

Capítulo I I

Retificação

De maneira geral, a retificação é aplicada em processos de acabamento. As muitas vantagens do processo, que garantem a excelência no acabamento de peças, tornam a retificação indispensável quando o assunto é qualidade e atenção às tolerâncias. Esse processo atende, assim, aos requisitos da indústria metal-mecânica, que exige precisão cada vez maior, e é inevitável que os processos de acabamento acompanhem essa demanda. Outros fatores, atualmente, são a redução do tempo de processamento e do número de máquinas necessárias no processo, que resultam em aumento na produtividade.

Como exemplos de aplicações da retificação na indústria, podem ser citadas as operações de acabamento em virabrequins, comandos de válvula, ferramentas de corte etc.

A retificação nem sempre teve a importância atual. As retíficas foram as últimas máquinas a receber o comando numérico que hoje define critérios de estratégia, condições de ciclo, taxas de remoção, condições de preparação dos rebolos e das ferramentas, entre outros. As máquinas funcionavam com sistemas de acionamento hidráulico ou eletromecânico. As demandas de qualidade cada vez maiores e os gargalos das máquinas de produção passaram a ser relacionados a esse tipo de processo. A necessidade de aumentar a flexibilidade nas indústrias foi outro fator que fez com que os tempos de preparação fossem mais valorizados.

II.1 Definições em retificação

Retificar, em Mecânica, significa corrigir irregularidades, fissuras, poros e corpos estranhos de superfícies de peças, para poder atingir níveis de acabamento e tolerâncias superiores. Retificação é um processo de usinagem por abrasão que utiliza ferramentas de múltiplas arestas (multicortantes), a fim de assegurar as dimensões finais, os desvios de posição, a rugosidade superficial etc., com a remoção do sobremetal previsto.

A retificação é uma operação bastante precisa e cuidadosa, que tem por objetivo:

- dar à superfície de peças a exatidão de medidas que permita serem substituídas umas pelas outras, no conceito de intercambialidade;
- retificar peças que tenham sido deformadas durante um processo de tratamento térmico;
- realizar referência de usinagens posteriores, antes de a peça ser tratada termicamente. São operações conhecidas como retificação “mole”.

A ferramenta de corte no processo de retificação é chamada **rebolo**. O rebolo possui formato circular, geralmente em forma de disco, e deve estar balanceado. É fabricado com abrasivos ligados entre si por elementos aglomerantes.



Figura 11.1

Rebolos.

O rebolo possui inúmeras arestas de corte. Rotaciona e entra em contato com a peça, que pode estar girando ou não de acordo com o tipo de retificação, com avanço de corte controlado, retirando cavacos bem pequenos.

A retificação é usualmente aplicada após o tratamento térmico. Remove o sobremetal intermediário deixado por outros processos, como o torneamento e o fresamento, de apenas 0,2 a 0,5 mm de espessura, dependendo das dimensões da peça ou da superfície a ser retificada. Essa pequena remoção ocorre em função do custo elevado da retificadora e seu uso torna o produto mais caro.

A retificação, em geral, consiste em diversas etapas de trabalho. Na retificação cilíndrica, um tipo de retificação tangencial, por exemplo, podem ser citadas as fases de aproximação, desbaste, dressagem, semiacabamento, acabamento e afastamento.

11.2 Tipos de retificação

11.2.1 Retificação tangencial

Processo executado com a superfície de revolução da ferramenta. A retificação tangencial pode ser:

- cilíndrica – a superfície usinada é cilíndrica. Essa superfície pode ser externa ou interna, de revolução ou não. Quanto ao avanço automático da ferramenta ou da peça, a retificação cilíndrica pode ser com avanço longitudinal da peça ou com avanço radial, circular ou longitudinal do rebolo;
- cônica – a superfície usinada é cônica. Essa superfície pode ser interna ou externa. Quanto ao avanço automático da ferramenta ou da peça, a retificação cônica pode ser com avanço longitudinal da peça ou com avanço radial, circular ou longitudinal do rebolo.
- de perfis – a superfície usinada é uma superfície qualquer gerada pelo perfil do rebolo.

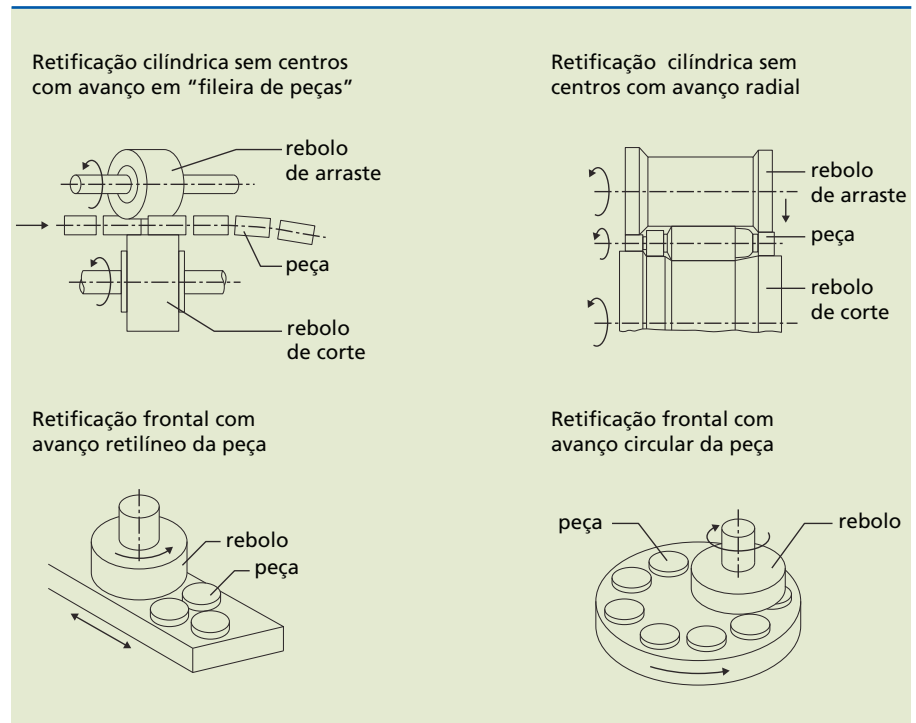
- plana – a superfície usinada é uma superfície plana.
- cilíndrica sem centros – processo de retificação cilíndrica no qual a peça sem fixação axial é usinada por ferramentas abrasivas de revolução, com ou sem movimento longitudinal da peça. A retificação sem centros pode ser com avanço longitudinal da peça (retificação de passagem) ou com avanço radial do rebolo (retificação em mergulho).

11.2.2 Retificação frontal

Processo de retificação executado com a face do rebolo. É, em geral, executada na superfície plana da peça, perpendicularmente ao eixo do rebolo. A retificação frontal pode ser com avanço retilíneo ou com avanço circular da peça.

As figuras 11.2 e 11.3 mostram os diferentes tipos de retificação.

Figura 11.2
Tipos de retificação.

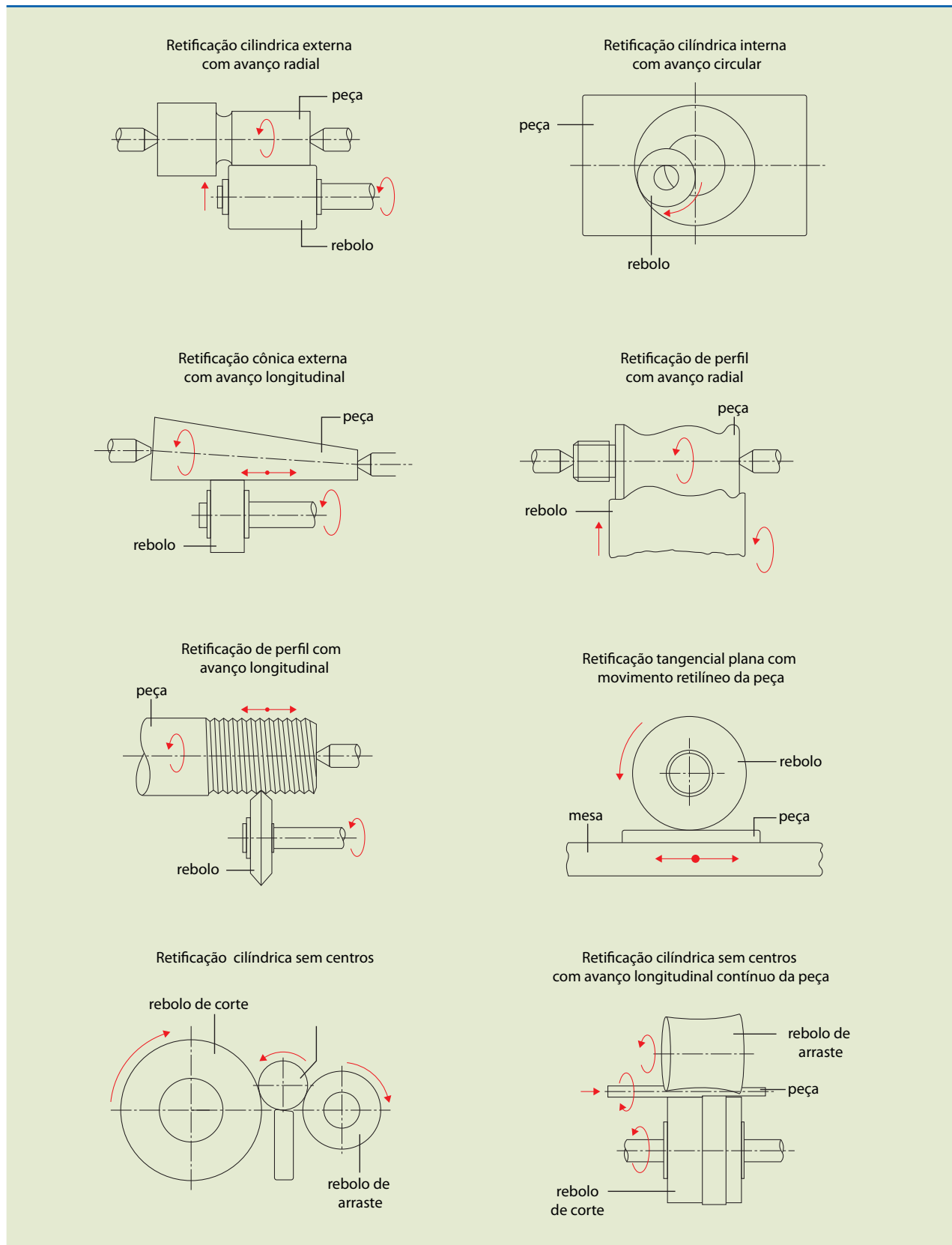


Mesmo sendo um processo muito conhecido, a retificação ainda é considerada uma operação complexa, pela variedade de fatores que influenciam o processo, entre eles:

- peça – forma, material, usinabilidade;
- máquina-ferramenta – estabilidade, rigidez, capacidade de fixação, acessórios, qualidade, instalação;
- ferramenta – diâmetro, material abrasivo, tamanho do grão abrasivo, densidade de grãos, ligante, condicionamento;
- parâmetros de corte – taxa de retificação, velocidade de corte, avanço, rotação da peça, profundidade de corte e comprimento de corte;
- periféricos – fluido de corte, filtragem, ambiente etc.

Figura 11.3

Tipos de retificação.



11.3 Retificadora

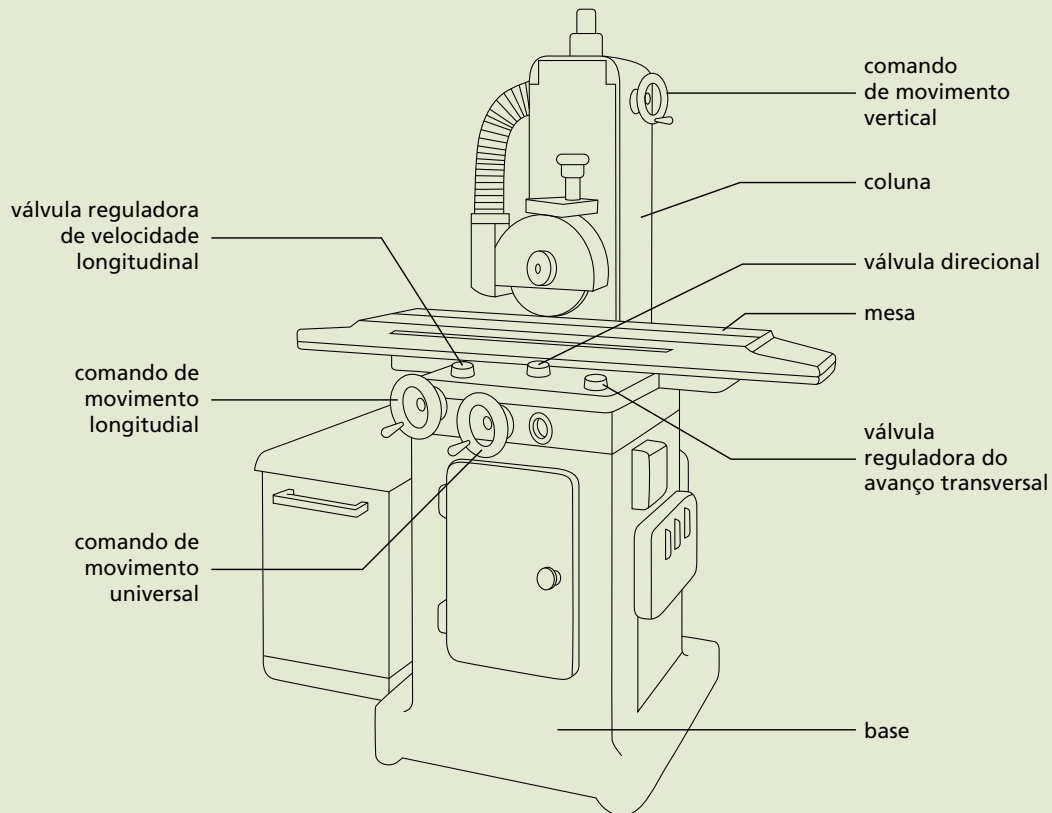
Os tipos mais comuns de retificadora são: a plana, a cilíndrica universal e a cilíndrica sem centros, também chamada *centerless*. Podem ser manuais, semiautomáticas e automáticas. A *centerless* é apenas automática, pois se trata de máquina utilizada para a produção em série.

11.3.1 Retificadora plana

Essa máquina (figura 11.4) é utilizada para retificar faces planas diversas. A mesa executa movimento retilíneo alternado na longitudinal e avanço na transversal para trabalhar faces e superfícies paralelas, perpendiculares ou inclinadas (nesse caso com o auxílio de acessórios). A peça é fixada na mesa da máquina geralmente com auxílio de uma mesa magnética. Após a operação, aplica-se um desmagnetizador na peça.

Figura 11.4
Retificadora plana tangencial.

A retificadora plana pode ser tangencial, de eixo horizontal, e de topo, de eixo vertical.



11.3.2 Retificadora cilíndrica universal

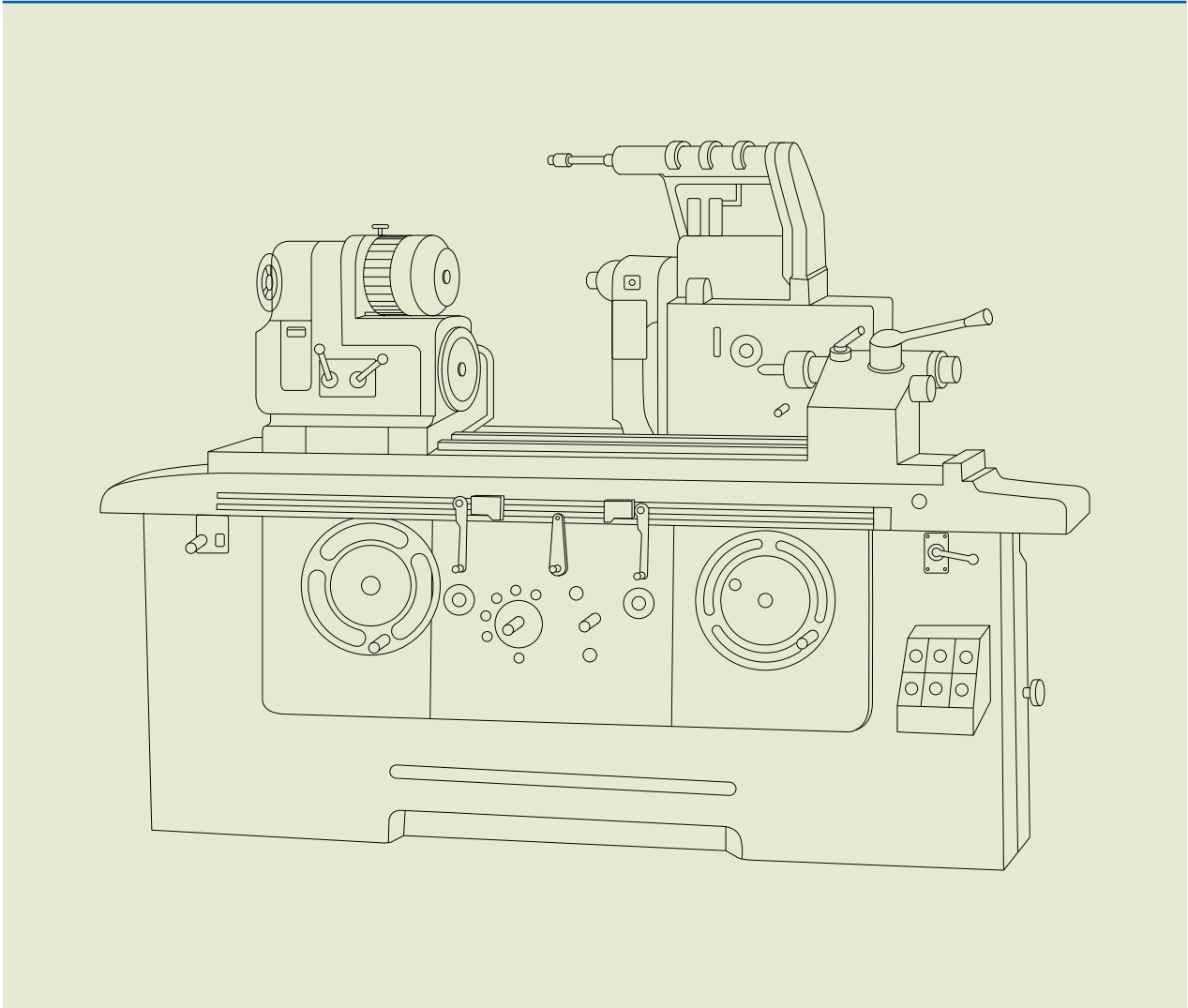


Figura 11.5

Retificadora cilíndrica universal.

A máquina mostrada acima é usada nas retificações de peças cilíndricas em geral. O rebole gira, entra em contato com a superfície da peça em rotação e remove o material. Em geral é a máquina utilizada para retificação externa e faces de eixos rebaixados. Com rebole de formato e dimensões apropriadas, possibilita a retificação da face da peça e de superfícies internas. A peça é geralmente fixada entre pontas para retificação externa, usando contrapontas, grampo arrastador e arrastador, como no torneamento. Algumas vezes usa-se luneta fixa (como no torneamento) ou dispositivo especial para fixação, dependendo do tipo de peça a retificar.

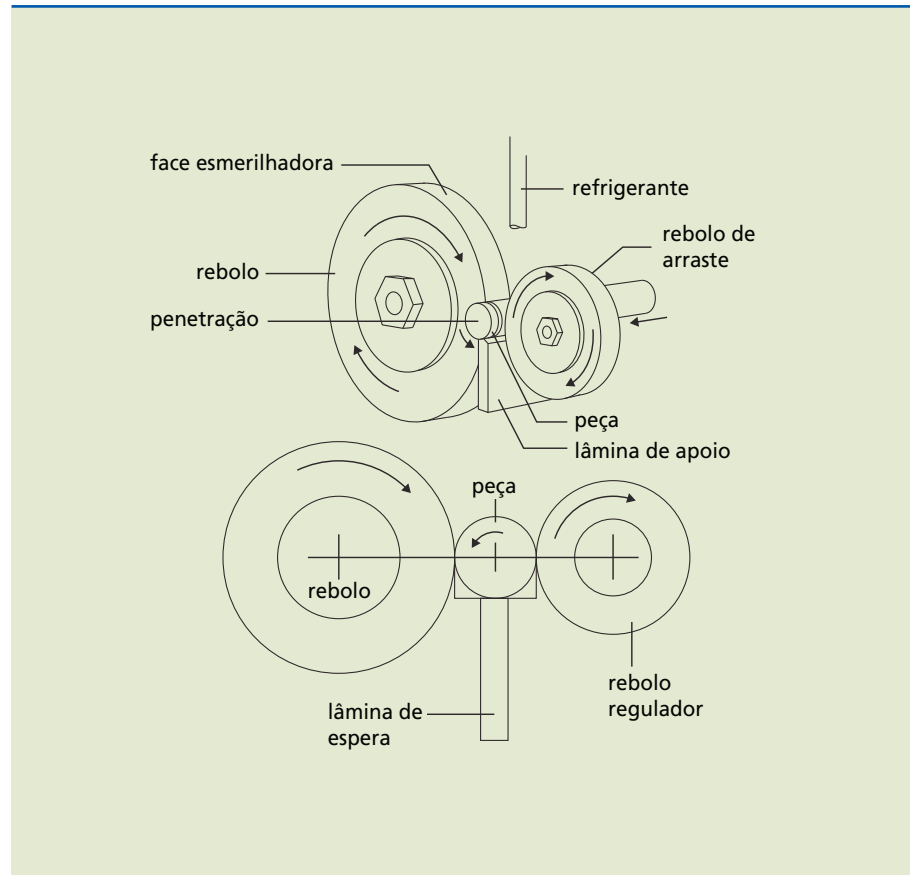
Na retificação interna, a peça é fixada em placas universais de castanhas. É a de maior custo, principalmente na retificação de diâmetros pequenos, pois o rebole precisa entrar no furo, o que limita o espaço de uso do refrigerante. Além disso, o controle torna-se mais difícil pelo reduzido campo de visão da ferramenta e pelas dificuldades de medição interna em faixas de tolerância apertadas.

11.3.3 Retificadora sem centros (*centerless*)

É um tipo de máquina diferenciada, pois nela se executa a retificação externa em peças cilíndricas (sem rebaxos), sem fixar a peça. Possui um disco de arraste, ligeiramente inclinado e girando em baixa rotação, com regulagem para ajustar a distância ao rebolo e realizar o avanço da peça nesse espaço entre eles. É um tipo de máquina muito utilizado na produção seriada.

Figura 11.6

Retificadora sem centros.



11.4 Especificação, seleção e tipos de rebolos

Nos rebolos, é descrita sua especificação para garantir ao usuário os parâmetros de segurança de utilização. As características de um rebolo são definidas por cinco elementos importantes (STOETERAU, 2004):

- o material que compõe os grãos do rebolo – tipo de **abrasivo**;
- o tamanho dos grãos abrasivos – **granulação**;
- o material que une os grãos abrasivos – **aglomerante**;
- a resistência do aglomerante – define o **grau de dureza**;
- a porosidade do disco abrasivo – informa como é a **estrutura**.

Na figura 11.7 são ilustradas as sugestões para a seleção do rebolo quanto à natureza, ao tipo e formato do material a ser retificado.

Forma	Aplicação	Forma	Aplicação
 disco reto	Afiação de brocas e ferramentas diversas	 copo reto	Afiação de fresas frontais, fresas de topo, fresas cilíndricas, machos, cabeçotes porta-bits.
 perfilado	Peças perfiladas	 copo cônico	Afiação de fresas angulares, rebaixadores, broca de 3 e 4 arestas cortantes, fresas frontais, fresas de topo.
 disco	Afiação de machos, brocas	 segmentos	Retificação plana de ataque frontal no faceamento de superfícies.
 prato	Afiação de fresas de forma, fresas detalonadas, fresas cilíndricas, fresas frontais, fresas de disco.	 pontas montadas	Ferramenta de corte e estampos em geral.

Como a retificação é uma operação final na grande maioria dos roteiros de processo, é necessário garantir a exatidão dimensional e o bom acabamento. Para isso, deve-se levar em conta o tipo de material a usinar, o tipo de granulagem, o aglomerante do rebolo e o tipo de trabalho a ser feito. Na tabela 11.1 e nos quadros seguintes mostra-se um exemplo para a retificação de aço não temperado.

Tipo de trabalho	Tipo de granulagem	Tipo de aglomerante
Desbaste	Grossa	Vitrificado
Semiacabamento	Média	Vitrificado
Retificação fina	Fina	Resinoide, borracha, goma laca, vitrificado

O aglomerante vitrificado, utilizado na maioria dos rebolos fabricados, representa 70% e 80% do total. Quanto à velocidade da mesa, existem as seguintes relações:

Figura 11.7

Sugestões para a seleção do tipo de rebolo.

Tabela 11.1

Características do rebolo para a retificação de aço não temperado.



Material mole – Maior velocidade da mesa
Material duro – Menor velocidade da mesa

Rebolo de liga vitrificada – Baixa velocidade (até 33 m/s)
Rebolo de liga resinoide – Alta velocidade (até 45 m/s)

Quanto ao material**Quanto à estrutura**

Material mole – rebolo duro
Material duro – rebolo mole




Desbaste – estrutura aberta
Acabamento – estrutura fechada

11.4.1 Tamanho de grão

É uma importante característica do rebolo. A classificação do tamanho do grão é baseada em uma peneira (polegadas lineares). Os rebolos fabricados com granulometria grande (menor número na escala) são empregados para trabalhos de desbaste, e os finos (maior número na escala), para acabamentos. É fácil identificar o tamanho do grão, pois ele vem marcado no rebolo.

O tamanho do grão pode ser uma das causas de problemas com rugosidade superficial da peça na operação de retificação. Outras causas de problemas de acabamento podem ser o desbalanceamento do rebolo, folgas na máquina, parâmetros de corte incorretos, entre outros. Existe relação de aplicação da rugosidade (Ra) com a granulação do abrasivo e a profundidade de corte do rebolo (tabela 11.2).

Tabela 11.2
Relação entre rugosidade, granulometria e profundidade de corte

Rugosidade	Granulometria	Profundidade
12,5 	Granulação Profundidade	40 a 60 10 a 30 µm
6,3 	Granulação Profundidade	80 a 100 5 a 15 µm
0,8 	Granulação Profundidade	200 a 300 1 a 8 µm

11.4.2 Materiais abrasivos

Os materiais abrasivos precisam ter elevada dureza, estabilidade térmica e estabilidade química. Os materiais podem ser naturais (quartzo, coríndon e diamante natural) ou sintéticos, mas os abrasivos naturais têm pouca importância por serem de baixa resistência. Os **materiais abrasivos sintéticos** utilizados são (STOETERAU, 2004):



- diamante sintético – é o material de maior dureza entre todos os materiais; possui custo elevado;
- carboneto de silício – de elevada dureza, possui boas características térmicas e estabilidade química, é recomendado para retificar ferro fundido cinzento, ferro fundido coquilhado, materiais não ferrosos e não metálicos. Caracteriza-se pelas cores verde e preta, conforme o grau de impurezas;
- nitreto de boro cúbico (CBN) – material de elevada dureza; somente o diamante é mais duro. De elevada resistência à temperatura, é usado para materiais duros como aços rápidos e aços-liga temperados.

Tabela 11.3

Características e aplicações dos abrasivos

Características e usos gerais dos abrasivos		Aplicação	Abrasivo	Tamanho do grão	Dureza	Porosidade	Liga				
Óxido de alumínio	A Rebolo cinza opaco azulado Uso: Em ferro e aço (rebolo comum)	Uso geral	Desbaste muito grosso	A ou C	14	R	5	B			
	AA Rebolo branco ou vermelho ferrugem Uso: Aços temperados, dureza forte		Desbaste grosso	A ou C	24	O	6	B ou V			
	DA Rebolo cinza esbranquiçado (pouco usado) Uso: Aços temperados de dureza branda		Desbaste leve	A ou C	36	O	6	B ou V			
	RA Rebolo rosado Uso: Afição e usinagem de ferramentas especiais de aço rápido e aços duros		Semiacabamento	A ou C	46	O	6	B ou V			
	RB Rebolo cor morango Uso: Afição de precisão, onde o rebolo deve manter o perfil (broxas, filetes, estrias etc.)		Acabamento e afiação	A	60	N	6	V			
			Acabamento fino	A	80	M	6	V			
Carboneto de silício	GC Rebolo verde Uso: Metal duro (Widia) C Rebolo cinza chumbo brilhante Uso: Ferro fundido, materiais não ferrosos e não metálicos (latão, bronze, mármore etc.)	Ferramentaria	Desbaste	Aços temperados	DA AA RA RB	46	J ou K	6	V		
						60	J ou K	6	V		
						80	J ou K	6	V		
	B Liga resinoide V Liga vitrificada NB Na liga B resinoide predomina a cor marrom no rebolo	Afição	Widia	Desbaste	GC	80	J ou K	6	V		
						Acabamento	GC	120	J ou K	6	V

11.5 Operações nos rebolos

São duas as operações nos rebolos: o dressamento e o perfilamento.

- O **dressamento** é a operação executada nos rebolos durante a retificação. É uma espécie de reafiação, que consiste em remover o ligante entre os abrasivos ou remover grãos arredondados (caracterizado por rebolo espelhado), assim como limpar rebolos carregados de cavacos (rebolo empastado) para criar novos espaços entre os grãos. Geralmente o dressamento é feito ao ser colocado o rebolo na máquina e entre passes de retificação.
- O **perfilamento** visa dar o formato requerido ao rebolo. É feito muitas vezes durante o dressamento, ajustando a forma do rebolo. Algumas aplicações já são fornecidas no perfil da peça, como rebolos para retificar barramentos de tornos mecânicos e CNC.

11.6 Cuidados na utilização e montagem dos rebolos

Como os rebolos podem ser causas de acidentes sérios, antes do uso devem ser observados diversos cuidados em sua utilização e montagem. Precisam ser inspecionados visualmente, para prever possível dano de fabricação ou de armazenamento e transporte, e testados com prova de som quanto à existência de trincas. O armazenamento deve garantir o posicionamento correto para cada tipo de rebolo e que eles estejam isentos de umidade excessiva e da incidência da luz solar direta.

Os rebolos devem ser balanceados antes de serem colocados na máquina. É preciso observar a rotação máxima, especificada no rótulo, assim como fazer a montagem correta.

11.7 Fluidos de corte

Os fluidos de corte em retificação têm as funções de:

- refrigeração na zona de retificação para evitar marcas de superaquecimento e até possíveis trincas, melhorando o acabamento e aumentando a vida do rebolo;
- lavagem dos cavacos na máquina em geral, não permitindo a formação de pós que podem ser abrasivos e nocivos à saúde.

Os fluidos são selecionados em função do material da peça e do tipo de abrasivo utilizado. A seguir são descritos alguns exemplos de aplicação.

- Os rebolos de CBN requerem fluidos não miscíveis em água, para reduzir o desgaste do rebolo e a afinidade do óxido bórico com o vapor-d'água.
- Em retificação cilíndrica, plana e sem centros, que são operações leves, aplica-se fluido miscível em água com aditivos para evitar corrosão, reduzir o atrito, o empastamento e o desgaste do rebolo.

- Na retificação de ranhuras, roscas, engrenagens etc., com rebolos perfilados, gera-se muito calor por atrito. O rebole costuma ser bastante exigido para manter a forma e medidas precisas, buscando excelente acabamento superficial. Nesses casos, preferencialmente, usam-se óleos com aditivos redutores de atrito.

A utilização de fluidos pode gerar problemas ambientais. Os fluidos de corte precisam ser filtrados, pois a retificação remove cavacos em forma de partículas minúsculas, que se acumulam no tanque do fluido.

11.7.1 Forma de aplicação dos fluidos de corte

O sistema de alimentação do fluido é muito importante na operação eficiente de retificação. As variáveis de aplicação que mais se destacam são: o volume, a pressão, a velocidade dos jatos, o ângulo de impacto e a forma e número de bocais. O fluido deve ser dirigido com abundância, sem interrupção por qualquer motivo, na posição antes do ponto em que está ocorrendo o processo. As pressões aumentam com a potência da máquina e atingem 0,6 MPa.

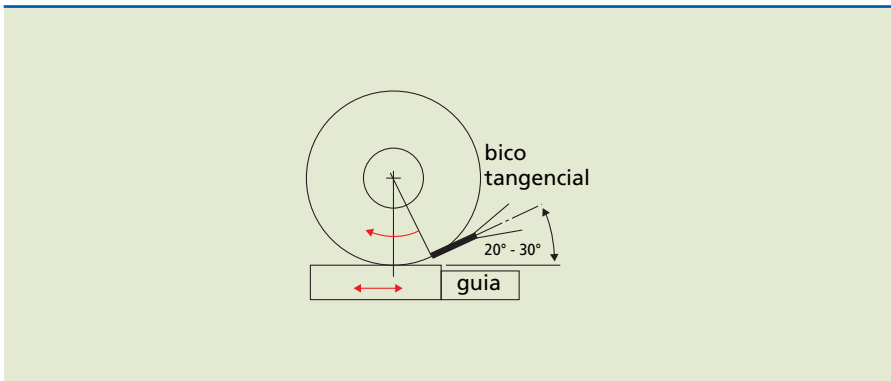


Figura 11.8

Aplicação de jato lubrificante na retificação plana.

A figura 11.9 ilustra exemplo de jato lubrificante para retificação interna, e na figura 11.10 há exemplo de jato lubrificante para retificação cilíndrica externa.

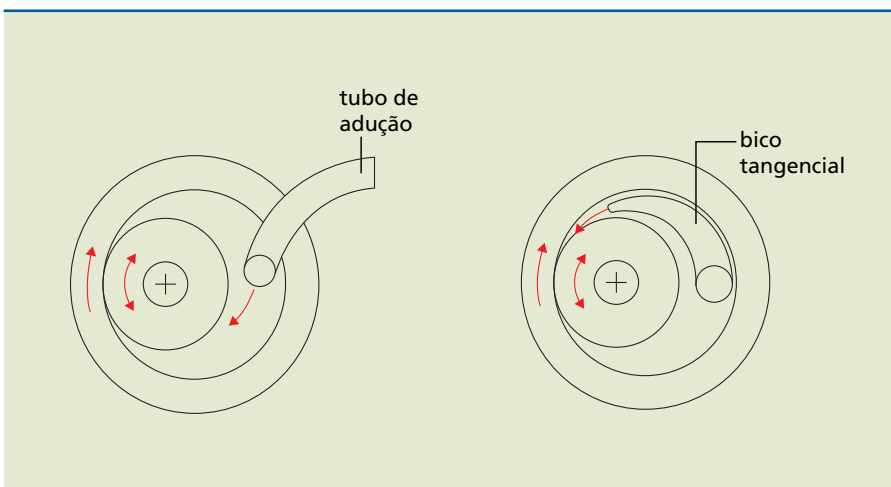


Figura 11.9

Aplicação de jato lubrificante na retificação interna.

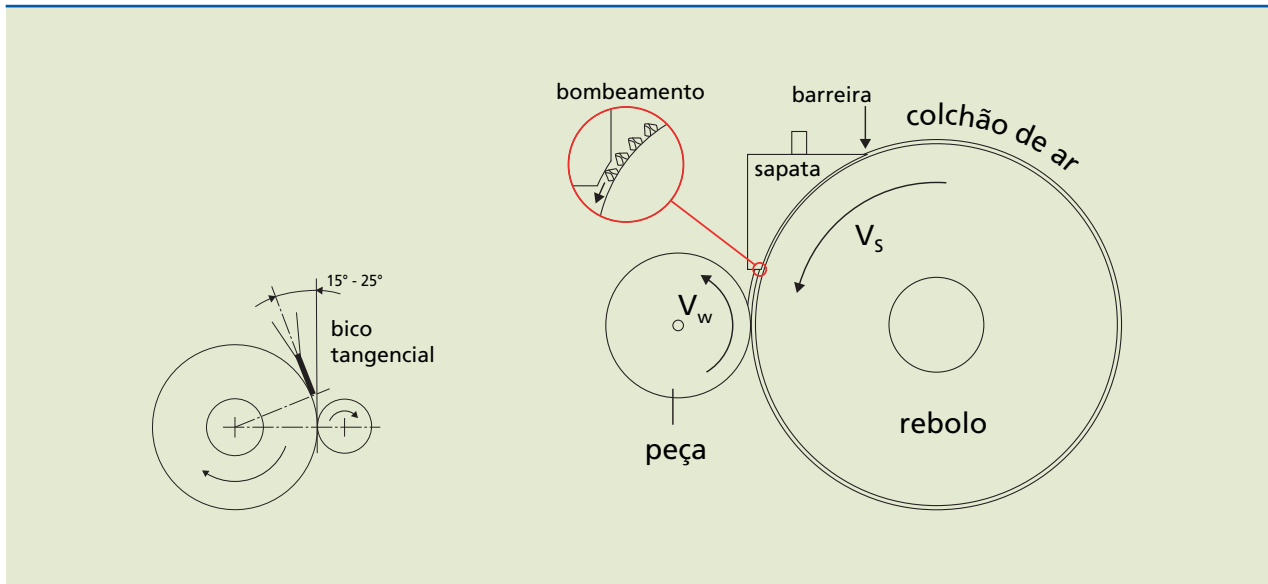


Figura 11.10

Aplicação de jato lubrificante na retificação cilíndrica externa.

11.8 Retificação *versus* torneamento duro em peças cilíndricas

A substituição do processo de retificação pelo de torneamento duro tem sido objeto de estudos. O torneamento é possível em materiais temperados, cementados ou nitretados com mais de 50 HRC, especialmente na área de acabamento de peças cilíndricas usinadas. As ferramentas utilizadas no torneamento duro deixaram de ser frágeis, e as vibrações que aparecem no corte interrompido no torneamento de aço endurecido, por exemplo, já não são as limitadoras da escolha por esse processo.

A análise financeira deve sempre ser levada em consideração. Uma retífica pode custar de três a dez vezes mais que o preço de um torno, o que torna o tamanho do lote e sua regularidade fatores importantes. Algumas operações de retificação são extremamente rápidas, por exemplo, a retificação cilíndrica sem centro (*centerless*), que, além de mais versátil, garante menos deformações. Quanto à precisão dimensional, tolerâncias na ordem de 20 microns podem ser obtidas por ambos os processos. Entretanto, quando o assunto é tolerância geométrica e variabilidade muito pequenas, ao redor de 5 microns, a retificação torna-se mais indicada.

É difícil equacionar uma máquina com baixo custo, que permita elevados avanços na fase de desbaste e alta precisão na fase de acabamento, por longo período de duração do equipamento. Isso faz as empresas adotarem tornos especificamente destinados a operações de torneamento duro.

Quanto à questão ambiental, o torneamento duro pode ser feito sem refrigerante, enquanto a retificação exige fluidos de corte, o que gera gastos. A complexidade dessa relação é muito grande, e cada caso precisa ser analisado individualmente.

Pelo fator tamanho do lote, a adoção do torneamento duro é maior nas empresas cuja produção é seriada. O torneamento de peças duras leva, ainda, vantagens, como:

- maior produtividade em função de tempos reduzidos de ciclo;
- maior flexibilidade de produção e maior capacidade operacional do torneamento, proporcionando superfícies diversas de boa qualidade com a mesma ferramenta, com o uso de tornos CNC;
- menores custos de usinagem com poucas máquinas, que também são menos caras.

O torneamento duro necessita de um bom torno, com alta capacidade e que tenha, entre outros requisitos:

- contrapontas de alta pressão, sistema de fixação bom o suficiente para promover a estabilidade e que tenha centro rígido e não móvel, para a fixação de peças entre pontas ou entre placa e ponta;
- a garantia de que o nível de qualidade das peças endurecidas seja consistente em tamanho, formato, dureza, batimento radial etc., pois a variação de pressão de corte pode mudar a tolerância dimensional;
- as mais recentes ferramentas disponíveis para a aplicação, mais caras do que as convencionais, necessitam de assistência qualificada e métodos corretos de usinagem;
- dados de corte bem definidos para melhor combinação de produtividade e segurança, com baixa vibração e menor deformação geométrica da peça usinada.

11.9 Cuidados recomendados na hora de retificar

A operação de retífica requer vários cuidados, como:

- escolha da máquina e características técnicas, cuidados na instalação e manutenção, rigidez, sistema de guias e mancais;
- escolha do tipo de rebolo, dos parâmetros de corte e da especificação;
- determinação correta do momento de dressagem do rebolo. Nunca deixar esse momento ser ultrapassado sem que a dressagem seja realizada;
- escolha do tipo de fluido refrigerante e forma de aplicação;
- forma da peça, tipo de material e sobremetal existente.

Esses itens estão relacionados entre si e são importantes em cada análise. Um bom planejamento das operações pode proporcionar garantia de qualidade, menor tempo de preparação, menores custos e flexibilidade na produção de vários modelos de peças.

O operador deve utilizar EPIs, principalmente óculos de proteção, estar treinado sobre os movimentos da máquina, entre outros motivos, para prever riscos de acidente.



