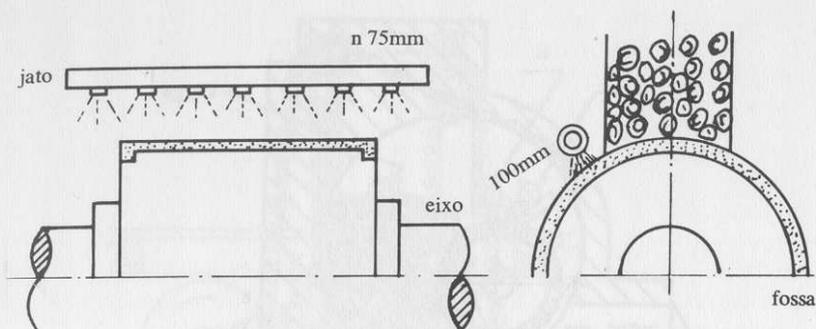


Figura 311. Lavagem.

É usual um segundo jato, antes de entrar na fossa, para facilitar a descarga das fibras que ficaram na superfície do reboleto, saindo da zona de desfibrado. Se as fibras continuam grudadas voltam a entrar na área citada, provocando queimas por aumento da fricção (diminuição do poder abrasivo), precisando de maior número de dressagens e resultando uma operação antieconômica.

O sistema tradicional de trabalho era o de fossa fechada (Figura 312).

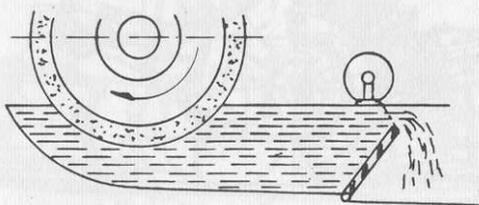


Figura 312. Fossa fechada.

onde o registro R mantém a altura de "mergulho" ou banho do reboleto. Este sistema foi melhorado pela introdução do sistema de fossa aberta (Figura 313) que requer um sistema de lavagem do reboleto mais enérgico.

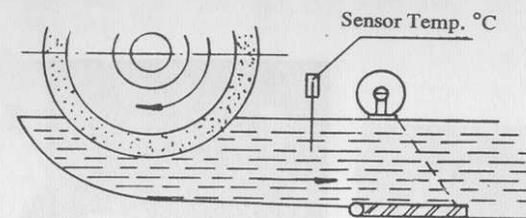


Figura 313. Fossa aberta.

Em alguns casos a fossa fechada constitui uma vantagem, por manter uma temperatura mais uniforme e permitir um refinado de fibras grudadas na superfície do reboleto. Porém as necessidades de aumento de produção, unidas às vantagens de precisar menor número de dressagens e um melhor controle da temperatura fizeram com que o sistema de forma aberta tivesse grande aceitação.

A montagem do reboleto (que para $\varnothing 1.500$ pesa 8 Tm) no seu eixo e flanges precisa de um controle e cuidado igual aos dedicados no caso de um Centerless (Ver Figura 314).

O reboleto antes de sair da fábrica é acabado dentro de tolerâncias que permitem uma correta montagem no desfibrador. Porém, como no caso de rebolos de retíficas, a primeira operação será de dressagem efetuada por meio de diferentes tipos de rolete em função das características do reboleto (Figura 315). Os rolos ou colares costumam ser em aço rápido, $\varnothing 150$ largura de 40 mm.

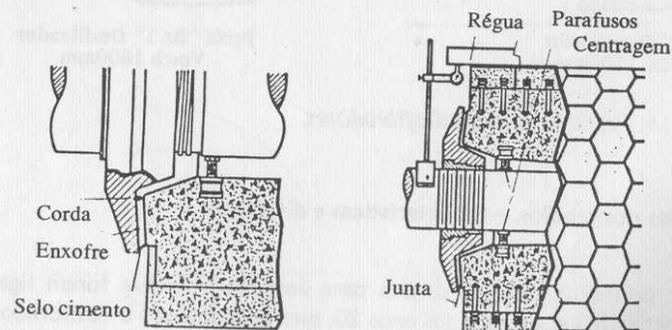


Figura 314. Montagem de reboleto desfibrador.

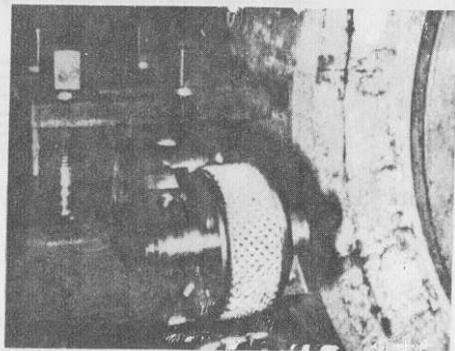
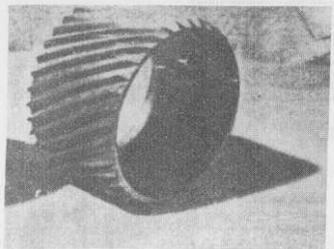
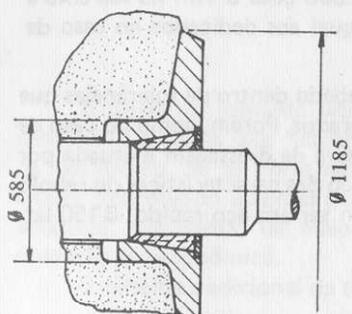
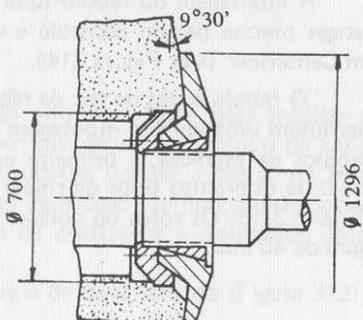


Figura 315. Tipos de rolos dressadores

Os perfis dos rebolos variam conforme o tipo de máquina existindo vários normalizadores. Dois exemplos são dados na Figura 316.



Perfil "51" Desfibrador
K. Waterous, 1700mm



Perfil "Bz 1" Desfibrador
Voich 1800mm

Figura 316. Perfis de rebolos desfibradores.

Qualidades dos rebolos — Características e diferenças

Os primeiros rebolos usados para desfibrar madeira foram ligados com cimento (C) e a partir dos anos 20, quando apareceu o desfibrador de cadeias (VOITH e WARREN), surgiu também a fabricação dos primeiros rebolos de segmentos cerâmicos (SC) como abrasivo, montados sobre um núcleo de concreto reforçado.

Os esquemas construtivos são mostrados nas Figuras 317 e 318. Na primeira mostramos o rebole ligado com cimento (a) e o rebole segmentado cerâmico (b) patente Nussbaum Christmann.

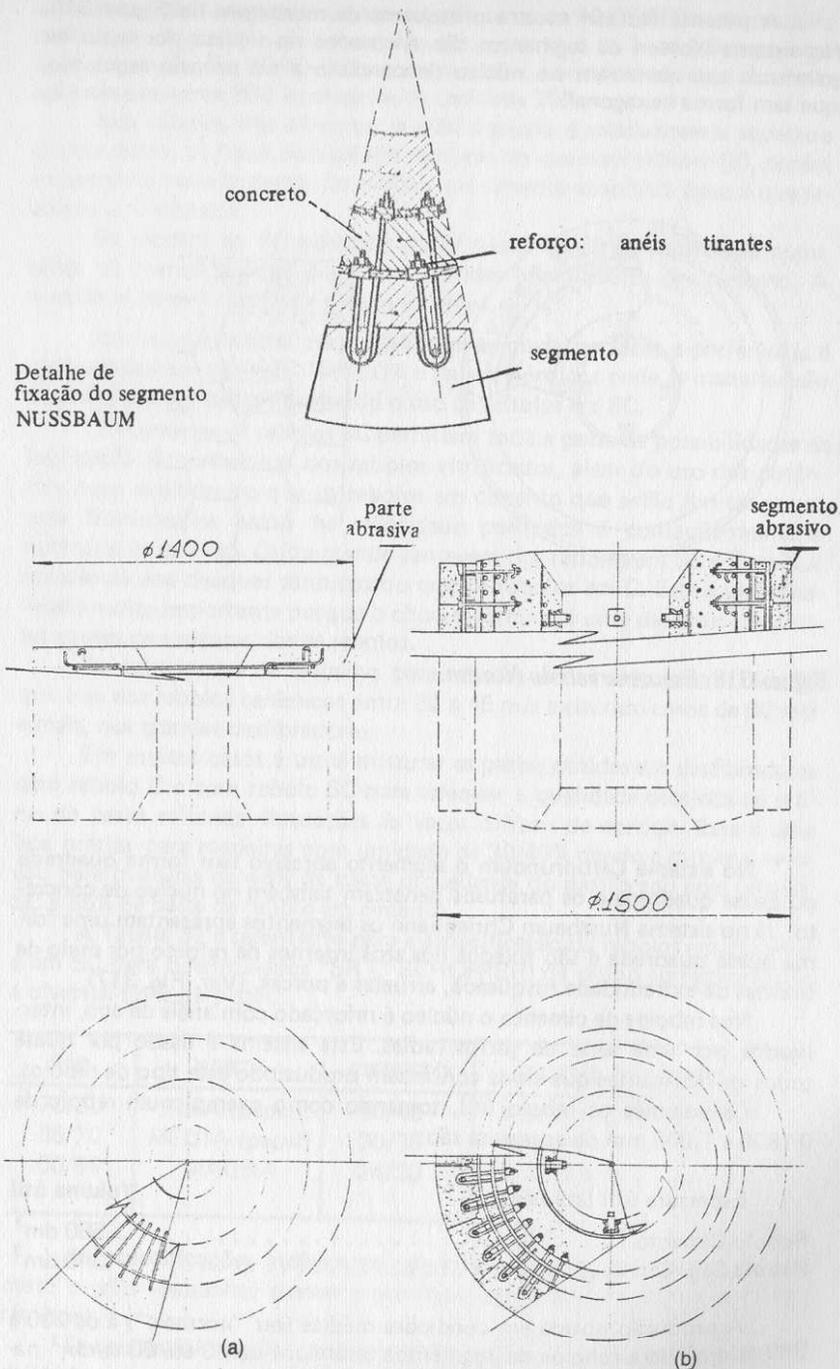


Figura 317. Esquemas de rebolos desfibradores.

A patente Norton mostra o esquema de montagem na Figura 318. No sistema Norton os segmentos são ancorados no núcleo por meio de parafusos que penetram no núcleo de concreto e no próprio segmento, que tem forma hexagonal.

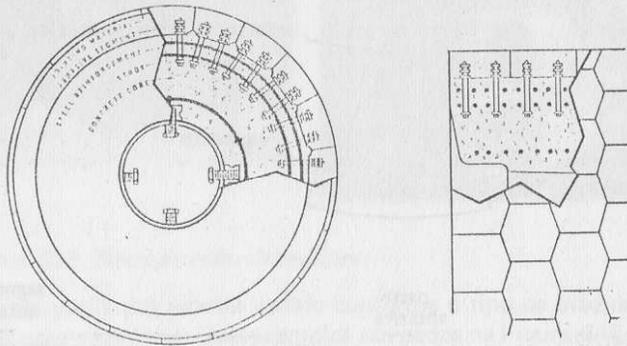


Figura 318. Esquema rebolo Norton.

No sistema Carborundum o segmento abrasivo tem forma quadrada ou quase quadrada e os parafusos penetram também no núcleo de concreto. Já no sistema Nussbaum Christmann os segmentos apresentam uma forma quase quadrada e são fixados nos aros internos de reforço por meio de tirantes de extremidade rosqueada, arruelas e porcas. (Ver. Fig. 317)

Nos rebolos de cimento o núcleo é reforçado com anéis de aço, interligados por uma série de garfos radiais. Este sistema é usado por quase todos os fabricantes que ainda continuam produzindo este tipo de rebolos.

Os volumes de rebolo útil, tomando como exemplo um rebolo de \varnothing 1800 e 1.000 mm de espessura são:

Espessura útil (abrasiva)		Volume útil
Rebolo Cimento 130	.....	.560 dm ³
Rebolo Seg. Cer. 75	.....	.340 dm ³

A produção obtida em condições médias (ou "normais") é de 200 à 350 st/dm³ para rebolos de segmentos cerâmicos de 40 até 60 st/dm³ para rebolos em cimento. A duração de um rebolo de segmentos cerâmicos

é (média) 2,5/3 anos com uma produção total de 80/85.000 st de madeira desfibrada. A duração de um rebolo em cimento é de 1 até 1,5 anos, com uma produção de 30/40.000 st de madeira, considerando que 1 st são aproximadamente 360 kg madeira de umidade 25%.

Nos rebolos liga cimento, o grão é grosso e relativamente separado um do outro, as fibras obtidas são menores do que com rebolos SC, porém a qualidade varia bastante. Os rebolos em cimento absorvem água o que favorece o desfibrado.

Os rebolos de SC possuem maior poder de corte, resultando numa pasta de menos solidez do que as obtidas com rebolos em cimento. A qualidade da pasta obtida é mais uniforme.

Na Europa central onde desfibram-se madeiras secas a preferência é para rebolos em cimento. Nos EUA e países Nórdicos onde as madeiras são mais úmidas foi sempre preferido o uso de rebolos em SC.

Finalmente os rebolos SC permitem toda a gama de possibilidades de fabricação já conhecidas dos rebolos vitrificados, além do uso das potências mais elevadas do que os rebolos em cimento que estão limitados nas suas formulações como na velocidade periférica e conseqüentemente potências absorvidas. Outra grande vantagem dos rebolos em SC é a melhor resistência aos choques térmicos do que os rebolos em C. Esta é uma qualidade muito importante porque o choque térmico é uma das mais freqüentes causas de rupturas destes rebolos.

As velocidades de trabalho para rebolos em cimento entre 15 e 30 m/s e as dos rebolos cerâmicos entre 30 a 45 m/s existindo casos de 60 m/s e mais, nos grandes desfibradores.

Em muitos casos é usual misturar as pastas obtidas em desfibradores com rebolo C e com rebolo SC para adequar a qualidade desejada de refino da pasta evitando flutuações às vezes difíceis de corrigir. Esta é uma boa prática para madeiras com umidade de 30/40% dando a mínima variação para misturas de 45% de pasta procedente do desfibrado com rebolos SC e 55% de pasta de rebolo em cimento.

A Tabela 37 é orientativa para a especificação de rebolos em cimento e em SC para determinados ^oSR (^o SCHOPPER) de refino correspondente a diversos tipos de papel.

^o SR	PASTA	CIMENTO	SEGTS. CERÂMICOS
70/80	FINA (papel)	30/46	A 60/2 N 6 V – C 80 M7
65/70	MÉDIA (papel)	30/36	A 60 N 6 V – C 60 M7
60/65	MAGRA	24/30	A 46 N/0 6 V – C 46 06

As especificações indicam os tamanhos do grão para rebolos de cimento e grão (tamanho) dureza e estrutura para rebolos de segmentos cerâmicos.

O uso de OA ou SiC para este tipo de rebolo não está ainda muito definido e em geral os resultados com A ou AA são satisfatórios.

TABELA I-VELOCIDADES PERIFÉRICAS E REVOLUÇÕES POR MINUTO

Diâmetro de rebolo em mm.	Velocidade periférica em metros por segundo									
	5	8	10	12	15	18	20	22	25	27
	Número aproximado de revoluções por minuto									
3	31.800	50.880	63.660	76.380	95.460	—	—	—	—	—
5	19.100	30.450	38.160	45.780	57.300	68.700	76.320	84.000	95.500	—
8	11.900	19.080	23.800	28.400	35.800	42.960	47.800	52.500	59.700	64.400
10	9.500	15.200	19.100	22.800	28.600	34.300	38.200	42.000	47.700	51.500
15	6.360	10.200	12.750	15.300	19.100	22.900	25.500	28.000	31.800	34.400
20	4.740	7.700	9.600	11.400	14.300	17.200	19.100	21.000	23.900	25.800
25	3.800	6.060	7.500	9.120	11.500	13.800	15.300	16.800	19.000	20.600
30	3.200	5.040	6.400	7.620	9.600	11.400	12.800	13.980	15.900	17.200
40	2.386	3.780	4.740	5.700	7.160	8.580	9.550	10.500	11.940	12.840
50	1.900	3.000	3.800	4.560	5.730	6.840	7.650	8.400	9.550	10.260
63	1.500	2.400	3.000	3.600	4.400	5.400	5.900	6.660	7.640	8.160
75	1.250	1.980	2.500	3.000	3.825	4.560	5.100	5.520	6.380	6.840
90	1.020	1.680	2.100	2.520	3.185	3.780	4.245	4.620	5.300	5.700
100	950	1.500	1.900	2.280	2.865	3.420	3.825	4.200	4.775	5.100
115	780	1.320	1.620	1.980	2.490	2.940	3.320	3.600	4.140	4.440
125	750	1.200	1.500	1.800	2.300	2.700	3.050	3.360	3.800	4.080
150	625	960	1.250	1.500	1.900	2.280	2.550	2.760	3.200	3.420
175	550	840	1.100	1.260	1.635	1.920	2.200	2.400	2.730	2.940
200	450	720	950	1.140	1.440	1.680	1.910	2.100	2.390	2.520
225	400	660	800	960	1.275	1.500	1.700	1.860	2.100	2.280
250	360	600	720	900	1.150	1.320	1.525	1.680	1.910	2.040
300	300	500	600	720	950	1.140	1.275	1.380	1.595	1.680
350	260	420	550	600	820	960	1.090	1.200	1.370	1.440
400	240	360	450	540	725	840	960	1.020	1.200	1.260
450	200	339	400	500	635	763	850	933	1.060	1.140
500	190	300	380	450	575	660	770	840	960	1.020
550	175	270	350	415	515	625	700	765	870	940
600	160	250	325	370	475	570	640	700	800	860
650	145	235	290	350	440	520	590	640	735	790
700	135	215	270	325	405	480	540	600	685	720
750	125	190	250	300	380	450	510	560	635	685
800	115	185	230	285	360	425	475	520	595	645
850	108	175	225	265	340	400	450	490	565	600
900	102	170	210	250	320	380	425	465	530	570
950	96	165	200	240	300	360	400	440	500	540
1.000	90	150	190	225	285	340	380	420	480	510
1.050	91	146	182	218	273	327	364	400	455	491

TAB. I (CONTINUAÇÃO)

Diâmetro de rebolo em mm.	Velocidade periférica em metros por segundo								
	30	33	35	40	45	50	60	80	100
	Número aproximado de revoluções por minuto								
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	71.600	78.780	83.600	95.500	—	—	—	—	—
10	57.300	63.200	66.800	76.400	85.700	—	—	—	—
15	38.200	42.000	44.600	51.000	57.500	63.600	76.400	—	—
20	28.000	31.500	33.400	38.200	43.100	47.800	57.300	—	—
25	23.000	25.200	26.750	30.000	34.370	37.500	45.840	—	—
30	19.100	21.000	22.300	25.600	26.620	32.000	38.400	—	—
40	14.320	15.720	16.700	19.100	21.500	23.700	28.700	—	—
50	11.450	12.600	13.400	15.275	17.185	19.000	22.900	—	—
63	8.800	9.960	10.300	12.000	13.200	15.000	17.600	—	—
75	7.650	8.400	9.000	10.185	11.455	12.500	15.300	—	—
90	6.370	6.960	7.430	8.490	9.560	10.560	12.750	—	—
100	5.730	6.300	6.700	7.640	8.600	9.500	11.450	—	—
115	4.980	5.460	5.815	6.640	7.470	8.100	9.965	—	—
125	4.600	5.040	5.300	6.110	6.875	7.500	9.200	—	—
150	3.800	4.200	4.450	5.100	5.730	6.250	7.640	—	—
175	3.270	3.600	3.800	4.365	4.910	5.500	6.550	8.750	—
200	2.875	3.120	3.350	3.820	4.300	4.750	5.730	7.640	—
225	2.550	2.760	2.975	3.395	3.820	4.000	5.100	6.800	8.460
250	2.300	2.520	2.675	3.055	3.440	3.600	4.575	6.100	7.620
300	1.900	2.100	2.230	2.550	2.865	3.000	3.820	5.100	6.360
350	1.640	1.800	1.900	2.180	2.450	2.700	3.275	4.360	5.400
400	1.450	1.560	1.675	1.910	2.150	2.250	2.870	3.820	4.740
450	1.275	1.380	1.485	1.700	1.910	2.100	2.550	3.400	4.200
500	1.150	1.260	1.340	1.525	1.720	1.900	2.290	3.050	3.780
550	1.030	1.140	1.200	1.390	1.565	1.750	2.080	2.760	3.420
600	950	1.050	1.110	1.275	1.430	1.592	1.910	2.520	3.180
650	875	960	1.030	1.175	1.320	1.450	1.750	2.351	—
700	810	900	950	1.090	1.225	1.360	1.640	2.183	—
750	765	840	890	1.020	1.145	1.260	1.530	2.037	—
800	715	780	835	955	1.075	1.150	1.435	1.910	—
850	675	720	790	900	1.010	1.123	1.348	1.798	—
900	640	695	750	850	955	1.016	1.273	—	—
950	600	660	700	805	905	1.005	1.206	—	—
1.000	570	630	670	765	860	955	1.146	—	—
1.050	540	600	637	727	818	909	1.092	—	—

TABELA II - CONVERSÃO DE POLEGADAS EM MILÍMETROS

Polegadas	Milímetros	Polegadas	Milímetros
1/32	0,79	6	152,4
1/16	1,59	7	177,8
3/32	2,38	8	203,2
1/8	3,18	9	228,6
5/32	3,97	10	254,0
3/16	4,76	12	304,8
1/4	6,35	14	355,6
5/16	7,94	16	406,4
3/8	9,53	18	457,2
1/2	12,70	20	508,0
5/8	15,88	22	558,8
3/4	19,05	24	609,6
7/8	22,23	26	660,4
1	25,40	30	762,0
1 1/4	31,75	32	812,8
1 1/2	38,1	34	863,6
2	50,8	36	914,4
2 1/2	63,5	38	965,2
3	76,2	40	1.016,0
4	101,6	42	1.066,8
5	127,0		

TAB. III - CONVERSÃO DE UNIDADES DE VELOCIDADE METROS POR SEGUNDO, m/s, - PÉS POR MINUTO f.p.m ou s.f.p.m.

m/s	f.p.m.	m/s	f.p.m.	m/s	f.p.m.	m/s	f.p.m.
1	197	26	5122	51	10047	76	14972
2	394	27	5319	52	10244	77	15169
3	591	28	5516	53	10441	78	15366
4	788	29	5713	54	10638	79	15563
5	985	30	5910	55	10835	80	15760
6	1182	31	6107	56	11032	81	15957
7	1379	32	6304	57	11229	82	16154
8	1576	33	6501	58	11426	83	16351
9	1773	34	6698	59	11623	84	16548
10	1970	35	6895	60	11820	85	16745
11	2167	36	7092	61	12017	86	16942
12	2364	37	7289	62	12214	87	17139
13	2561	38	7486	63	12411	88	17336
14	2758	39	7683	64	12608	89	17533
15	2955	40	7880	65	12805	90	17730
16	3152	41	8077	66	13002	91	17927
17	3349	42	8274	67	13199	92	18124
18	3546	43	8471	68	13396	93	18321
19	3743	44	8668	69	13593	94	18518
20	3940	45	8865	70	13790	95	18715
21	4137	46	9062	71	13987	96	18912
22	4334	47	9259	72	14184	97	19109
23	4531	48	9456	73	14381	98	19306
24	4728	49	9653	74	14578	99	19503
25	4925	50	9850	75	14775	100	19700

TABELA V - DENSIDADES E CONSTANTES FÍSICAS DE VÁRIOS ELEMENTOS

Material	Símbolo	Peso específico	Peso atômico	Ponto de fusão °C	Calor específico cal/g °C
Alumínio	Al	2,69	26,97	658,5	0,2370
Antimônio	Sb	6,69	121,76	630,5	0,0549
Arsênico	As	5,72	74,93	817,0	0,0787
Bário	Ba	3,60	137,36	850,0	0,0680
Berílio	Be	1,84	9,02	1278	0,5060
Chumbo	Pb	11,34	207,21	327	0,0362
Boro	B	1,73	10,82	ca. 2300	0,5100
Cádmio	Cd	8,64	112,41	320,9	0,0667
Cálcio	Ca	1,55	40,07	803	0,1724
Célio	Ce	6,8	140,13	623	0,0511
Cromo	Cr	7,1	52,01	1560	0,1554
Ferro	Fe	7,86	55,84	1530	0,1726
Ouro	Au	19,3	197,2	1063	0,0364
Iridio	Ir	22,4	193,1	2440	0,0401
Cobalto	Co	8,8	58,94	1490	0,1579
a) Diamante	C	3,51			0,4590
b) Grafite	C	2,25			0,5350
Cobre	Cu	8,93	63,57	1083	0,1105
Magnésio	Mg	1,74	24,32	650	0,3000
Manganês	Mn	7,3	54,93	1245	0,1673
Molibdênio	Mo	10,2	96,0	ca. 2600	0,0722
Níquel	Ni	8,85	58,69	1452	0,1279
Ósmio	Os	22,48	190,8	ca. 2500	0,0311
Paládio	Pd	11,5	106,7	1557	0,076
Platina	Pt	21,4	195,23	1770	0,0362
Ródio	Rh	12,3	102,9	1970	0,0580
Rutênio	Ru	12,28	101,7	1950	0,0611
Prata	Ag	10,50	107,88	960,5	0,0650
Silício	Si	2,34	28,60	1414	0,2096
Estrôncio	Sr	2,60	87,63	797	0,0550
Tântalo	Ta	16,6	181,36	ca. 3000	0,0435
Télio	Te	6,25	127,5	453	0,0500
Telúrio	Tl	11,85	204,4	303,5	0,0326
Tório	Th	11,5	232,12	1842	0,0276
Titânio	Ti	4,5	47,90	ca. 1800	0,1462
Urânio	U	18,7	238,14	1690	0,0619
Vanádio	V	5,7	50,95	1710	0,1153
Bismuto	Bi	9,8	209,00	271	0,0338
Tungstênio	W	19,1	184,00	3357	0,0479
Zinco	Zn	7,14	65,38	419,4	0,1100
Estanho	Sn	7,28	118,7	231,8	0,0662
Zircônio	Zr	6,53	91,22	1927	0,0660

TABELA IV - PESO APROXIMADO DOS REBOLOS

Diâmetros	Espessura									
	6 mm	10 mm	13 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	65 mm	76 mm	102 mm
76 mm	0,07	0,10	0,12	0,18	0,26	0,39	0,52	0,64	0,77	1,82
100 mm	0,12	0,17	0,23	0,34	0,46	0,68	0,91	1,13	1,36	2,81
125 mm	0,17	0,25	0,32	0,41	0,67	1,04	1,41	1,75	2,11	4,26
150 mm	0,26	0,40	0,53	0,80	1,04	1,56	2,09	2,61	3,13	5,89
180 mm	0,36	0,57	0,75	1,13	1,52	2,31	3,26	3,79	4,53	7,70
203 mm	0,49	0,71	1,02	1,52	2,00	3,04	4,03	4,44	5,89	9,52
230 mm	0,60	0,86	1,20	1,81	2,40	3,58	4,99	5,89	6,80	12,3
254 mm	0,75	1,22	1,54	2,27	3,08	4,46	6,34	7,70	9,97	17,2
305 mm	1,09	1,70	2,20	3,40	4,40	6,80	8,61	11,3	13,6	23,6
355 mm	1,45	2,13	2,90	4,38	5,89	9,06	11,8	15,0	17,2	30,8
406 mm		2,77	3,69	5,44	7,70	11,8	15,4	19,5	23,1	39,4
457 mm			4,98	7,25	9,97	15,0	19,9	24,9	29,9	49,4
508 mm				9,52	12,7	18,6	24,9	30,8	37,2	59
558 mm					15,0	22,2	29,5	37,2	44,4	71
610 mm					17,2	26,7	35,3	44,4	53	83
660 mm						31,3	41,7	52	63	95
710 mm						35,3	47,1	59	71	107
760 mm						39,0	53	66	80	160
915 mm						58	80	100	120	

TABELA VI-RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

Os valores abaixo tabelados são de orientação. Para valores mais exatos consultar fornecedores ou IPT

CARACTERÍSTICA DOS PRINCIPAIS MATERIAIS EMPREGADOS NAS CONTRUÇÕES MECÂNICAS

MATERIAL	Módulo de elasticidade		Tensão de ruptura (kg/cm ²)			Tensão de escoamento (kg/cm ²)			Tensão admissível (kg/cm ²)		
	E (kg/cm ²)	G (kg/cm ²)	$\sigma_{t1} \cdot \sigma_{t2}$	σ_{cr}	$\sigma_{cr} \cdot \sigma_{tr}$	$\sigma_{e1} \cdot \sigma_{e2}$	σ_{ce}	$\sigma_{ce} \cdot \sigma_{te}$	$\sigma_r \cdot \sigma_f$	σ_c	$\sigma_c \cdot \sigma_t$
Aço fundido	2 000 000	850 000	5040	5040	3600	2736	2736	2 000	---	---	
Aço para estruturas	2 000 000	850 000	4320	4320	3240	2520	2520	1900	1400	1400	
Aço doce	2 200 000	850 000	4680	5760	2376	3240	4320	2400	---	---	
Aço meio carbono	2 000 000	850 000	5760	7200	2880	4320	5760	3200	---	---	
Aço duro	2 000 000	850 000	8640	11520	4320	7200	10080	5400	---	---	
Alumínio fundido	700 000	---	1080	864	864	468	396	350	---	---	
Alumínio laminado	700 000	---	1872	---	---	936	---	700	300-600	---	
Alvenaria de tipo	---	---	---	200	---	---	---	---	---	5-10	
Borracha	1000	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Branze fosforosa	1 000 000	---	3600	---	---	1728	---	---	---	---	
Cobre fundido	---	---	1800	2880	2160	432	---	---	---	---	
Cobre em fios	1 200 000	---	---	---	---	---	---	800-1000	---	---	
Cobre laminado	1 200 000	480 000	2520	2304	---	720	---	---	---	---	
Concreto	144 000	---	---	---	---	---	---	---	40-50	---	
Duralumina	750 000	---	5400	---	---	3400	---	1000	---	---	
Ferro fundido	800 000	---	1296	5760	1440	432	1440	300	200-300	1000	
Ferro forjado	2 000 000	700 000	3600	3600	3024	1944	1944	1400	1200-1600	1200-1600	
Latão comum	650 000	---	1512	2160	2592	432	---	300	---	---	
Madeira (II fibra)	108 000	---	720	460	---	237	150	---	80-100	80-75	
Pinho (II fibra)	105225	---	---	---	---	---	---	---	87,3	51,4	
Pinho (I fibra)	105225	---	---	---	---	---	---	---	87,3	15,4	
Pedra	504000	---	---	---	---	---	---	---	---	50-100	
Textolite (fibra)	30000	---	1270	1680	---	750	1150	---	---	---	

TABELA VII-USINABILIDADE DOS METAIS FERROSOS

TIPO DE METAL	Nº de Código Standard AISI-SAE	USINABILIDADE		
		Classe A Fácil de Usinar	Classe B Intermediária	Classe C Difícil de Usinar
Aço Carbono	10xx		1016,1026,1030,1035 1037-1040,1042,1043 1060,1064,1065	1006,1008,1015,1045 1046,1049,1050,1036 1041,1047,1048,1052 1055,1070,1074,1078 1080,1084,1085,1086 1090,1095
Aço Doce	11xx	1108,1109,1111,1112,1113, 1115,1117,1118,1119,1120, 1126,1132,1138,1144	1137,1140,1141,1146 1146,1151	
Aço Manganês	13xx			1330,1335,1340,1345
Aço Niquel-Cromo	3xxx			3135,3140,3310
Aço Molibdênio	40xx 44xx	4024,4028	4012,4023,4027,4032, 4037,4042,4047,4419 4422,4427	4063
Aço Cromo-Molibdênio	41xx		4118,4130,4135,4137, 4140,4112,4145,4147	4150,4161
Aço Niquel-Cromo-Molibdênio	43xx		4320	4330,4337,4340
	81xx		8115	
	86xx		8615,8617,8620,8622, 8625,8627,8630,8637, 8640,8642,8645,8650	8655,8660
Aço Niquel-Molibdênio	87xx		8720,8740,8742	
	93xx			9310
Aço Niquel-Molibdênio	46xx		4615,4617,4620,4621, 4626	
Aço Cromo	5xxx		5115,5120,5130,5132, 5135,5140,5145,5147 5150	5165,5180
	5xxxx			50100,51100,52100
Aço Cromo-vanádio	61xx		6118	6120,6150
Ferro Fundido	--	Meisável	Dureza Média	Duro, Lingote, Trabalho
Aço Inoxidável	--	303,430F,416	410,430	301,302,304,309,310 316,321,347,420,440 440A,440B,440C,440F, 446

TABELA VIII-USINABILIDADE RELATIVA DOS COBRES E
LIGAS À BASE DE COBRE

NOME	COMPOSIÇÃO NOMINAL, %	USINABILIDADE RELATIVA
COBRES		
Eletrolítico	Cu 99,90 min. O 9,04	20
Desoxidado	Cu 99,90 min. P 0,02	20
Isento de Oxigênio	Cu 99,92 min.	20
LATÕES SIMPLES SEM-CHUMBO		
Dourado, 95%	Cu 95 Zn 5	20
Bronze Comercial, 90%	Cu 90 Zn 10	20
Bronze Joalheria, 87,5%	Cu 87,5 Zn 12,5	30
Latão Vermelho, 85%	Cu 85 Zn 15	30
Latão 80%	Cu 80 Zn 20	30
Latão para Cartuchos, 70%	Cu 70 Zn 30	30
Latão Amarelo	Cu 65 Zn 35	30
Metal Muntz	Cu 60 Zn 40	40
LATÕES COM CHUMBO		
Latão Comercial com Chumbo	Cu 89 Pb 1,75 Zn 9,25	80
Latão com baixo teor de chumbo (tubos)	Cu 66 Pb 0,5 Zn 33,5	60
Latão com baixo teor de chumbo	Cu 65 Pb 0,5 Zn 34,5	60
Latão com médio teor de chumbo	Cu 65 Pb 1 Zn 34	70
Latão com elevado teor de chumbo (tubos)	Cu 66 Pb 1,6 Zn 32,4	80
Latão com elevado teor de chumbo	Cu 65 Pb 2 Zn 33	90
Latão com teor de chumbo extremamente elevado	Cu 63 Pb 2,5 Zn 34,5	100
Latão Macio	Cu 61,5 Pb 3 Zn 35,5	100
Metal Muntz com chumbo	Cu 60 Pb 0,6 Zn 39,4	60
Metal Muntz macio	Cu 60 Pb 1 Zn 39	70
Latão para Forja	Cu 50 Pb 2 Zn 39	80
Bronze Arquitetônico	Cu 57 Pb 3 Zn 40	90
LATÕES COM ESTANHO E ALUMÍNIO		
Almirantado	Cu 71 Sn 1 Zn 28	30
Latão Naval	Cu 60 Sn 0,75 Zn 39,25	30
Latão Naval com Chumbo	Cu 60 Sn 0,75 Pb 1,75 Zn 37,5	70
Bronze - Manganês (A)	Cu 58,5 Sn 1,0 Fe 1,4 Mn 0,1 Zn 39,0	30
Bronze - Alumínio	Cu 76 Al 2 Zn 22	30

TABELA VIII - (CONTINUAÇÃO)

NOME	COMPOSIÇÃO NOMINAL, %	USINABILIDADE RELATIVA
BRONZES FOSFOROSOS (BRONZE COM ESTANHO)		
Bronze fosforoso 5% (A)	Cu 95 Sn 5	20
Bronze fosforoso 8% (C)	Cu 92 Sn 8	20
Bronze fosforoso 10% (D)	Cu 90 Sn 10	20
Bronze fosforoso 1,25% (E)	Cu 98,76 Sn 1,25	20
Bronze fosforoso Macio	Cu 88 Pb 4 Zn 4 Sn 4	80
BRONZE COM SILÍCIO		
(Liga de cobre e silício)		
Bronze com alto teor de silício (A)	Cu 94,8 min. Si 3	30
Bronze com baixo teor de silício (B)	Cu 96,0 min. Si 1,5	30
CUPRONÍQUEL E METAIS BRANCOS		
Cuproníquel, 30%	Cu 70 Ni 30	20
Cuproníquel, 10%	Cu 88,7 Fe 1,3 Ni 10	20
Metal Branco, 65-18	Cu 65 Ni 18 Zn 17	20
Metal Branco, 55-18	Cu 55 Ni 18 Zn 27	30
Metal Branco, 65-15	Cu 65 Ni 15 Zn 20	20
Metal Branco, 65-12	Cu 65 Ni 12 Zn 23	20
Metal Branco, 65-10	Cu 65 Ni 10 Zn 25	20

IX - QUÍMICA

ALGUNS CONCEITOS BÁSICOS

CONCENTRAÇÃO DAS SOLUÇÕES

Quando uma substância se dissolve, ela dispersa-se molecularmente na outra. A substância em maior quantidade chama-se *solvente* e a outra *soluto*.

Concentração C de uma solução é a relação entre a massa *m* do soluto e o volume *v* da solução:

$$C = \frac{m}{v} \quad \text{g/t} \cdot \text{kg/f} \cdot \text{g/cm}^3 \cdot \text{E/t ou Mol/t}$$

Se empregarmos E/l, teremos a concentração expressa em *normalidade*, isto é, em números de equivalentes-grama de substância por litro de solução.

No caso de ser usado mol/l, a concentração será expressa em *molaridade*, isto é, em número de mols da substância por litro de solução.

A normalidade é representada por N e a molaridade por M.

Uma solução será 1N, quando contiver, dissolvido em 1l de solução, 1 equivalente-grama de soluto.

Uma solução será 1M, quando contiver dissolvido em 1l de solução, 1 mol de soluto.

Título T é a relação entre a massa do soluto e a massa total da solução

$$T = \frac{m_{\text{soluto}}}{m_{\text{solução}}}$$

Molalidade é o número de mols de soluto por 1000 g de solvente.

Fração molar de um componente da solução é a relação entre o número de mols desse componente e o número total de mols.

EQUIVALENTE-GRAMA

1 *De um elemento*: é a relação entre o átomo-grama e a valência.

Cálculo: Ca^{++} .

$$1 \text{ átomo-grama} = 40 \quad \text{valência} = +2 \quad E_{\text{Ca}^{++}} = 40/2 = 20$$

2 *De um ácido*: é a relação entre o mol e a basicidade.

Ácido sulfúrico: H_2SO_4

$$1 \text{ mol} = 2 + 32 + 4 \times 16 = 98 \text{ g}$$

$$\text{basicidade} = 2 \text{ (2 hidrogênios)} \quad E_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 98/2 = 49 \text{ g}$$

3 *De uma base*: é a relação entre o mol e o número de oxidrilas.

Hidróxido de alumínio: $\text{Al}(\text{OH})_3$

$$1 \text{ mol} = 27 + 3(16 + 1) = 78 \text{ g}$$

$$\text{número de oxidrilas} = 3 \text{ (três OH)} \quad E_{\text{Al}(\text{OH})_3} = 78/3 = 26 \text{ g}$$

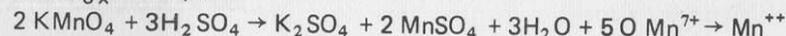
4 *De um sal*: é obtido dividindo o mol pela valência total do ânion ou do cátion.

Sulfato de potássio: K_2SO_4

valência total do cátion K^+ , $\text{K}^+ = 2$

$$1 \text{ mol} = 2 \times 39 + 32 + 4 \times 16 = 174 \text{ g} \quad E_{\text{K}_2\text{SO}_4} = 174/2 = 87 \text{ g}$$

5 *De um oxidante*: é a massa de oxidante capaz de fornecer uma valência. Se um mol de oxidante fornece *n* valências, seu equivalente-grama será: $E_{\text{ox}} = \text{mol}/n$



Portanto, 1 mol de KMnO_4 fornece 5 valências e seu equivalente-grama, como agente de oxidação é igual a $\text{mol}/5 = 31,6 \text{ g}$.

6 *De um redutor*: é a massa de redutor capaz de receber uma valência. Chamando de *n* o número de valências recebidas pelo mol: $E_{\text{red}} = \text{mol}/n$
Cloreto estanhoso: SnCl_2 , quando toma parte numa reação como redutor, passa a cloreto estânico. Cada átomo de estanho recebe duas valências: $\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^{4+}$. Como temos um átomo de estanho por molécula, tudo se passa como se na realidade cada mol de cloreto estanhoso recebesse duas valências.

ELETROQUÍMICA

Condutores são corpos através dos quais a corrente elétrica pode circular.

Isolantes: não permite a passagem da corrente.

As soluções que conduzem a eletricidade são ditas *eletrólitos*.

A passagem da eletricidade através de uma solução eletrolítica traz em consequência a deposição de matéria nos polos da corrente. Este fenômeno constitui a eletrólise e segue as leis de Faraday:

1ª lei: as massas depositadas nos elétrodos são proporcionais às quantidades de eletricidade que atravessam a solução.

2ª lei: as massas de diferentes eletrólitos depositadas pela mesma quantidade de eletricidade são proporcionais aos equivalentes-grama E das substâncias libertas.

Estas leis estão resumidas na fórmula:

$$m = \epsilon I t$$

m = massa depositada (g)
 ϵ = equivalente eletroquímico = $\frac{E}{96\,500}$ g/coulomb
 i = intensidade da corrente (A)
 t = tempo da passagem da corrente (seg.)

Exemplo: Cu = 63,57, i = 1,5A, t = 3,5h = 12 600 seg.

$$E_{Cu} = \frac{63,57}{2} = 31,78 \quad \epsilon = \frac{31,78}{96\,500} = 0,000\,329 \text{ g/coulomb}$$

$$m = 0,000329 \times 1,5 \times 12\,600 = 6,2181 \text{ g}$$

Na prática a massa depositada é sempre um pouco menor. Chama-se rendimento da corrente a relação:

$$\eta = \frac{\text{quantidade obtida}}{\text{quantidade teórica}}$$

X - MECÂNICA - FORMULÁRIO PARA CÁLCULO DE EIXOS

DIÂMETRO DOS EIXOS ÁRVORES EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA E RPM

1 - Cálculo à torção

d = Ø em mm
 M_t = momento torsor em mkg
 R_t = coeficiente trabalho à torção em kg/mm²
 N = Potência à transmitir
 n = número de rev. por segundo

a) Se o torque é dado

$$d = 17,2 \sqrt[3]{\frac{M_t}{R_t}} ; M_t = \frac{d^3 R_t}{5\,100} ; R_t = \frac{5\,100 M_t}{d^3}$$

b) Se a potência N é conhecida

$$d = 39,3 \sqrt[3]{\frac{N}{n R_t}} ; R_t = 60\,500 \frac{N}{n d^3} ; N = \frac{n d^3 R_t}{60\,500}$$

2 - Cálculo à flexão

M_f = momento flector em mKg
 R_f = coeficiente de trabalho à flexão ($R_f = 1,25 R_t$)

$$d = 21,6 \sqrt[3]{\frac{M_f}{R_f}} ; R_f = \frac{10\,185}{d^3} = M_f = \frac{d^3 R_f}{10\,185}$$

3 - Cálculo flexão - torção combinados

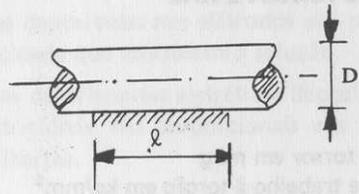
M_t, M_f = momentos; R = coeficiente admissível para flexão

$$d = 10 \sqrt[3]{\frac{3,5 M_f + 6,5 \sqrt{M_f^2 + M_t^2}}{R}}$$

$$\text{Se } M_f > M_t \quad d \cong 10 \sqrt[3]{\frac{9,75 M_f + 2,585 M_t}{R}}$$

(erro máximo \cong 1% sobre d)

$$\text{Se } M_t > M_f \quad d \cong 10 \sqrt[3]{\frac{5,085 M_f + 6,25 M_t}{R}} \quad (\text{erro máximo } \cong 1\% \text{ sobre } d)$$



Mancais: Relações usuais ℓ/d

Eixos lentos	$\ell \cong 1,5 D$
Eixos veloc. média	$\ell \cong 1,5 \div 2,5 D$
Eixos veloc. alta	$\ell \cong 2,5 \div 4 D$

XI - FORMULÁRIO -ELETRICIDADE

FÓRMULAS USUAIS

– Resistências em série

$$R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

– Resistências em paralelo ou derivação

$$1/R_T = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$$

– Lei de JOULE

$$Q = 0,24 t R I^2 ; P = R I^2$$

- Q = quantidade de calor produzida em cal
- R = resistência em ohms
- I = intensidade em ampères
- t = tempo em segundos
- P = potência absorvida pelo efeito Joule, em watts.

– Lei de Ohm

$$E = R I$$

E = força eletromotriz em volts

R = resistência em ohms

I = intensidade em ampères

– Corrente alternada

$$E = E_0 \text{ sem } \omega t$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$\varphi = \omega t$$

E = valor instantâneo da força eletromotriz

E_0 = força eletromotriz máxima

ω = velocidade angular de uma espira no campo magnético

t = tempo em segundos

– Intensidade eficaz

$$I_{ef} = \frac{I_{máx}}{\sqrt{2}} \text{ (Ampères)}$$

– Força eletromotriz eficaz

$$E_{ef} = \frac{E_{máx}}{\sqrt{2}} \text{ (Volts)}$$

– Potência de uma corrente alternada

$$P = P_a \cos \varphi = E_{ef} \times I_{ef} \times \cos \varphi \text{ (em kVA)}$$

T = período, revolução completa da espira (2π)

f = freqüência ou número de períodos por segundo

φ = ângulo de fase

TABELA XII-DE EQUIVALÊNCIAS DE DUREZAS E RESISTÊNCIA A TRAÇÃO

DUREZA		RESISTÊNCIA A TRAÇÃO						
BRINELL		ROCKWELL		VICKERS	SHORE C	Kg. por mm ²	x 1.000 Libras por polegada quadrada (pounds sq. in.).	Tons. por polegada quadrada (tons. sq. in.).
Bola 10 mm., con 3.000 kg.		C	B					
Diâmetro em mm.	Dureza	Carga de 150 kg. e cone de diamante de 120°	Carga de 100 kg. e bola de 1/16"					
2,05	898						440	
2,10	857						420	
2,15	817						401	
2,20	780	70					384	
2,25	745	68		980	105		368	
2,30	712	66		900	100	246	352	
2,35	682	64		885	99	235	337	150
2,40	653	62		820	95	227	324	145
2,45	627	60		765	91	218	311	139
2,50	601	58		717	88	208	298	133
2,55	578	57		675	84	200	287	128
2,60	555	55	120	633	81	193	276	123
2,65	534	53	119	598	78	184	266	119
2,70	514	52	119	567	75	177	256	114
2,75	495	50	117	540	73	170	247	109
2,80	477	49	117	515	70	164	238	106
2,85	461	47	116	494	68	159	229	102
2,90	444	46	115	472	66	154	220	98
2,95	429	45	115	454	64	149	212	95
3,00	415	44	114	437	62	144	204	91
3,05	401	42	113	420	60	136	196	87
3,10	388	41	112	404	59	133	189	84
3,15	375	40	112	389	57	128	182	81
3,20	363	38	110	375	55	124	176	79
3,25	352	37	110	363	54	120	170	76
3,30	341	36	109	350	53	116	165	74
3,35	331	35	109	339	51	113	160	71
3,40	321	34	108	327	50	109	155	69
3,45	311	33	108	316	49	106	150	67
3,50	302	32	107	305	47	103	146	65
3,55	293	31	106	296	46	100	142	63
3,60	285	30	105	287	45	98	138	62
3,65	277	29	104	279	44	96	134	60
3,70	269	28	104	270	43	92	131	58
3,75	262	26	103	263	42	90	128	57
3,80	255	25	102	256	41	88	125	56
3,85	248	24	102	248	40	86	122	54
3,90	241	23	100	241		84	119	53
3,95	235	22	99	235		82	116	52
4,00	229	21	98	229		80	113	50

TABELA XII (CONTINUAÇÃO).

DUREZA		RESISTÊNCIA A TRAÇÃO					
BRINELL		ROCKWELL		VICKERS	Kg. por mm ²	x 1.000 Libras por polegada quadrada (pounds sq. in.).	Tons. por polegada quadrada (tons. sq. in.).
Bola 10 mm., con 3.000 kg.		C	B				
Diâmetro em mm.	Dureza	Carga de 150 kg. e cone de diamante de 120°	Carga de 100 kg. e bola de 1/16"				
4,05	223	20	97	223	78	110	49
4,10	217	18	96	217	75	107	48
4,15	212	17	96	212	73	104	47
4,20	207	16	95	207	71	101	46
4,25	202	15	94	202	70	99	45
4,30	197	13	93	197	68	97	43
4,35	192	12	92	192	67	95	42
4,40	187	10	91	187	66	93	42
4,45	183	9	90	183	64	91	41
4,50	179	8	89	179	63	89	40
4,55	174	7	88	174	61	87	39
4,60	170	6	87	170	60	85	38
4,65	166	4	86	166	59	83	37
4,70	163	3	85	163	58	82	37
4,75	159	2	84	159	56	80	36
4,80	156	1	83	156	55	78	35
4,85	153	—	82	153	54	76	34
4,90	149	—	81	149	53	75	34
4,95	146	—	80	146	52	74	33
5,00	143	—	79	143	51	72	32
5,05	140	—	78	140	50	71	32
5,10	137	—	77	137	49	70	31
5,15	134	—	76	134	48	68	30
5,20	131	—	74	131	47	66	30
5,25	128	—	73	128	46	65	29
5,30	126	—	72	126	45	64	28
5,35	124	—	71	124	44	63	28
5,40	121	—	70	121	44	62	27
5,45	116	—	69	118	43	61	27
5,50	116	—	68	116	42	60	26
5,55	114	—	67	114	41	59	26
5,60	112	—	66	112	40	58	26
5,65	109	—	65	109	39	56	25
5,70	107	—	64	107	38	55	25
5,75	105	—	62	105	37	54	24
5,80	103	—	61	103	37	53	24
5,85	101	—	60	101	36	52	23
5,90	99	—	59	99	36	51	23
5,95	97	—	57	97	35	50	22
6,00	95	—	56	95	34	49	22

TABELA XIII.A - SÍMBOLOS E UNIDADES DE GRANDEZAS MECÂNICAS

Grandeza	Símbolo	Sistema MKS Sistema internacional (SI)	Unidade no		Uma unidade MKS ... unids. técnicas	... unids. CGS
			Sistema MKS	Sistema CGS		
Comprimento	l	m	m	cm	1	10^2
Superfície	A, S	m ²	m ²	cm ²	1	10^4
Volume	V	m ³	m ³	cm ³	1	10^6
Tempo	t	s	s	s	1	1
Velocidade	v	m/s	m/s	cm/s	1	10^2
Velocidade angular	ω	rad/s	1/s	1/s	1	1
Accleração	a	m/s ²	m/s ²	cm/s ² = Gal	1	10^2
Accleração angular	α	1/s ²	1/s ²	1/s ²	1	1
Massa	m	kg	kg	g	0,10197	10^3
Densidade, massa específica	ρ	kg/m ³	kg s ² /m ⁴	g/cm ³	0,10197	10^{-3}
Peso específico	γ	kg/m ² s ² = N/m ³	kg/m ³	g/cm ² s ²	0,10197	10^{-1}
Força, peso	F	kg m/s ² = N	kp	g cm/s ² = dyn	0,10197	10^5
Pressão	p	kg/m s ² = N/m ² = Pa = 10^{-5} bar	kp/m ²	g/cm s ² = dyn/cm ²	0,10197	10
Trabalho, energia, quantidade de calor	W, A, ϵ, Q	kg m ² /s ² = Nm = Ws = J	kp m	g cm ² /s ² = erg	0,10197	10^7
Potência	P	kg m ² /s ³ = Nm/s = J/s = W	kp m/s	g cm ² /s ³ = erg/s	0,10197	10^7
Momento de inércia de massa	J	kg m ²	kp m s ²	g cm ²	0,10197	10^7
Momento de uma força	M	kg m ² /s ² = Nm	kp m	g cm ² /s ²	0,10197	10^7
Compressibilidade	κ	m ² /kg	m ² /kp	cm s ² /g	9,80665	10^{-1}
Tensão superficial ou de limite	σ, γ	kg/s ²	kp/m	g/s ²	0,10197	10^3
Viscosidade dinâmica	η, V_d	kg/m s = Ns/m ²	kp s/m ²	g/cm s = P	0,10197	10
Viscosidade cinemática	ν, V_k	m ² /s	m ² /s	cm ² /s = St	1	10^4

Exemplo para a conversão de unidades técnicas em unidades CGS: 0,10197 (ou kgf·m) = 10^7 erg, 1 (kgf·m) = $9,80665 \times 10^7$ erg (accleração de gravidade -padrão $g_n = 9,80665$ m/s²; $1/g_n = 0,10197$ s²/m).
Conversão de unidades não-coerentes, veja a Tab.

TABELA XIII.B - SÍMBOLOS E UNIDADES DE GRANDEZAS ELÉTRICAS E MAGNÉTICAS

Grandeza	Símbolo	Unidade no		Uma unidade MKSA ... Unidades eletrostáticas		... Unidades eletromagnéticas	
		Sistema MKSA (sistema Giorgi) Sistema internacional (SI)	Sistema CGS eletrostático	Sistema CGS eletromagnético	Sistema MKSA	Sistema CGS	Sistema MKSA
Tensão elétrica	U, V	kg m ² /s ³ A = W/A = V	g ^{1/2} cm ^{1/2} /s	g ^{1/2} cm ^{3/2} /s ²	$0,333 \cdot 10^{-3}$	10^8	
Intensidade do campo elétrico	E, X	kg m/s ³ A = N/C = V/m	g ^{1/2} cm ^{1/2} /s	g ^{1/2} cm ^{1/2} /s ²	$0,333 \cdot 10^{-4}$	10^6	
Quantidade de electricidade	Q	As = C	g ^{1/2} cm ^{3/2} /s	g ^{1/2} cm ^{1/2}	$3 \cdot 10^9$	10^{-1}	
Densidade elétrica de deslocamento	D	As/m ² = C/m ²	g ^{1/2} cm ^{1/2} /s	g ^{1/2} cm ^{3/2}	$3 \cdot 10^5$	10^{-5}	
Capacitância elétrica	C	A ² s ⁴ /kg m ² = s/Ω = C/V = F	cm	s ² /cm	$9 \cdot 10^{11}$	10^{-9}	
Constante dielétrica	ϵ	A ² s ⁴ /kg m ³ = F/m	g ⁰ cm ⁰ s ⁰	s ² /cm ²	$1,129 \cdot 10^{11}$	$1,256 \cdot 10^{-10}$	
Intensidade da corrente elétrica	I	A	g ^{1/2} cm ^{3/2} /s ²	g ^{1/2} cm ^{1/2} /s	$3 \cdot 10^9$	10^{-1}	
Densidade da corrente elétrica	J, S	A/m ²	g ^{1/2} cm ^{1/2} /s ²	g ^{1/2} cm ^{3/2} s	$3 \cdot 10^5$	10^{-5}	
Condutância elétrica	G, S	A ² s/kg m ² = A/V = S	cm/s	s/cm	$9 \cdot 10^{11}$	10^{-9}	
Condutibilidade elétrica	σ, γ	A ² s/kg m ³ = S/m	1/s	s/cm ²	$9 \cdot 10^9$	10^{-11}	
Resistência elétrica	R	kg m ² /s ³ A ² = V/A = Ω	s/cm	cm/s	$0,111 \cdot 10^{-11}$	10^9	
Resistividade elétrica	ρ	kg m ³ /s ³ A ² = Ωm	s	cm ² /s	$0,111 \cdot 10^{-9}$	10^{11}	
Força	F	kg m/s ² = Ws/m = N	g cm/s ²	g cm/s ² = dyn	10^5	10^{11}	
Trabalho, energia	W, A, ϵ	kg m ² /s ² = Nm = Ws = J	g cm ² /s ²	g cm ² /s ² = erg	10^7	10^7	
Potência	P	kg m ² /s ³ = J/s = VA = W	g cm ² /s ³	g cm ² /s ³ = erg/s	10^7	10^7	
Tensão magnética	V	A/m = N/Wb	g ^{1/2} cm ^{3/2} /s ²	g cm ² /s ³ = erg/s	$3,770 \cdot 10^{10}$	1,257	
Intensidade do campo magnético	H	kg m ² /s ² A = J/A = Vs = Wb	g ^{1/2} cm ^{1/2} /s ²	g ^{1/2} cm ^{1/2} /s = Gb	$3,770 \cdot 10^8$	$1,257 \cdot 10^{-2}$	
Fluxo magnético	Φ	kg ² /s ² A = Vs/m ² = T	g ^{1/2} cm ^{1/2}	g ^{1/2} cm ^{3/2} /s = M	$0,333 \cdot 10^{-2}$	10^4	
Densidade do fluxo magnético	B	kg m ² /s ² A ² = J/A ² = Ωs = H	g ^{1/2} cm ^{3/2}	g ^{1/2} cm ^{1/2} s = G	$0,333 \cdot 10^{-6}$	10^6	
Indutância	L	kg m ² /s ² A ² = H/m = Wb/Am	s ² /cm	cm	$0,111 \cdot 10^{-11}$	10^9	
Permeabilidade	μ	kg m ² /s ² A ² = H/m = Wb/Am	s ² /cm ²	g ⁰ cm ⁰ s ⁰ = G/Oe	$0,8854 \cdot 10^{-15}$	$0,796 \cdot 10^6$	
Condutância magnética	Λ	kg m ² /s ² A ² = J/A ² = Ωs = H	s ² /cm	cm	$0,111 \cdot 10^{-11}$	10^9	

TABELA XIV - CONTROLES GEOMÉTRICOS NAS RETÍFICAS

CONTROLES GEOMÉTRICOS		CONTROLES GEOMÉTRICOS	
(1)		(1)	
(2)		(2)	
(3)		(3)	
(4)		(4)	
(5)		(5)	
(6)		(6)	
(7)		(7)	
(8)		(8)	
(9)		(9)	
(10)		(10)	
(11)		(11)	
(12)		(12)	
(13)		(13)	
(14)		(14)	
(15)		(15)	
(16)		(16)	
(17)		(17)	
(18)		(18)	
(19)		(19)	
(20)		(20)	
(21)		(21)	
(22)		(22)	
(23)		(23)	
(24)		(24)	
(25)		(25)	
(26)		(26)	
(27)		(27)	
(28)		(28)	
(29)		(29)	
(30)		(30)	
(31)		(31)	
(32)		(32)	
(33)		(33)	
(34)		(34)	
(35)		(35)	
(36)		(36)	
(37)		(37)	
(38)		(38)	
(39)		(39)	
(40)		(40)	
(41)		(41)	
(42)		(42)	
(43)		(43)	
(44)		(44)	
(45)		(45)	
(46)		(46)	
(47)		(47)	
(48)		(48)	
(49)		(49)	
(50)		(50)	
(51)		(51)	
(52)		(52)	
(53)		(53)	
(54)		(54)	
(55)		(55)	
(56)		(56)	
(57)		(57)	
(58)		(58)	
(59)		(59)	
(60)		(60)	
(61)		(61)	
(62)		(62)	
(63)		(63)	
(64)		(64)	
(65)		(65)	
(66)		(66)	
(67)		(67)	
(68)		(68)	
(69)		(69)	
(70)		(70)	
(71)		(71)	
(72)		(72)	
(73)		(73)	
(74)		(74)	
(75)		(75)	
(76)		(76)	
(77)		(77)	
(78)		(78)	
(79)		(79)	
(80)		(80)	
(81)		(81)	
(82)		(82)	
(83)		(83)	
(84)		(84)	
(85)		(85)	
(86)		(86)	
(87)		(87)	
(88)		(88)	
(89)		(89)	
(90)		(90)	
(91)		(91)	
(92)		(92)	
(93)		(93)	
(94)		(94)	
(95)		(95)	
(96)		(96)	
(97)		(97)	
(98)		(98)	
(99)		(99)	
(100)		(100)	

PROVAS PRÁTICAS
(USINAGEM POR ABRASÃO - Chevalier - Laval - SENAI - 4964)

VOCABULÁRIO TÉCNICO-PEQUENO DICIONÁRIO

PORTUGUÊS	FRANCÊS	ALEMÃO	INGLÊS
Abrasivos aplicados	Abrasifs appliqués	Schleif papier	Coated abrasives
Abrasivos ligados	Abrasifs agglomérés	Schleif körper	Bonded abrasives
Aço	Acier	Stahl	Steel
Aço rápido	Acier rapide	Schnell stahl	High-speed steel
Aço especial	Acier spécial	Spezial stahl	Alloy steel
Afiação	Affûtage	Schärfen	Sharpening
Afiadora	Affûteuse pour les	Werkzeug	Toolroom grinding
ferramentas	outils	schleifmaschine	machine
Afiadora de serras	Affûteuse pour	Sägeblatt	Saw blade grinder
	lames de scies	schleifmaschine	
Afiadora de metal	Affuteuse pour	Hartmetall	Cemented carbide
duro	outils au carbure	schleifmaschine	tool grinder
Área de contato	Aire de contact	Berührungsfläche	Area of contact
Alumina	Alumine	Tonerde	Alumina
Acabamento	Finis de surface	Schligffüte	Surface finish
Altura	Hauteur	Höhe	Height
Afiação à mão	Meulage a la main	Handschliff	Off hand grinding
Alongamento	Allongement	Dehnung	Elongation
Avanço prof. passe	Profondeur de passe	Tiefe des ganges	Infeed
Arranque (vazão)	Debit	Leistung	Output
Brocha	Alesóir	Reibahle	Reamer
Borda (do rebolo)	Bord	Wand	Rim
Balanceamento	Équilibrage	Auswuchtung	Balancing
Barra (aço)	Fer en barres	Stabeisen	Steel bars
Broca	Foret	Spiral Bohrer	Drill
Brunido	Rodoir	Schleifahle	Abrasive reamer
Copo reto	Meule boisseau droit	Gerade topescheibe	Straight cup whell
Copo cônico	Meule boisseau	Konische	Flaring cup whell
Cabeçote para	Tête porte	Schleifkopf	Grinding
segmento	segments		attachment
Centro	Noyau	Kern	Core
Corte	Tronçonnage	Trennschleifen	Cutting off
Carbureto de Boro	Carbure de Bore	Borkarbid	Boron carbide
Carbureto de Silício	Carbure de Silicium	Slizium karbid	Silicon carbide
Cementação	Cementation	Einsatzhärtung	Case hardening
Desbalanceamento	Balourd	Unwucht	Unbalance
Diamante (dressador)	Diamant	Diamant abrichter	Diamond tool
Dressador	Dresseur	Abrichter	Dresser
Diâmetro	Diametre	Durchmesser	Diameter
Dureza Brinell	Dureté Brinell	Brinell härte	Brinell hardness
Dureza Shore	Dureté Shore	Shore härte	Shore hardness
Dureza Rockwell	Dureté Rockwell	Rockwell härte	Rockwell hardness
Desbaste pesado	Ébarbage	Schruppen	Snagging
Desbaste leve	Ébavurage	Entgraten	Deburring
Eixo	Broche	Spindel	Spindle
Eixo	Arbre	Welle	Arbor
Endurecimento	Durcissement	Oberflächenhärtung	Carburizing
superficial	superficiel		
Espelhado	Encrassage	Verschmieren	Glazing
Espessura	Épaisseur	Stärke	Thickness
Estirado	Étirage	Ziehen	Drawing
Estrutura	Structure	Struktur	Structure

PORTUGUÊS	FRANÇÊS	ALEMÃO	INGLÊS
Ferro chado	Fer plat	Flacheisen	Flat bar
Furo	Alésage	Bohrung	Bore ou Arbor hole
Forja fria	Écrouissage	Kalthärtung	Goldworking
Facetas	Facettes	Rautenfläche	Chatter marks
Flanges	Fiasques	Rautenfläche	Chatter marks
Fragilidade	Fragilité	Sprödigkeit	Brittleness
Fresagem	Fraisage	Fräsen	Milling
Ferramenta em carbureto de Tungstênio	Outils em carbure de Tungstene	Hartmetall Werkzeuge	Cemented carbide tools
Grau (de dureza)	Grade	Härte	Grade
Jateamento	Sablage	Legierung	Alloy
Liga resinóide	Agglomérant resinóide	Kunstharz bindung	resinoid bond
Liga borracha	Agglomérant caoutchouc	Gummi bindung	Rubber bond
Liga vitrificada	Agglomérant vitrifié	Keramische bindung	Vitrified bond
Lima brunidora	Bâton de rodoir	Honsteine	Honing stick
Laminação	Laminage	Walzen	Rolling
Macho	Taraud	Gewindebohrer	Tap
Máquina retificadora de molas	Machine à rectifier les embouts de ressorts	Federn schleifmaschine	Spring grinding machine
Máquina portátil	Meuleuse portative	Tragbare schleifmaschine	Portable grinder
Máquina pêndulo	Meuleuse suspendue	Pendelschleifmaschine	Swing frame grinder
Nitretação	Nitruration	Nitrierung	Nitriding
Normalização	Normalisation	Normalisieren	Normalisation
Prato (rebolo)	Meule assiette	Tellerscheibe	Grinding wheel
Ponta montada	Meule sur tige	Schleifstift	Mounted wheel
Protetores	Protecteurs	Schutzhauben	Protection hoods
Perfil especial	Profil spécial	Spezialprofil	Special face
Precisão	Précision	Präzision	Accuracy
Porosidade	Porosité	Prosität	Prosity
Pedra de óleo	Pierre à huile	Oelstein	Oilstone
Queimadura	Brûlure	Brennspur	Burn
Quadrado (aço)	Fer carré	Vier kanteisen	Square steel
Rebaixo	Embrevement	Aussparung	Recess
Redondo (aço)	Fer rond	Rundeisen	Round bar
Refrigerante	Liquide d'arrosage	Kühlmittel	Coolant
Rebolo	Meule	Schleiftscheibe	Grinding wheel
Rebolo cilíndrico	Meule cylindre	Schleifzylinder	Cylinder wheel
Rebolo de arraste	Meule de contrôle	Vorschubscheibe	Control wheel
Rebolo diamantado	Meule diamant	Diamantschleif-scheibe	Diamond wheel
Rebolo para serra	Neule à scie	Sägeschärf-scheibe	Saw gumming wheel
Rebolo para canal	Meulage de cannelures	Rillenschleifen	Fluting
Retífica cilíndrica externa	Rectification cylindrique extérieure	Aussenrundscheifen	External grinding, grinding
Retífica	Rectifieuse	Schleifmaschine	Plunge grinding

PORTUGUÊS	FRANÇÊS	ALEMÃO	INGLÊS
Retífica eixo comando	Rectifieuse d'arbres à cames	Nockenwellen-schleifmaschine	Camshaft grinding, machine
Retífica mergulho	Rectification en plongée	Einsteichschleifen	Plung grinding
Retífica de eixos com canais	Rectifieuse d'arbres cannelés	Keilwellen-schleifmaschine	Spline shaft grinder
Retífica para pás de turbinas	Rectifieuse d'aubes de turbines	Turbinenschaufel-schleifmaschine	Turbine blade grinder
Retífica automática	Rectifieuse automatique	Vollautomatische schleifmaschine	Automatic grinder
Retífica de brocas	Rectifieuse de broches	Wellenschleifmaschine	Broach grinding machine
Retífica horizontal	Rectifieuse à broche broche horizontale	Schleifmaschine mit horizontaler spindel	Horizontal spindle grinding machine
Retífica de cabeçote oscilante	Rectifieuse à broche (ou tête) oscilante	Schleifmaschine mit beweglicher spindel	Swinging head grinder
Retífica vertical	Rectifieuse à broche verticale	Schleifmaschine mit vertikaler spindel	Vertical spindle grinding machine
Retífica centerless	Rectifieuse sans centre	Spitzenlose schleifmaschine	Centerless grinding machine
Retífica copiadora ou de perfil	Rectifieuse à copier ou a profiler	Kopier schleifmaschine	Profile grinder, profiling grinder
Retífica cames	Rectifieuse pour cames	Nockenwellen schleifmaschine	Cam grinding machine
Retífica laminação	Rectifieuse pour cylindres de laminoirs	Walzen schleifmaschine	Roll grinder, rolling mill roll grinder
Retífica de eixos (mat. ferroviário)	Rectifieuse pour essieux	Achsschenkel schleifmaschine	Axle grinding machine
Retífica engrenagens	Rectifieuse pour engrenages internes	Innenverzahnung schleifmaschine	Internalgear grinding machine
Retífica de mesa	Rectifieuse d'établi	Tisch schleifmaschine	Bench grinding machine
Retífica roscas internas	Rectifieuse pour filetages (internes)	Innengewinde schleifmaschine	Internal thread grinder
Retífica roscas	Rectifieuse pour filetages	Gewinde schleifmaschine	Thread grinding machine
Retífica brocas	Rectifieuse pour forets helicoidaux	Spiralbohrer-schleifmaschine	Twist drill grinder
Retífica frezas	Rectifieuse pour fraises	Fräser schleifmaschine	Cuttergrinder, hob grinder
Retífica interna	Rectifieuse intereure	Innenrundscheifmaschine	Internal grinding machine
Retífica plana	Rectifieuse plane	Flächen schleifmaschine	Flat surface grinder
Retífica precisão	Rectifieuse de précision	Prazisionschleifmaschine	Fine grinding machine
Retífica virabrequim	Rectifieuse de vilebrequins	Kurbelwellen-schleifmaschine	Crankshaft grinder
Recozimento	Recuit	Glühen	Annealing

PORTUGUÊS**FRANÇÊS****ALEMÃO****INGLÊS**

Revenimento
Rodagem
Segmento
Solda
Suporte de peça
Sextavado (aço)
Superacabamento
Têmpera

Revenu
Dodage
Segments
Soudure
Support de piece
Fer hexagonal
Superfinition
Durcissement par
tremp

Anlassen
Honen
Schleifsegmente
Schweisnaht
Schleifauflage
Sechskanteisen
Feinstschleifen
Härtung

Tempering
Honing
Segments
Welding
Work rest
Hexagonal bar
Superfinishing
Hardening

Tamboreamento
Torno
Tornear
Tratamento térmico

Tonnelage
Tour
Tournage
Traitment
thermique

Abscheuern
Drehbank
Drehen
Wärmebehandlung

Tumbling
Lathe
Turning
Heat treating

Velocidade de corte

Vitesse de coupe

Schnittgeschwin-
digkeit

Cutting rate

Velocidade
periférica
Velocidade da mesa

Vilesse
périphérique
Vitesse de table

Umfanggesch-
windigkeit
Tischgesch-
windigkeit

Peripheral speed

Table speed

Velocidade de
trabalho

Vitesse d'utilisation

Arbeitsgesch-
windigkeit

Operating speed

BIBLIOGRAFIA

1. THE MEASUREMENT OF SURFACE TEXTURE
Editora: Mac Millan and Co.
Autor: R. E. Reason
2. ABRASIFS
Editora: Librairie Polytech, Ch. Beranger, 1910
Autor: Escard
3. MECANISMOS
Editora: Dossat, 1973
Autor: Celso Máximo
4. COMBUSTION HANDBOOK
Editora: North American Combustion Mfg Co., 1965
5. MANUAL PRÁTICO DE ÓLEO-HIDRÁULICA
Editora: Blume, 1968
Autores: Pranzer, Breitler
6. CONOCIMIENTO ENSAYO Y TRATAMIENTO DE LOS MATERIALES
Editora: Cedel
Autor: Lasheras Esteban
7. TECNOLOGIA MECÂNICA – MANUAL PRÁTICO
Editora: Gustavo Gili, 1977
Autor: Horst Danowsky
8. SCHLEIFEN DER WERKZEUGE
Editora: Tech, Verlag Herbert Cram. Berlin, 1954
Autor: Senator H. C. Bernhard Kleinschmidt
9. TECNOLOGIA MECANICA Y METROTECNIA
Editora: Cedel, 1963
Autores: Lasheras, Arias
10. FABRICATION MODERNE DE LA PORCELAINE
Editora: Librairie Ballière, Vol. I e II
Autor: Marc Larchevêque, 1929
11. FUNDAMENTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LA CERAMICA
Editora: Reverté S/A, 1955
Autor: Salmang
12. TÉCNICA CERÂMICA
Editora: Omega, 1977
Autor: Peder Hald
13. GRINDING WHEELS
Editora: G. W. I. Institute
Autores: Lewis e Schleicher
14. SCHLEIFEN HONEN UND POLIEREN – AUSGABE, 49
Editora: Vulkan Verlag, 1977
15. ABRASIVE METHODS ENGINEERING – GRINDING PRACTICE
Editora: Industrial Press, 1976
Autor: Francis T. Farago
16. TERMOTECNIA
Editora: Dossat, 1963
Autor: Claver Salas
17. ELECTRICIDAD INDUSTRIAL
Editora: Gustavo Gili, 1958
Autor: Roberjot
18. LA CERAMIQUE
Editora: Paraninfo, 1978
Autor: Claude Vittel

19. CILYNDRICAL GRINDING PRACTICE
 Editora: Mir Moscu
 Autores: B. Ghenis, L. Doktor, V. Tergan
20. PERRY HANDBOOK CHEMICAL ENGINEERS
 Editora: Mc Graw Hill – Kagakusha
 Autores: Perry, Chilton
21. DUBBEL MANUAL DEL CONSTRUCTOR DE MAQUINAS
 Editora: Hemus
22. HORNOS INDUSTRIALES – Vol. I e II
 Editora: Urmo Bilbao, 1968
 Autores: Trinkns & Mawhinney
23. REFRACTORIES
 Editora: Mc Graw Hill, 1968
 Autor: F. H. Norton
24. FINE CERAMICS
 Editora: Mc Graw Hill, 1968
 Autor: F. H. Norton
25. EPOXI RESINS HANDBOOK
 Editora: Mc Graw Hill, 1967
 Autores: Neville and Lee
26. INTRODUCTION TO CERAMICS
 Editora: Wiley – Interscience, 1976
 Autores: Kingery, Bowen, Uhlmann
27. ANÁLISE VIBRATÓRIO
 Editora: Ao Livro Técnico – RJ, 1964
 Autor: Adhemar Fonseca
28. USINAGEM POR ABRASÃO
 Autores: A. Chevalier, R. Labille
 Traduzido por Edmond Cadé – Senai, 1962
29. ABRASIVOS
 Editora: Marcombo, 1979
 Autor: Figueras
30. ESSENTIALS OF MATERIALS SCIENCE
 Editora: Mc Graw Hill – Kagakusha, 1976 – Tóquio
 Autor: A. Guy
31. CUTTING TOOL PRODUCTION
 Editora: Mir Moscu, 1978
 Autor: E. Barsov
32. USINAGE DES METAUX PAR LA COUPE
 Editora: Ecole Superieure - Moscu
 Autor: A. V. Panskine
33. QUIMICA GENERAL
 Editora: Estades Editorial, 1960
 Autor: Onofre Mendiola Ruiz
34. FORMULÁRIO DE MECÂNICA
 Editora: Cedel, 1972
 Autor: Luis Pareto
35. FABRICATION MODERNE DE LA PATE MECANIQUE
 (NEUZEITLICHE HOLZSCHLIFFERZEUGUNG)
 Editor: Dr. Sändig Verlag KG, 1957
 Autor: H. Klemm
36. JAHRBUCH DER SCHLEIF – UND POLIERTECHNIK
 Editora: Vulkan Verlag, Dr. Classen, 1956
 Autor: Senator Hc. Bernhard Kleischmidt

PUBLICAÇÕES E REPORTS REFERENCIAIS

- The E Modulus, a suitable characteristic of grinding wheels
 J. Peters and R. Snoeys, Report CRIF MC 9, 1965
- Classifying grinding wheels with the grindo-sonic
 Decneut, Report CRIF 67 R8, 1967
- Safety and design standards for vitrified wheels
 S.A. Haywood and D.C.L. Cotton, Report Intergrind, 1976
- A comparing between creep-feed grinding and conventional
 Lars Kindsjö, Report Intergrind, 1976
- Lower Speeds in creep-feed grinding
 K. B. Southwell and J. R. Chakley, Report Intergrind, 1976
- Formulación de esmaltes
 Xavier Elias, Barcelona, 1982
- Hoffman Actualités (News) nºs 4, 8 e 12
- Gas Industria nº 11
 Jorge Roca, Isidro Margarit, Catalana de Gas y Electricidad - Barcelona, 1980
- Instrumentos Industriais
 Siemens, SP. Brasil, 1984
- Periodic Kilns for firing ceramic products
 Lenz and Remmey Jr., Report Inter-ceram nº 18, 2/1969
- Kanthal catalogue – manuel
 Hallstahammar (Suécia)
- Phenolic Resins for grinding wheels
 Varcum/RCI, E.U.A.
- Bakelite GmbH – Kunstharz – Bindungen, Alemanha
- Winter do Brasil – São Paulo
- Fiberfrax – Globar – Fiberwall
 The Carborundum Co. E.U.A.
- Norton Co. – Worcester, E.U.A. – Pulp stone's Catalogue
- Compagnie Norton – Manuel-aide memoire, França
- Cincinnati Milacron Marketing Co. 1983, E.U.A.
- M.S.O. (Cincinnati) – Alemanha

e CATÁLOGOS das firmas: ELFUSA, EMAS-CARBORUNDUM, WINTER (Brasil), SOFREM (França), NAVARRO S/A, ACEROS HEVA, TEFISAL, MUVISA, VITSA, CECROPS, SKF (Espanha), PHILMUT-COLMANN, MSO, NAXOS-UNION, AMNI, REXROTH HIDRAULIK (Alemanha), G & B AUTOMATED EQUIPMENT LTD. (Canadá).

NORMAS: DIN/FEPA/GWI/ABNT/ISO/GOST.

