

CFAC – Conceção e Fabrico Assistidos por Computador



Universidade
do Porto

Faculdade de
Engenharia
FEUP

Indicação dos Estados de Superfície

João Manuel R. S. Tavares

Bibliografia

- Simões Morais, José Almacinha, “Texto de Apoio à Disciplina de Desenho de Construção Mecânica (MiEM)”, AEFEUP
- Simões Morais, “Desenho técnico básico 3”, ISBN: 972-96525-2-X, Porto Editora, 2006

Índice

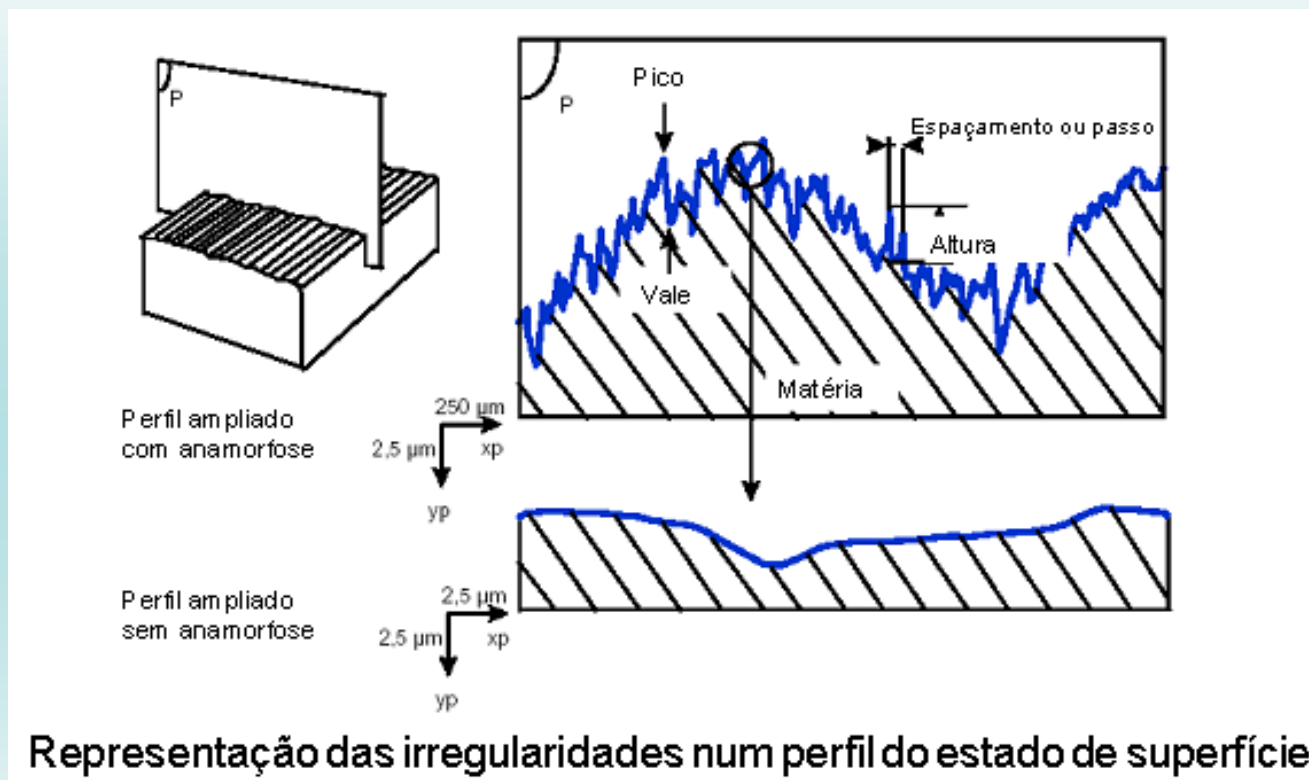
- Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos;
- Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície;
- Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade);
- Relações práticas entre diferentes parâmetros de rugosidade;
- Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade;
- Relações práticas entre parâmetros de rugosidade e as tolerâncias dimensionais;
- Processos de avaliação do estado de superfície.

Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

- As **superfícies dos diferentes componentes** de um mecanismo **devem ter características adequadas ao tipo de funções** por eles desenvolvidas.
- Os diferentes **processos de fabricação** de componentes mecânicos determinam **acabamentos diversos nas suas superfícies**.
- As **superfícies apresentam irregularidades**, que podem ser classificadas em: **desvios macrogeométricos** (desvios de retitude, de planeza, ondulação, etc.) e **desvios microgeométricos** (rugosidade).
- **O estado de superfície é o resultado de desvios repetitivos ou aleatórios, em relação à superfície geométrica, que formam a topografia tridimensional de uma superfície.** Compreende a rugosidade, a ondulação, a orientação das irregularidades, as imperfeições e os desvios de forma numa zona limitada da superfície.

Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

- O método de medição dos estados de superfície mais utilizado é a exploração do perfil de superfície, ampliado e com **anamorfose** (a ampliação vertical é maior do que a ampliação horizontal), **num plano normal à superfície considerada**.

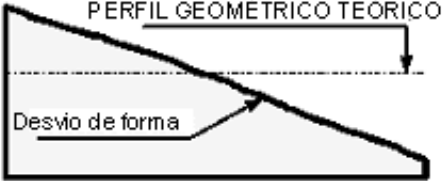

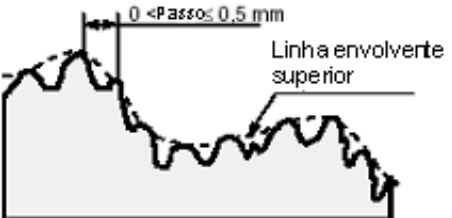

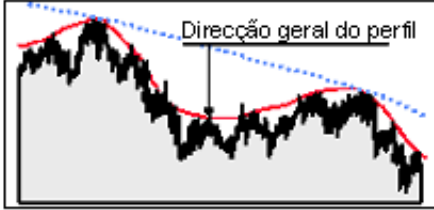


Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

- O **perfil de superfície** apresenta uma sucessão de **picos** separados por **vales** (irregularidades geométricas do perfil). Estas irregularidades são **quantificadas pela sua altura e pelo seu espaçamento**. Quando esse espaçamento é regular designa-se por **passo**.
- As diferentes ordens de grandeza das irregularidades geométricas do perfil são definidas a partir do seu passo.
- Existe uma **gama alargada de meios de avaliação dos estados de superfície** (através da análise de uma área ou de um perfil).

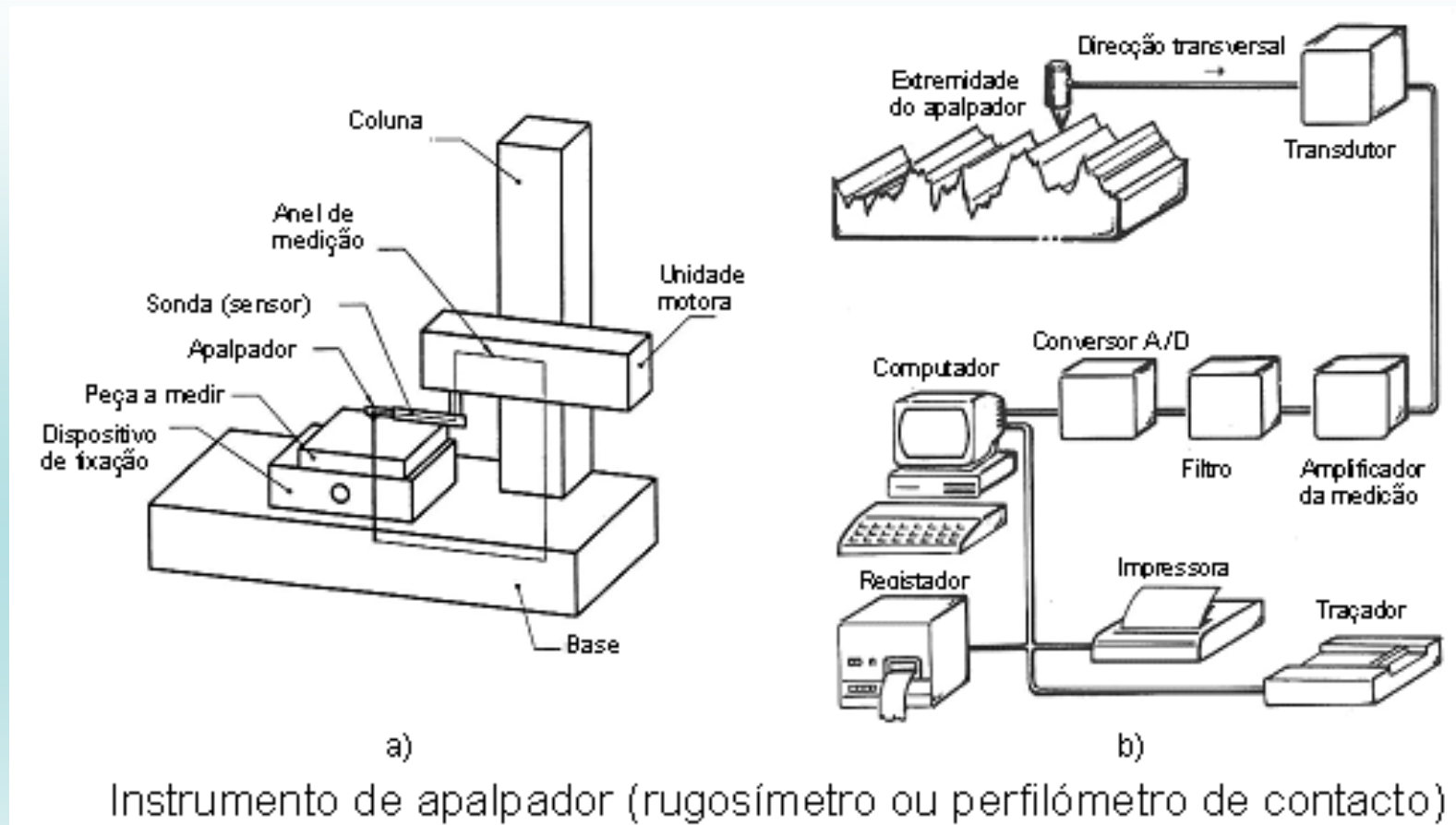
Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

- Tipologia dos desvios (irregularidades):**

N.º de ordem	TIPO DE IRREGULARIDADES	ESBOÇO
1	DESVIOS DE FORMA: Desvios de rectitude de planeza de circularidade de cilindridade etc.	 <p>PERFIL GEOMÉTRICO TEÓRICO</p> <p>Desvio de forma</p>
2	ONDULAÇÃO Irregularidades geométricas tais que a distância entre dois dos seus topos esteja compreendida entre dois limites (ex.: 0,5 a 2,5 mm).	 <p>$0,5 < \text{Passo} \leq 2,5 \text{ mm}$</p> <p>Desvio de forma</p>
3	RUGOSIDADE Irregularidades geométricas tais que a distância entre dois dos seus picos esteja compreendida entre 0 e, por exemplo, 0,5 mm.	 <p>$0 < \text{Passos } 0,5 \text{ mm}$</p> <p>Linha envolvente superior</p>
4	ARRANCAMENTO Marca de ferramenta, fenda, picagem.	
	PERFIL TOTAL (Soma dos desvios)	 <p>Direcção geral do perfil</p>

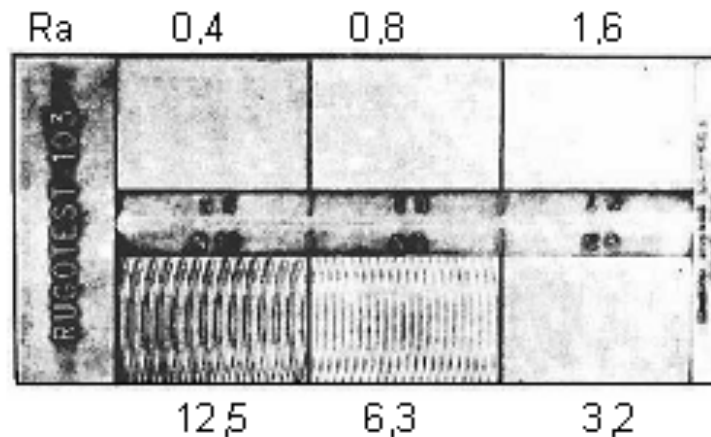
Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

- Meios de avaliação dos estados de superfície:**



Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

- **Meios de avaliação dos estados de superfície:**



Exemplo de padrão de rugosidade (p/ fresagem frontal) - placa de "RUGOTEST" 103

Com os **rugosímetros**, a **separação das diferentes irregularidades geométricas de perfil (perfil primário, perfil de ondulação e perfil de rugosidade)** faz-se por intermédio de uma **filtragem eletrónica**, embora uma adequada escolha da extremidade (raio) do apalpador seja também muito importante para a aquisição de dados relativos ao perfil (filtragem mecânica).

Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

- A importância dos estados de superfície:
 - **A rugosidade pode ter influência em funcionalidades tais como:**
 - a **qualidade do deslizamento** (atrito seco e viscoso);
 - a **resistência à corrosão e ao desgaste**;
 - a materialização dos **ajustamentos** apertados;
 - a **resistência** oferecida ao **escoamento** de fluidos e lubrificantes;
 - a qualidade da **aderência** de **revestimentos**;
 - a **resistência à flexão e à fadiga**;
 - a **condução térmica e elétrica**;
 - a **vedação** estática e dinâmica;
 - a **aparência** (estética).

Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

- **Existe**, geralmente, uma **relação estreita entre o estado de superfície e a qualidade das tolerâncias dimensionais**.
- **A prescrição de um estado de superfície implica igualmente que os desvios de forma sejam mantidos dentro de limites admissíveis.**
- **As causas da grandeza, orientação e grau de irregularidade das rugosidades podem ser, entre outras:**
 - **imperfeições em mecanismos** das máquinas-ferramenta;
 - **vibrações** (altas frequências) no sistema peça-ferramenta (da peça, da ferramenta);
 - **desgaste** das ferramentas;
 - **heterogeneidade e plasticidade** do material trabalhado;
 - o próprio **método de obtenção da peça**.

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- A norma **ISO 1302** aplica-se na **indicação de requisitos para superfícies através de:**
 - **parâmetros de perfil**, ligados à linha média (ISO 4287), relacionados com o:
 - perfil R (parâmetros de rugosidade),
 - perfil W (parâmetros de ondulação),
 - perfil P (parâmetros estruturais, calculados a partir do perfil primário);
 - **parâmetros, ligados aos motivos do perfil** (ISO 12085):
 - motivos de rugosidade,
 - motivos de ondulação,
 - **parâmetros ligados à curva da taxa do comprimento de sustentação** (ISO 13565-2, ISO 13565-3).

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Símbolos gráficos para a indicação dos estados de superfície:**



a)



b)



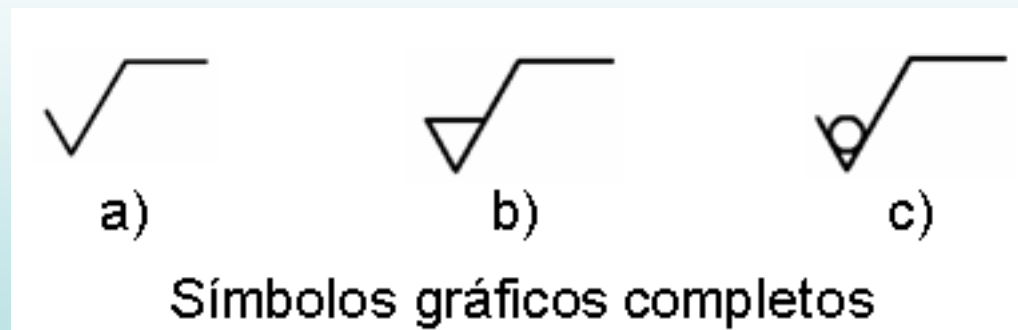
c)

Símbolos gráficos de base e prolongados (linhas \approx a 60°)

- **Estes símbolos não deverão ser utilizados isolados, sem informações complementares.** Podem servir para proporcionar indicações coletivas.
 - a) **Símbolo de base;**
 - b) **Símbolo prolongado;**
 - c) **Símbolo prolongado** (Quando utilizado num desenho relativo a um processo de fabricação deve ser interpretado como: “a superfície especificada deve ser deixada no estado resultante de um processo de fabricação anterior, tenha sido essa condição obtida por arranque de material, ou por outros meios”).

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

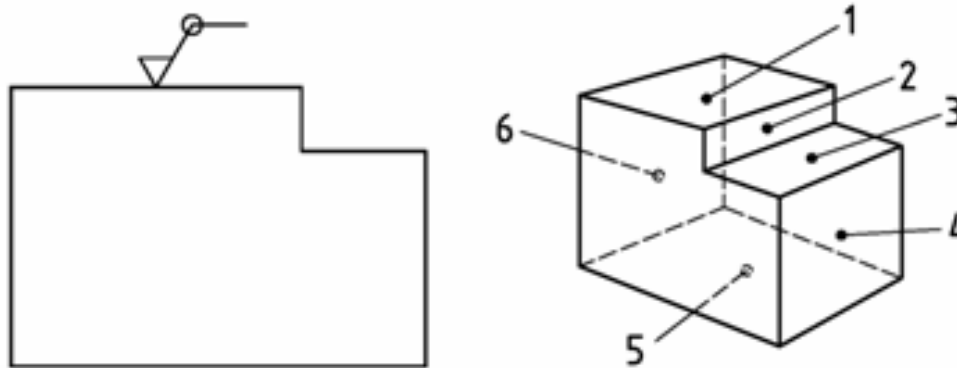
- Se for necessário **indicar requisitos complementares** para características do estado de superfície, devem ser utilizados os seguintes símbolos:



- a) Símbolo completo** permitindo qualquer processo de fabricação;
- b) Símbolo completo** indicando que deve ser removido material;
- c) Símbolo completo** indicando que não deve ser removido material.

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- Símbolo gráfico para **“todas as superfícies em volta de um contorno da peça”**:

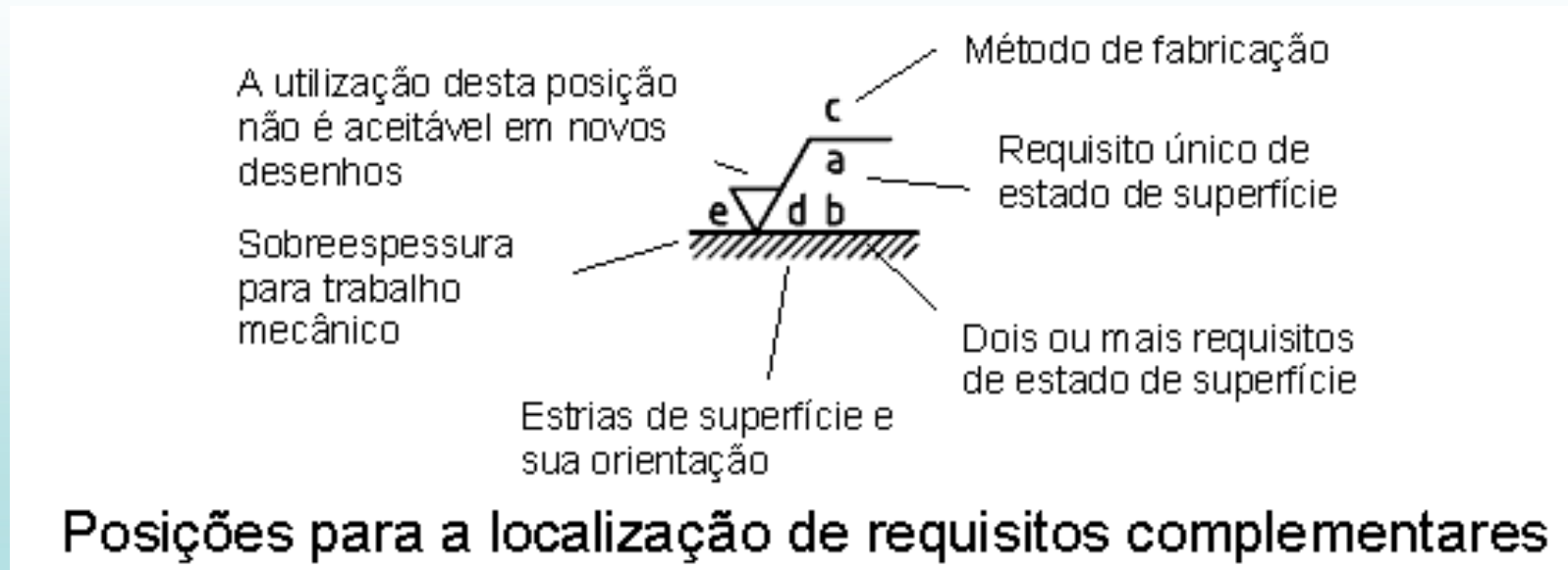


Nota: O contorno no desenho representa as seis superfícies mostradas na representação 3D da peça (as superfícies frontal e traseira não estão incluídas).

Requisito do estado de superfície para todas as seis superfícies representadas pelo contorno da peça

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Composição do símbolo gráfico completo para os estados de superfície:**




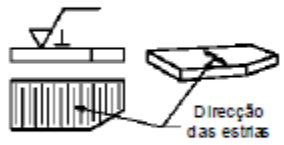
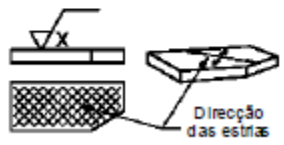

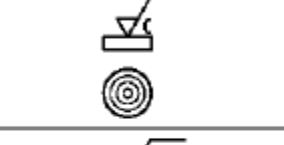
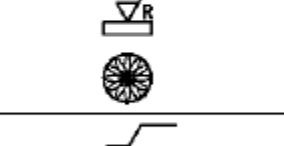
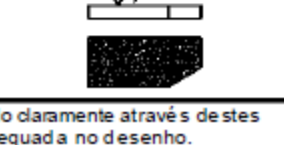
- a) Requisito único de estado de superfície** – Designação do parâmetro de **estado de superfície e seu valor numérico** (em μm), antecedida da banda de transmissão/comprimento de base l_r (em mm). Inserir um espaço em branco duplo entre a designação do parâmetro e o valor limite.

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Composição do símbolo gráfico completo para os estados de superfície (cont.):**
 - b) Dois ou mais requisitos de estado de superfície** – O segundo requisito deve ser indicado na posição b). Com mais requisitos, o símbolo gráfico é aumentado, em conformidade, na vertical.
 - c) Método de fabricação** – indica o método de fabricação, o tratamento, os revestimentos ou outros requisitos de fabricação para produzir a superfície (ex.: torneada, rectificada, galvanizada).
 - d) Estrias de superfície e sua orientação.**
 - e) Sobreespessura para trabalho mecânico** – se necessária, indicá-la por um valor numérico em milímetros (mm).

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- Indicação das estrias de superfície:**

Símbolo Gráfico	Interpretação e exemplo	
=	Paralelas ao plano de projecção da vista na qual o símbolo é utilizado	
⊥	Perpendiculares ao plano de projecção da vista na qual o símbolo é utilizado	
X	Cruzadas em duas direcções oblíquas relativamente ao plano de projecção da vista na qual o símbolo é utilizado	
M	Multidireccionais	
C	Aproximadamente circulares relativamente ao centro da superfície à qual o símbolo se aplica	
R	Aproximadamente radiais relativamente ao centro da superfície à qual o símbolo se aplica	
P	Estrias particulares, não-direccionais, ou protuberantes	
Se for necessário especificar um padrão de superfície que não é definido claramente através de estes símbolos, isso deve ser conseguido pela adição de uma nota adequada no desenho.		

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Indicação dos parâmetros de estados de superfície:**
 - A designação do parâmetro e o valor numérico associado, que devem ser indicados, incluem quatro itens de informação essencial para a interpretação do requisito:
 - Qual dos três perfis da superfície (**R, W ou P**) é indicado,
 - Qual a **característica (parâmetro)** do perfil que é indicada,
 - Quantos **comprimentos de base, *lr***, compõem o comprimento de avaliação, ***ln***,
 - Como deve **ser interpretado** o limite da especificação indicada.

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

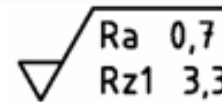
- Indicação do comprimento de avaliação, ***ln***:
 - ***ln*** é o comprimento, na direção da linha média, utilizado para o estabelecimento do perfil a avaliar.
 - Exemplo com **Parâmetros de perfil R** (ISO 4287):
 - Por omissão $ln = 5 \times lr$ (exemplos de designações de parâmetros: Rz , Ra , Rp , etc.).
 - Se $ln \neq 5lr$, por exemplo, $ln = 3 \times lr$, tal deve ser indicado na designação do parâmetro (ex.: $Rz3$, $Ra3$, $Rp3$, etc.).
- Indicação de **limites de tolerância**:
 - Existem dois modos diferentes de indicar e interpretar a especificação de limites de estados de superfície:
 - a regra dos 16% (regra por omissão);
 - a regra do valor máximo.

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- Indicação de **limites de tolerância** (cont.):

MRR Ra 0,7; Rz1 3,3

a) em texto

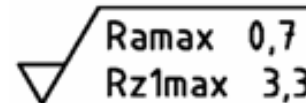


b) no desenho

Indicação do parâmetro, onde se aplica a regra dos 16%
(c/ banda de transmissão, por omissão)

MRR R_{max} 0,7; Rz1_{max} 3,3

a) em texto



b) no desenho

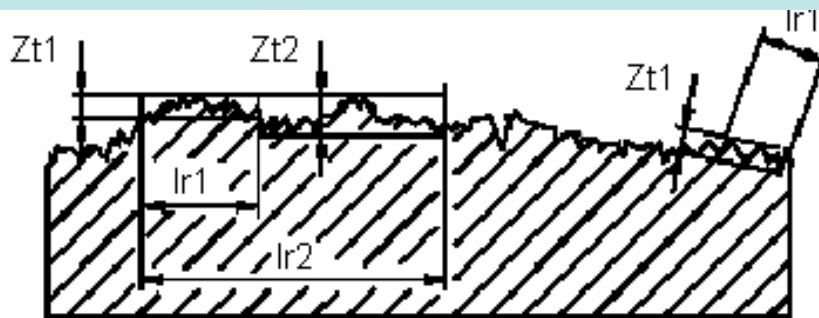
Indicação do parâmetro, onde se aplica a regra do valor máximo
(c/ banda de transmissão, por omissão)

Na **regra dos 16%**, a superfície é considerada aceitável se, no máximo, 16% de todos os valores medidos do parâmetro considerado, baseados num comprimento de avaliação, ultrapassarem o valor especificado.

Na **regra do valor máximo**, nenhum dos valores medidos do parâmetro de rugosidade, em toda a superfície sob inspeção, deve exceder o valor especificado.

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- Indicação da **banda de transmissão** e do **comprimento de base**:
 - O estado de superfície é definido numa **banda de transmissão** – a gama de comprimentos de onda entre dois filtros definidos. Esta banda é limitada por um filtro que corta os pequenos comprimentos de onda (**filtro de onda-curta**) e por outro que corta os comprimentos de onda longos (**filtro de onda-longa**). O **valor de corte** (“cut-off”) do filtro de onda-longa é também designado por **comprimento de base**, l_r .



Valores de l_r normalizados:

... mm; 0,08 mm; 0,25 mm;
0,8 mm; 2,5 mm; 8,0 mm;
... mm

A altura Z_{t2} do elemento de perfil é maior, pois l_{r2} incorpora a ondulação.

A altura Z_{t1} do elemento de perfil é menor, pois, como l_{r1} é menor, ele filtra a ondulação.

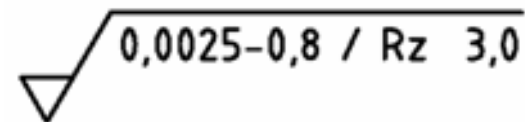
Rugosidade e ondulação

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- Indicação da **banda de transmissão** e do **comprimento de base**:
 - Se não for indicada qualquer banda de transmissão, aplica-se a banda de **transmissão por omissão**. Mas como certos parâmetros de estado de superfície não têm uma banda de transmissão definida, por omissão, **deve especificar-se a banda de transmissão, o filtro de onda-curta ou o filtro de onda-longa (comprimento de base)**, para evitar qualquer ambiguidade.

MRR 0,0025-0,8 / Rz 3,0

a) em texto



b) no desenho

Indicação da banda de transmissão, em ligação com o requisito de estado de superfície

- Se for relevante indicar apenas um dos dois filtros da banda de transmissão, tal como, por exemplo, **0,008-** (indicação apenas do filtro de onda-curta) ou **-0,25** (indicação apenas do filtro de onda-longa). O segundo filtro tem, então, se existir, o seu valor por omissão.

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Tipos de tolerância – Unilateral e bilateral:**

- **Por omissão**, a designação do parâmetro, o valor deste e a banda de transmissão indicados são um **limite de tolerância superior unilateral** do parâmetro em questão. Se o parâmetro for para ser interpretado como sendo um **limite de tolerância inferior unilateral**, a designação do parâmetro deve ser **precedida pela letra L** (ex.: $L R_a 0,32$).

Limite superior / Limite inferior
MRR U Rz 0,9; L Ra 0,3

a) em texto

U Rz 0,9
L Ra 0,3

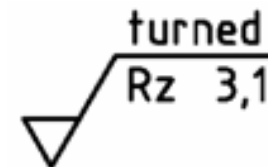
b) no desenho

Especificação bilateral da superfície

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Indicação do método de fabricação** ou informação relativa:
 - O valor do parâmetro do estado de superfície de uma superfície real é fortemente influenciado pela forma detalhada da curva do perfil.

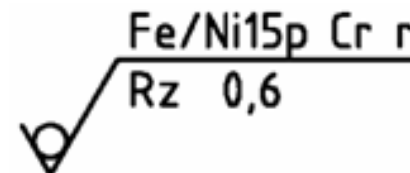
(torneada)
MRR turned Rz 3,1
a) em texto



b) no desenho

Indicação do processo de trabalho mecânico (ex.: torneamento)
e requisito para rugosidade da superfície resultante

NMR Fe/Ni15p Cr r; Rz 0,6
a) em texto



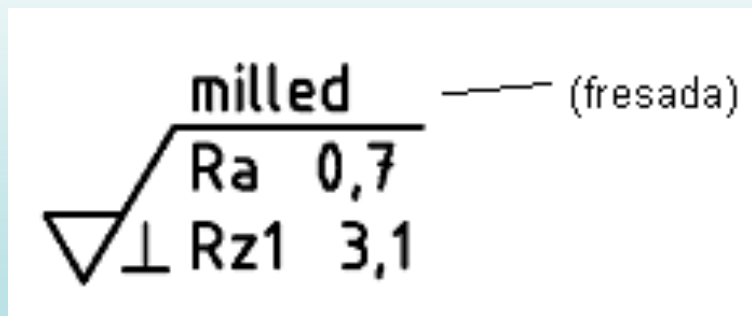
b) no desenho

Indicação do requisito de rugosidade e revestimento

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Indicação das estrias de superfície:**

- A orientação das estrias é a **orientação do padrão de superfície prevalente**, geralmente determinado pelo **processo de fabricação** utilizado.

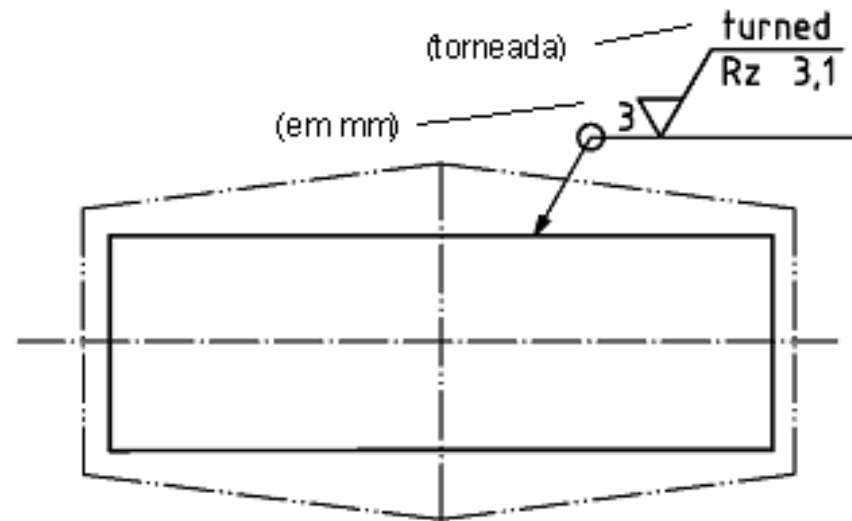


- **Indicação da sobreespessura** para trabalho mecânico:

- Geralmente, apenas para os casos em que dois ou mais estádios do processo são mostrados no mesmo desenho (ex.: em desenhos de peças fundidas em bruto ou estampadas, com a **peça final mostrada na peça em bruto**).

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Indicação da sobreespessura** para trabalho mecânico:



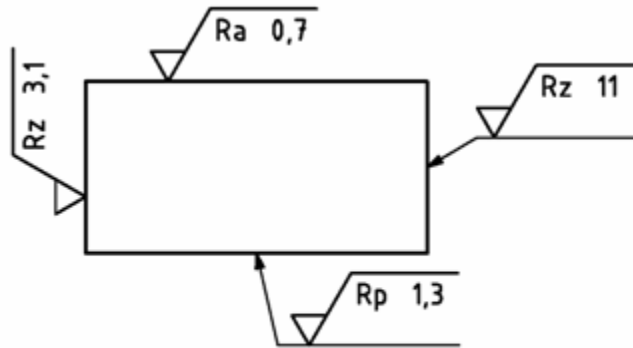
Indicação de requisitos de estado de superfície para a peça “final” (incluindo um requisito de 3 mm de sobreespessura para todas as superfícies)

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

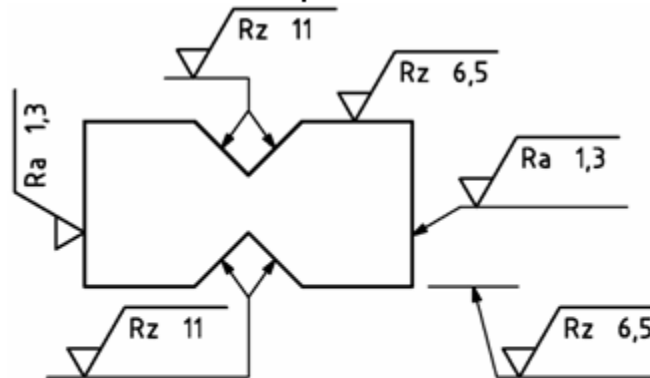
- **Posição em desenhos** e noutra documentação técnica de produtos:
 - Como **regra geral**, o símbolo gráfico, ou a **linha de indicação terminando numa seta, deve apontar para a superfície, a partir do lado exterior do material da peça, para o contorno ou para a sua extensão.**
 - **Superfícies cilíndricas ou prismáticas** podem ser especificadas apenas uma vez, se indicadas por uma linha de centro e se cada face da superfície prismática tem o mesmo requisito de estado de superfície.
 - Se o **mesmo estado de superfície é requerido na maioria das superfícies de uma peça**, este requisito deverá ser colocado **junto da legenda do desenho**. O símbolo gráfico geral deve ser seguido de um símbolo de base entre parêntesis sem qualquer outra indicação ou dos requisitos especiais diferentes entre parêntesis.

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Posição em desenhos** e noutra documentação técnica de produtos:



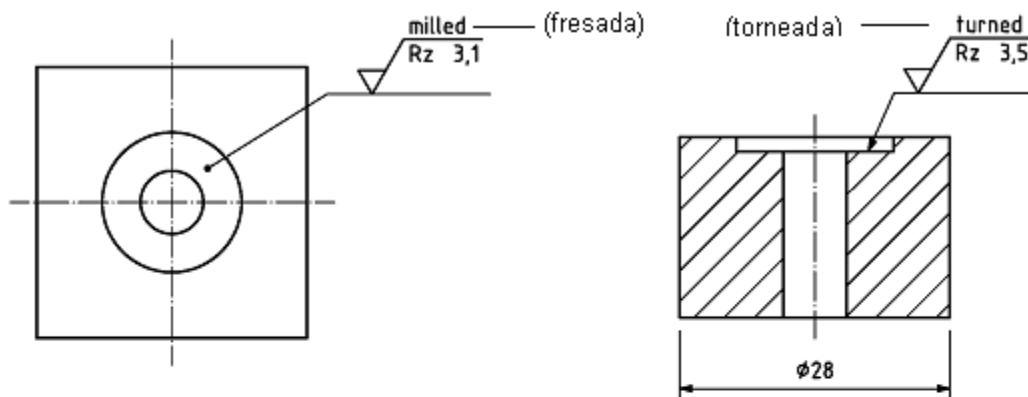
Direcção de leitura dos requisitos de estado de superfície



Requisitos de estado de superfície na linha de contorno representando a superfície

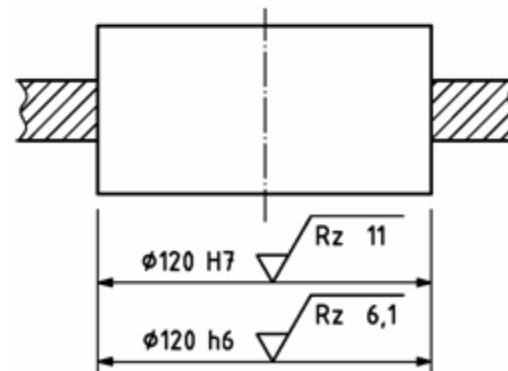
Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Posição em desenhos** e noutra documentação técnica de produtos (cont.):



Utilização alternativa de linhas de referência e linhas de indicação

Requisito de estado de superfície –
cota de elemento de tamanho

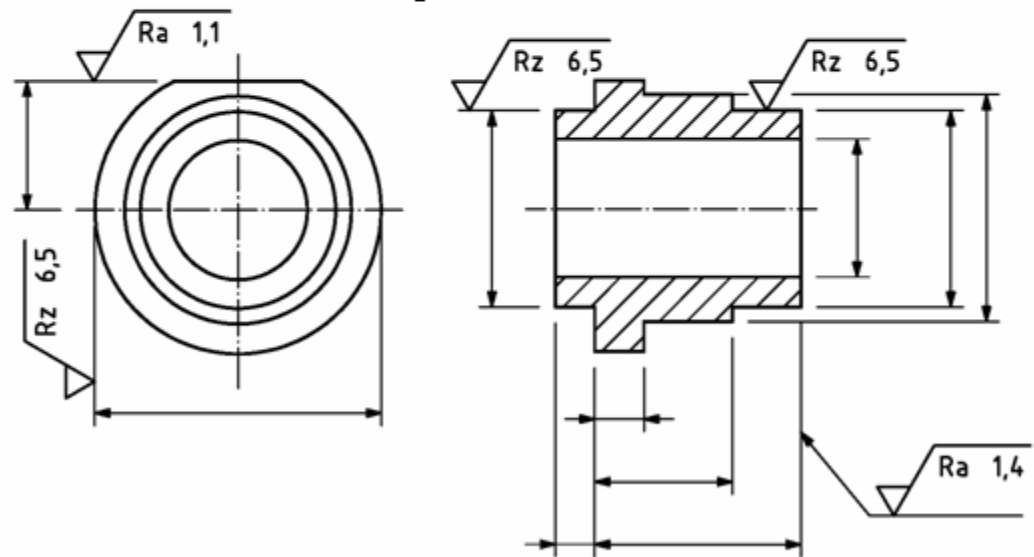


Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Posição em desenhos e noutra documentação técnica de produtos (cont.):**



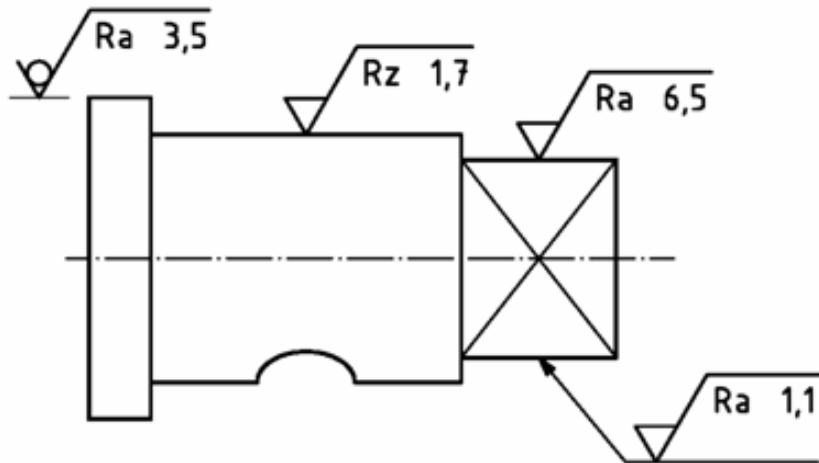
Requisito de estado de superfície – Indicação de tolerâncias geométricas



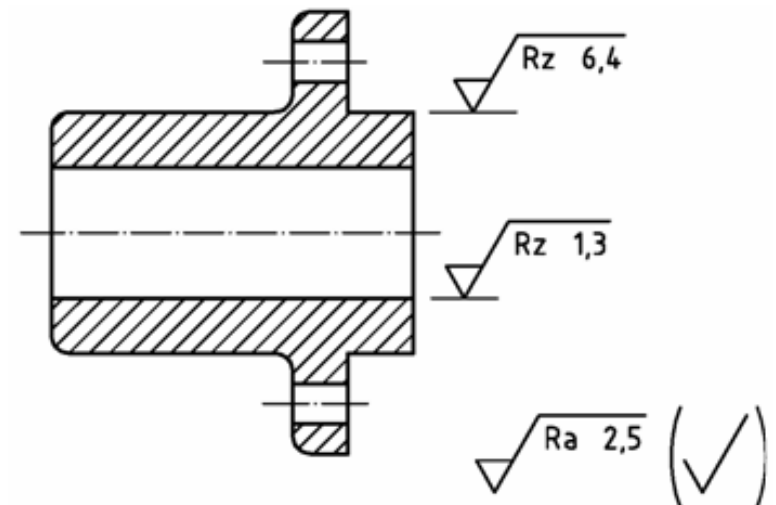
Requisitos de estado de superfície – Linhas de extensão de elementos cilíndricos

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Posição em desenhos** e noutra documentação técnica de produtos (cont.):



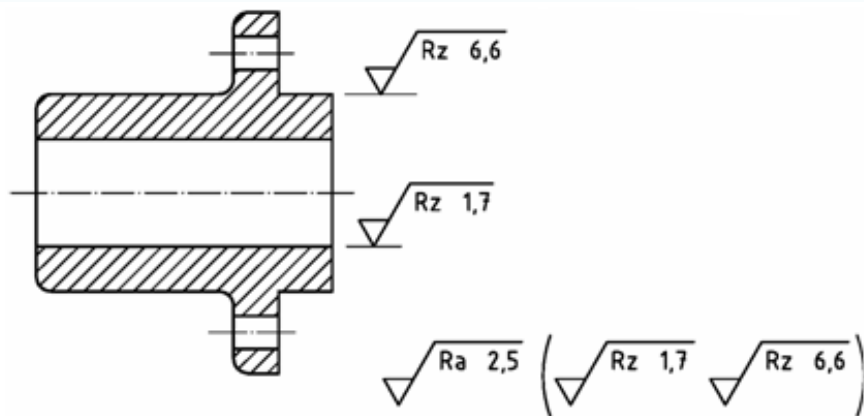
Requisitos de estado de superfície –
Superfícies cilíndricas e prismáticas



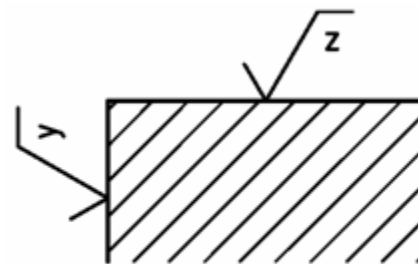
Indicação simplificada – Maioria de superfícies
com o mesmo estado de superfície requerido

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Posição em desenhos** e noutra documentação técnica de produtos (cont.):



Indicação simplificada – Maioria de superfícies com o mesmo estado de superfície requerido



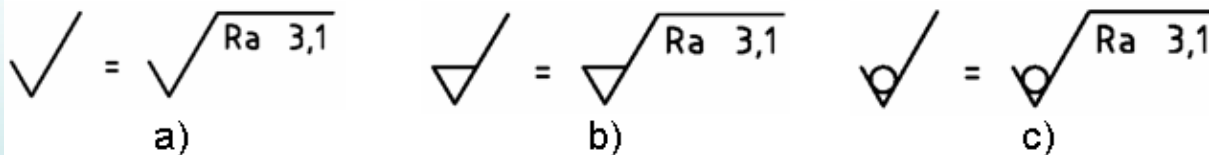
$$\sqrt{z} = \sqrt{\begin{matrix} U \\ =L \end{matrix} \begin{matrix} Rz\ 1,7 \\ Ra\ 0,9 \end{matrix}}$$

$$\sqrt{y} = \sqrt{Ra\ 3,1}$$

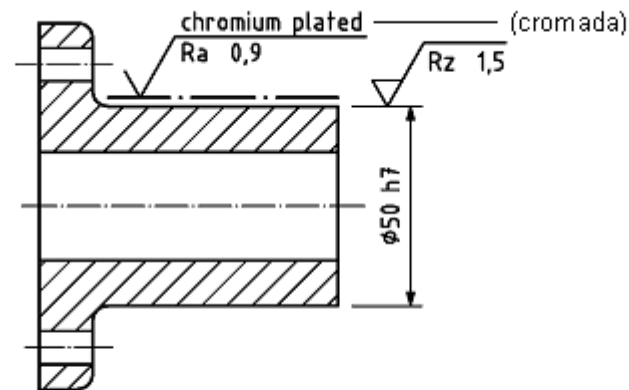
Indicação de referência no caso de espaço limitado no desenho

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- Os símbolos gráficos de base e prolongados podem ser utilizados na superfície apropriada, sendo o seu significado dado no desenho:



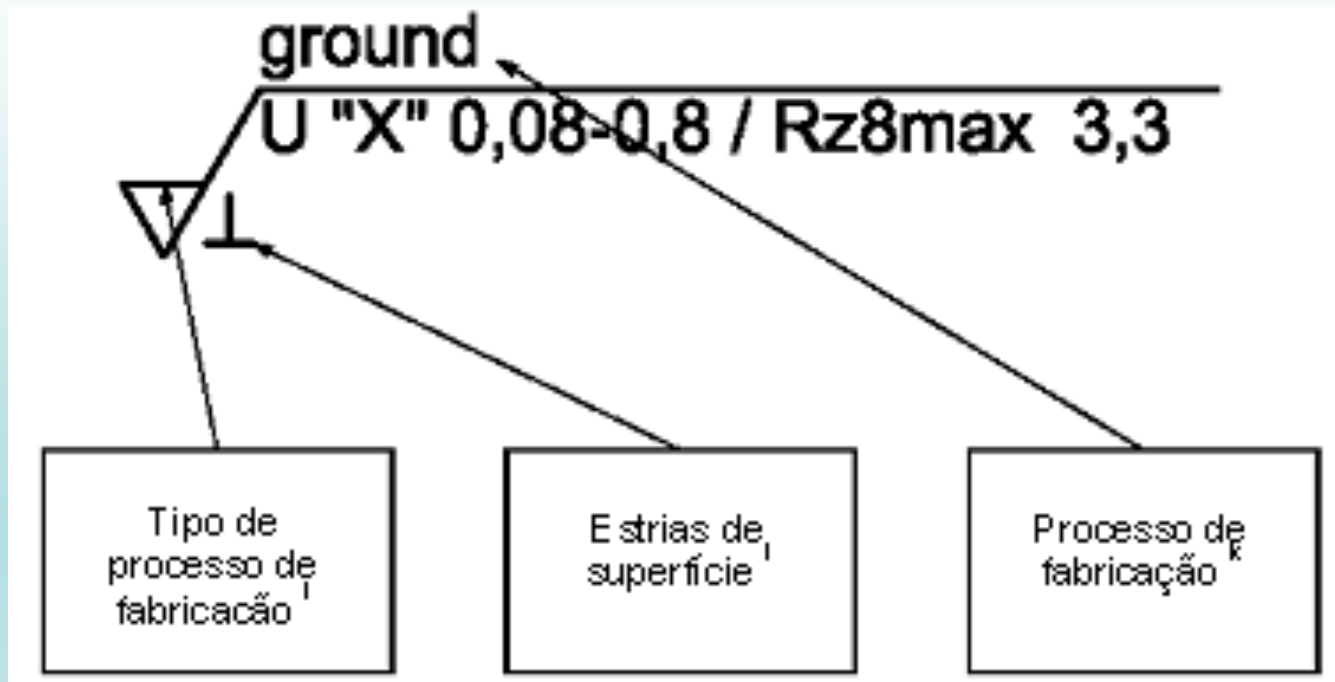
Indicação simplificada de requisitos de estados de superfície: a) processo de fabricação não especificado; b) remoção de material requerida; c) remoção de material não permitida



Indicação de requisito de estado de superfície antes e depois de tratamento (neste caso, revestimento) com utilização de uma **linha a traço longo-ponto grosso**

Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- Indicações mínimas para um controlo não ambíguo de funções da superfície (cont.):



Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Indicações mínimas para um controlo não ambíguo de funções da superfície (cont.):**

- a) Indicação do limite de especificação superior (U) e inferior (L).
- b) Filtro tipo "X". O filtro normalizado é o filtro Gaussiano (ISO 11562). O filtro normalizado anterior era o filtro 2RC. No futuro, outros filtros podem ser normalizados. No período de transição, pode ser conveniente para algumas empresas indicar o tipo de filtro nos desenhos. O tipo de filtro pode ser indicado como "Gaussiano" ou "2RC". Isso não é normalizado, mas uma indicação do nome do filtro como a aqui proposta é não ambígua.
- c) A banda de transmissão é indicada como filtro de onda-curta e/ou de onda-longa.
- d) Perfil (*R*, *W* ou *P*).
- e) Característica/parâmetro.
- f) Comprimento de avaliação como o número de comprimentos de base. Quando se utilizam parâmetros de motivos, o comprimento de avaliação é indicado entre duas barras oblíquas, antes dos símbolos dos parâmetros de estado de superfície.
- g) Interpretação do limite de especificação ("regra dos 16%" ou "regra do máx.").
- h) Valor limite em micrometros (μm).
- i) Tipo do processo de fabricação.
- j) Estrias da superfície.
- k) Processo de fabricação.

Elementos de controlo na indicação de requisitos de estado de superfície em desenhos de engenharia

Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- Existem, fundamentalmente, **três tipos de parâmetros caracterizadores da rugosidade (R)**:
 - **os parâmetros do perfil de rugosidade (ISO 4287)**, ligados à linha média e definidos a partir de um perfil obtido através de um processo de filtragem do perfil primário (**sistema da linha média**);
 - **os parâmetros ligados aos motivos do perfil (ISO 12085)**, sendo estes identificados através da aplicação de um algoritmo do tipo "reconhecimento de forma", no perfil primário (**sistema da linha envolvente**);
 - **os parâmetros ligados à curva da taxa do comprimento de sustentação do perfil (ISO 13565)**.
- Entre os **parâmetros mais utilizados no controlo do estado de superfície das peças** podem destacar-se:

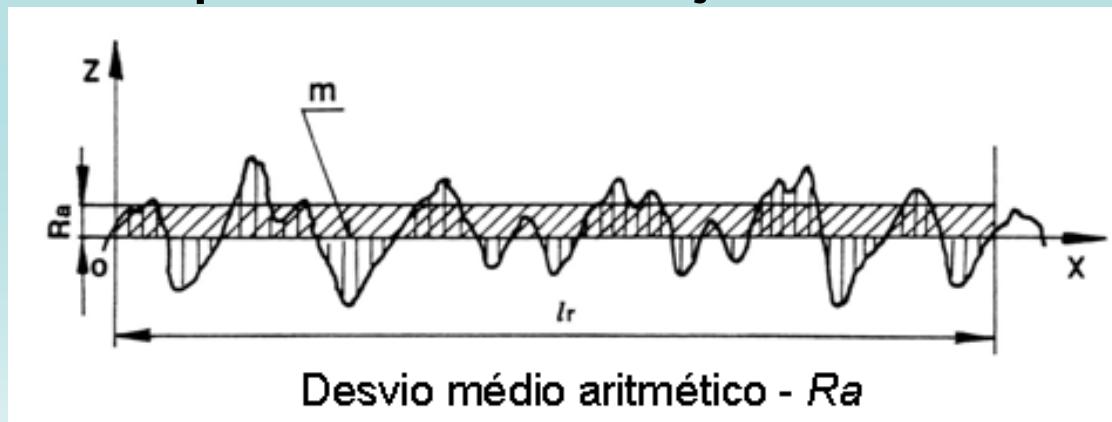
Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

a) O desvio médio aritmético do perfil de rugosidade - Ra

Ra , também designado por **rugosidade média aritmética**, é a **média aritmética dos valores absolutos das ordenadas $Z(x)$ no interior de um comprimento de base l_r** , (ISO 4287).

$$Ra = 1 / l_r \int |Z(x)| dx$$

Na prática e por omissão, **os valores de Ra são determinados no interior de um comprimento de avaliação $l_n = 5 l_r$** .



Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- Por definição, **R_a não permite diferenciar os perfis inversos**, relativamente à linha média (eixo dos XX), e, portanto, **não fornece nenhuma informação sobre a robustez ou fragilidade de um perfil**, nem sobre a aptidão das peças para exercerem convenientemente a função para que foram projetadas.
- Este critério é relativamente **pouco sensível aos valores acidentais de amplitude máxima**, que não têm nenhuma ação funcional, e também a um pico ou vale atípico, ocultando o defeito, mas **permite diferenciar diversos perfis de rugosidade característicos**.

Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

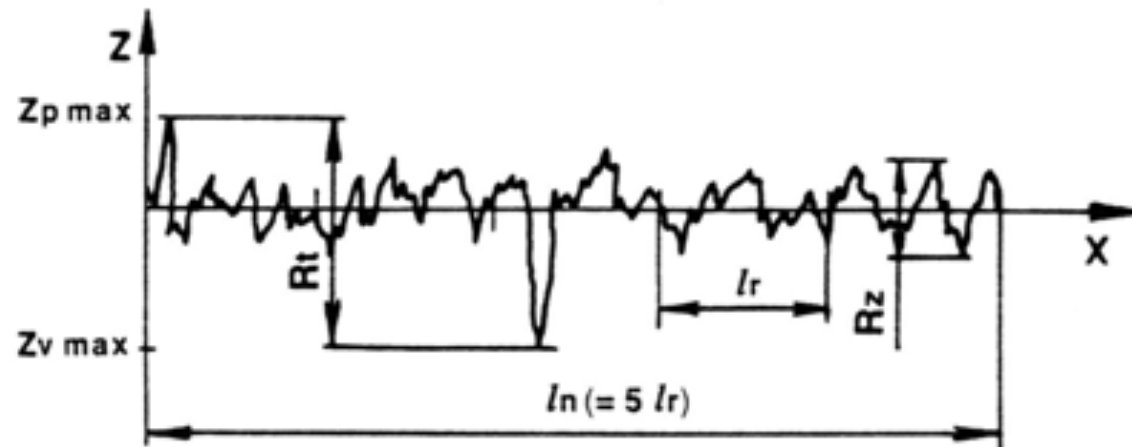
- O parâmetro **R_a** é o mais utilizado em todo o mundo, fundamentalmente, nos seguintes casos:
 - no **controlo de um processo produtivo onde podem ocorrer mudanças graduais no acabamento superficial**, resultantes do desgaste da ferramenta de corte;
 - em **superfícies em que o acabamento apresenta sulcos das operações de maquinar bem orientados** (torneamento, fresagem, etc.);
 - em **superfícies de pouca responsabilidade**, como no caso de acabamentos com fins estéticos.

Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

b) A altura total do perfil de rugosidade - R_t

R_t é a soma da maior das alturas de pico do perfil, Z_p , com a maior das profundidades de vale do perfil, Z_v , no interior do comprimento de avaliação, (ISO 4287).

$$R_t = Z_{p \max} + Z_{v \max}$$



Altura total do perfil de rugosidade - R_t

Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

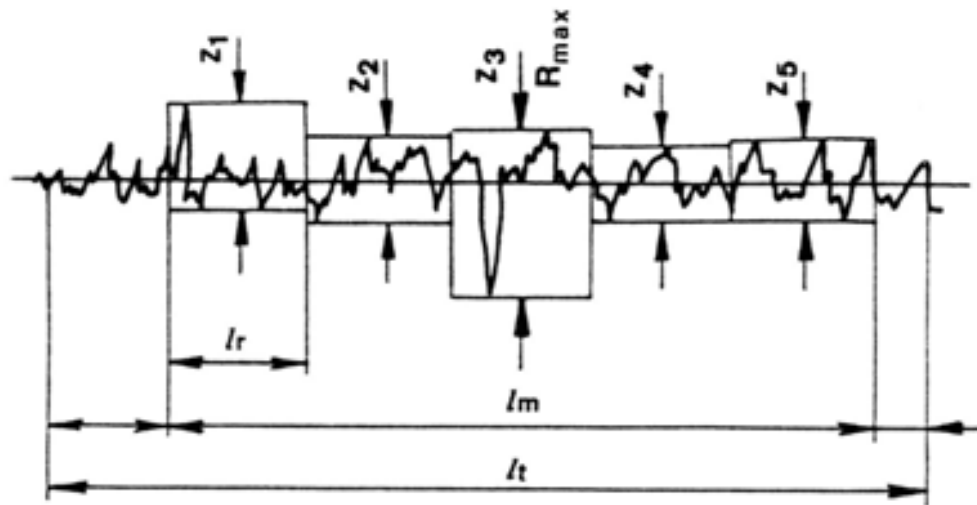
- O parâmetro **R_t** , muito aplicado na maioria dos países e de fácil obtenção no equipamento de medição atual, pode ser utilizado nos seguintes casos:
 - em **superfícies de vedação**;
 - em **superfícies de alojamento de juntas de vedação**;
 - em **superfícies sujeitas a ações dinâmicas**;
 - em **tampões**, em geral;
 - em **parafusos fortemente solicitados**;
 - em **superfícies de deslizamento**, em que o perfil efetivo é periódico.
- A norma ISO 4287 define também o **parâmetro R_z (altura máxima do perfil)** como sendo a soma de Z_p com Z_v , **no interior de um comprimento de base**. Logo, a relação **$R_t \geq R_z$** terá que ser sempre respeitada para qualquer perfil.

Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

c) A média das alturas máximas do perfil de rugosidade - R_z

R_z (DIN 4768) **é a média aritmética das alturas máximas do perfil Z_i (iguais a R_z , ISO 4287), medidas em cinco comprimentos de base consecutivos.** A maior das alturas máximas de perfil Z_i , verificada no interior do comprimento de avaliação l_m , designa-se por R_{max} .

$$R_z = 1 / 5 (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5)$$



Média aritmética das alturas máximas do perfil de rugosidade - R_z (DIN)

Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- **$Rz(DIN)$ é geralmente mais sensível às mudanças no acabamento superficial do que Ra , sendo um critério útil no controle de um processo produtivo.** Na prática, o parâmetro Rz (ISO 4287) acaba por ser equivalente a $Rz(DIN)$ e em alguma documentação técnica **sugere-se a aplicação da seguinte relação aproximada: $Rz(ISO) \approx 6 Ra$.**
- O parâmetro $Rz(ISO) \Leftrightarrow Rz(DIN)$, de fácil obtenção em equipamentos de medição atuais, **pode ser utilizado nos seguintes casos:**
 - em **superfícies onde defeitos isolados não têm influência na função da peça a ser controlada** (ex: em superfícies de apoio e de deslizamento, em ajustamentos apertados, etc.);
 - em **superfícies onde o perfil é periódico e conhecido.**

Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- Este parâmetro fornece indicação sobre a deterioração vertical média das superfícies e define muito bem as superfícies, em perfis periódicos, mas não dá informações suficientes sobre as formas dos perfis e seus comprimentos de onda.

f) A taxa do comprimento de sustentação - $Rmr(c)$

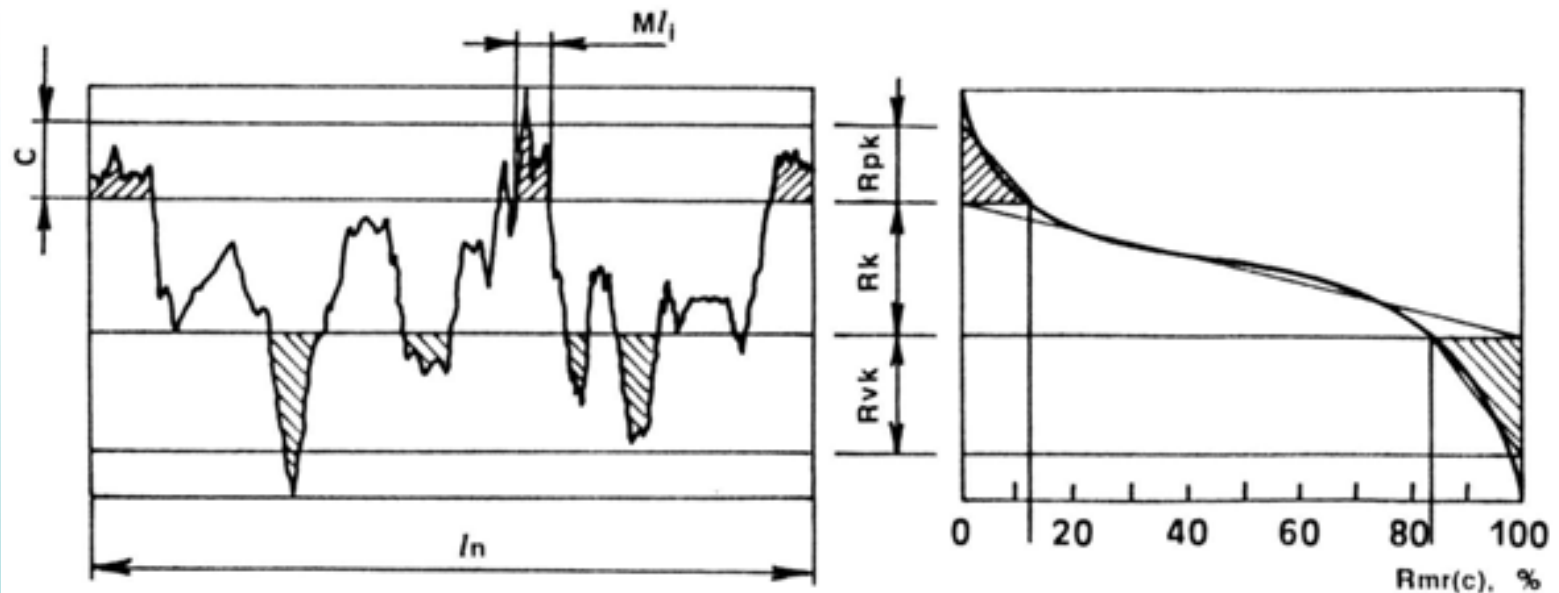
$Rmr(c)$ é a razão entre o comprimento de sustentação do perfil de rugosidade a um dado nível de corte c , $MI(c)$, e o comprimento de avaliação, (ISO 4287).

$$Rmr(c) = MI(c) / l_n \quad (\%)$$

O comprimento de sustentação do perfil a um nível c , $MI(c)$, é igual à soma dos comprimentos dos segmentos resultantes do corte do perfil por uma linha paralela à linha média (eixo dos XX), a um dado nível c :

$$MI(c) = MI_1 + MI_2 + \dots + MI_n$$

Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)



Curva da taxa do comprimento de sustentação (curva de Abbott - Firestone). Esta curva pode ser interpretada como a **função de distribuição acumulada das ordenadas $Z(x)$** no interior do comprimento de avaliação.

Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- **A partir da curva da taxa do comprimento de sustentação do perfil, pode definir-se, também, um conjunto de parâmetros (ISO 13565-2) que descrevem as características funcionais da rugosidade de superfície, relevantes em superfícies de contacto fortemente carregadas, merecendo particular referência:**
 - **R_k - profundidade do perfil reduzido** (sem os picos salientes e os vales profundos);
 - **R_{pk} - altura dos picos eliminados;**
 - **R_{vk} - profundidade dos vales eliminados.**
- **Estes parâmetros permitem descrever a configuração da curva da taxa do comprimento de sustentação, através da subdivisão da profundidade total do perfil em três zonas:**

Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- **zona dos picos**, ligada a comportamentos iniciais em serviço, tais como rodagem e desgaste;
 - **zona do perfil reduzido**, ligada com a capacidade de carga, o comportamento funcional, etc.;
 - **zona dos vales**, ligada à lubrificação, à retenção de óleo, etc.
- A comparação entre curvas da taxa do comprimento de sustentação de diferentes perfis de rugosidade pode dar alguma indicação sobre como essas curvas podem ser utilizadas na estimativa da resistência relativa de uma dada superfície face a avarias. No entanto, **a informação proporcionada pelos parâmetros da curva da taxa do comprimento de sustentação não está ainda suficientemente desenvolvida para uso corrente em muitos domínios técnicos.**

Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- Por outro lado, **em França, sob o impulso da indústria automóvel** (CNOMO – Comité de Normalization des Moyens de Production), **desenvolveu-se o Sistema da linha envolvente**, englobando os parâmetros ligados aos motivos do perfil, atualmente objeto da norma ISO 12085.
- Nesta norma, **um motivo** é definido como sendo **uma porção do perfil primário compreendida entre os pontos mais elevados de dois picos locais do perfil**, consecutivos ou não.
- A identificação dos motivos, no perfil primário, é realizada através da aplicação de **um algoritmo do tipo "reconhecimento de forma"**. De entre os principais parâmetros merece destaque **a profundidade média dos motivos de rugosidade – R**.

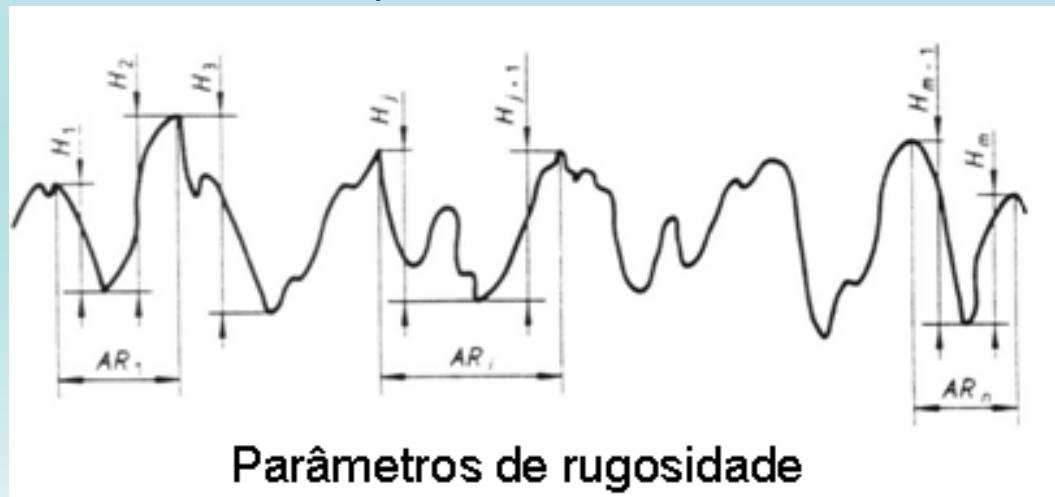
Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

g) A profundidade média dos motivos de rugosidade - R

R é a média aritmética das profundidades H_j dos motivos de rugosidade, no interior do comprimento de avaliação, ou seja:

$$R = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m H_j$$

em que m é o número de valores H_j . Nota: o número de valores H_j é o dobro do número de valores AR_i (comprimentos dos motivos de rugosidade, $m=2n$).



Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- Os **parâmetros ligados aos motivos podem ser calculados graficamente traçando a linha envolvente superior e a linha envolvente inferior**, não indo aos vales com passo inferior a 500 μm . O parâmetro R representa a distância média entre as duas linhas envolventes do perfil.

Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- Parâmetros do estado de superfície (ISO 4287: 1997):**

Parâmetros	Ed. 1997	Determinado no	
		Comprimento de avaliação l_n	Comprimento de base ¹⁾
Altura máxima de pico do perfil Maximum profile peak height Hauteur maximale de saillie du profil	R_p ²⁾		X
Profundidade máxima de vale do perfil Maximum profile valley depth Profondeur maximale de creux du profil	R_v ²⁾		X
Altura máxima do perfil Maximum height of the profile Hauteur maximale de profil	R_z ²⁾		X
Altura média dos elementos do perfil Mean height of the profile Hauteur moyenne des éléments du profil	R_c ²⁾		X
Altura total do perfil Total height of the profile Hauteur total du profil	R_t ²⁾	X	
Desvio médio aritmético do perfil avaliado Arithmetical mean deviation of the assessed profile Écart moyen arithmétique du profil évalué	R_a ²⁾		X
Desvio médio quadrático do perfil avaliado Root mean square deviation of the assessed profile Écart moyen quadratique du profil évalué	R_q ²⁾		X

Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- Parâmetros do estado de superfície (ISO 4287: 1997) (cont.):**

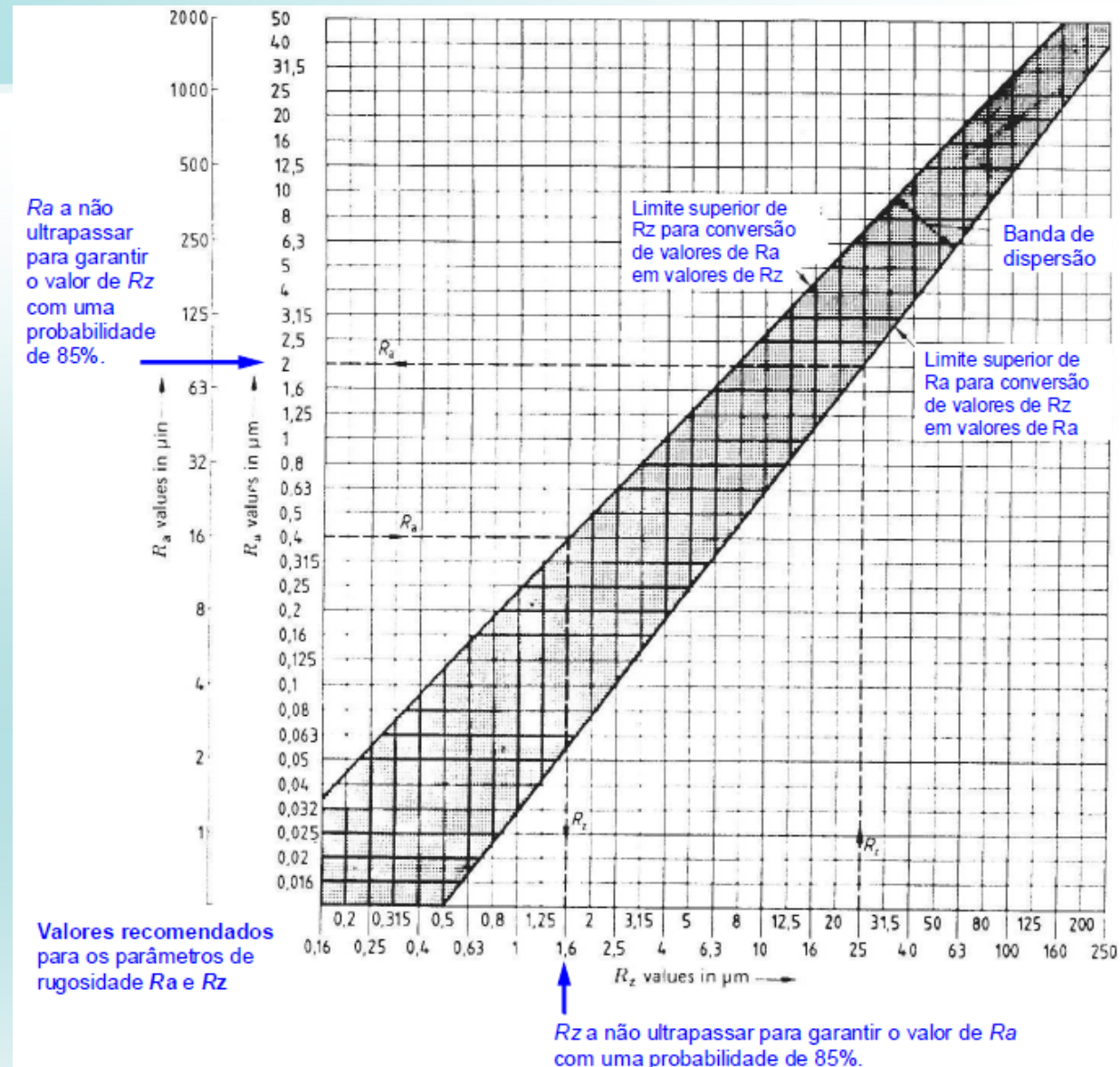
Factor de assimetria do perfil avaliado Skewness of the assessed profil Facteur d' asymétrie du profil évalué	$R_{sk}^{2)}$		X
Kurtose do perfil avaliado Kurtosis of the assessed profil Facteur d' aplatissement du profil évalué	$R_{ku}^{2)}$		X
Largura média dos elementos do perfil Mean width of the profile elements Largeur moyenne des éléments du profil	$RSm^{2)}$		X
Inclinação média quadrática do perfil avaliado Root mean square slope of the assessed profile Pente quadratique moyenne du profil évalué	$R_{\Delta q}^{2)}$		X
Taxa do comprimento de sustentação Material ratio of the profil Taux de longueur portante	$Rmr(c)^{2)}$	X	
Diferença da altura de corte do perfil Profile section height difference Différence de hauteur de coupe du profil	$R_{\Delta c}^{2)}$	X	
Taxa do comprimento de sustentação relativa Relative material ratio Taux de longueur portante relatif	$Rmr^{2)}$	X	
Altura sobre dez pontos (R_z) Ten point height (suprimido como parâmetro ISO) Hauteur sur dix point	---		X
<p>¹⁾ Este comprimento de base é l_r, l_w e l_p, respectivamente, para os parâmetros R-, W- e P-; l_p é igual a l_n.</p> <p>²⁾ Parâmetros definidos para três perfis: perfil primário, perfil de ondulação e perfil de rugosidade. Apenas o parâmetro do perfil de rugosidade está indicado na tabela. Como exemplo, os três parâmetros são escritos P_a (perfil primário), W_a (perfil de ondulação) e R_a (perfil de rugosidade).</p>			

Relações práticas entre diferentes parâmetros de rugosidade

- Quando não for possível **utilizar os parâmetros indicados** no desenho, deverá, exceccionalmente, ser negociada com os serviços competentes, caso a caso, a **utilização de outros parâmetros alternativos**.
- Não existem bases teóricas nem resultados empíricos que sustentem quaisquer relações exatas entre a generalidade dos diferentes parâmetros, podendo encontrar-se, na literatura da especialidade, **algumas relações práticas**.

Relações práticas entre diferentes parâmetros de rugosidade

- Conversão do parâmetro R_z em R_a e vice-versa:



Crítérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- A **seleção dos valores dos parâmetros caracterizadores da rugosidade baseia-se, fundamentalmente, na experiência anterior e em indicações existentes na literatura da especialidade.**
- **A especificação dos valores a atribuir aos diferentes parâmetros da rugosidade das superfícies pode fazer-se tendo em conta:**
 - A rugosidade das superfícies associada aos diferentes tipos de **métodos de fabricação** utilizados na sua obtenção.
 - A **relação entre os valores de rugosidade e a função das superfícies.**
 - Os **valores de rugosidade considerados adequados para diferentes tipos de aplicações correntes.**
 - As **relações práticas existentes entre valores de diferentes parâmetros de rugosidade e as tolerâncias dimensionais.**

Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- Rugosidade média aritmética associada com diferentes tipos de métodos de fabricação:

	Valores possíveis de rugosidade média aritmética R_a		DIN 4766: 1981 Parte 2														
Métodos de fabricação	Manufacturing method		Attainable arithmetical mean value R_a in μm														Remarks
	Main group	Designation of method	0.006	0.012	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50	
Designação do método	Casting	Sand mould casting															1)
Fundição em carapaça		Shell mould casting															1)
Fundição em coquilha		Chill casting															
Fundição injectada		Die casting															
Fundição em cera perdida		Investment casting															
Forjamento c/ matriz		Forming	Drop forging														
Laminagem de chapas	Plain rolling																
Embutidura profunda	Deep-drawing of sheet																
Extrusão dir./inv. - extrusão	Extrusion moulding, extruding																
Estampagem	Stamping																
Laminagem de perfis	Rolling of shapes																
Corte	Forming	Cutting															
Tomeamento - cilíndrico		Longitudinal turning															
Tomeamento - facejar		Facing															
Tomeamento - ranhurar		Grooving															
Aplainamento c/ plaina mecânica		Planing															
Aplainamento c/ limador		Shaping															
Acabamento shaving p/ engrenagens		Shaving															
Furagem		Drilling															
Mandrilagem		Boring															
Escariar / rebaixar		Counterboring															
Alargamento de furos (c/ mandril)		Reaming															

Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- Rugosidade média aritmética associada com diferentes tipos de métodos de fabricação (cont.):**

Mandrilagem		Boring	
Escariar / rebaixar		Counterboring	
Alargamento de furos (c/ mandril)		Reaming	
Fresagem cilíndrica		Circumferential milling	
Fresagem frontal		Face milling	
Brochagem		Broaching	
Limagem		Filing	
Rectificação cilíndrica	mov. de rotação da peça	Circular longitudinal grinding	
Rectificação de face		Circular surface grinding	
Rectificação mergulhante		Circular plunge grinding	
Rectificação tangencial	de superfícies planas	Surface circumferential grinding	
Rectificação frontal		Surface frontal grinding	
Polimento		Polish-grinding	
Rectificação de cilindros		Honing	
Superacabamento		Superfinishing	
Rodagem cilíndrica		Circular lapping	
Rodagem plana		Surface lapping	
Ultra-sons		Ultrasonic machining	
Lapidagem		Buffing	
Granalhagem		Abrasive blasting	
Rebarbagem por vibrador		Tumbling	
Oxicorte		Flame cutting	
		1) c/ este método de fundição podem ser esperados valores de Ra até 125 µm, no caso de peças com uma massa unitária até 250 kg.	

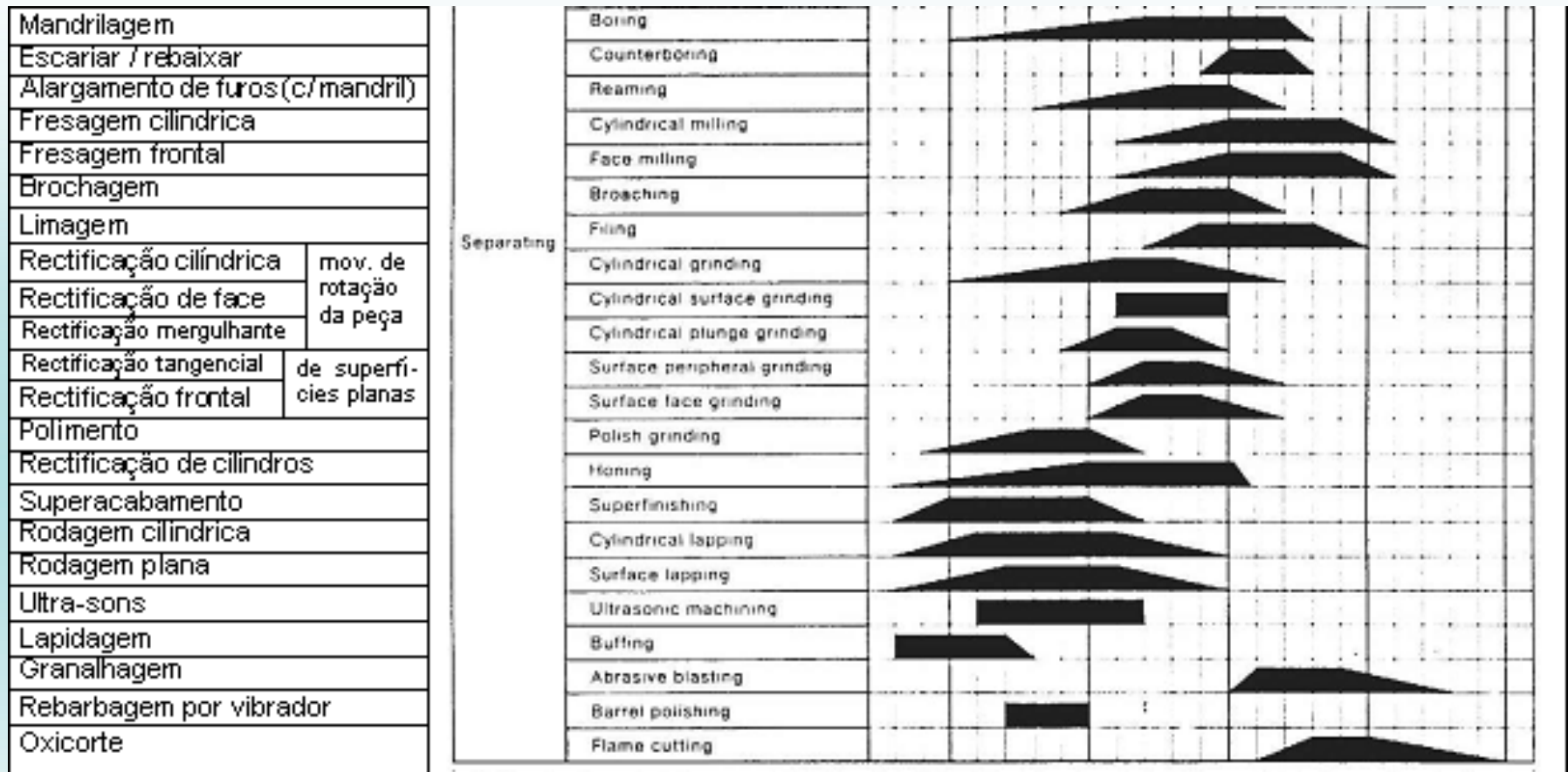
Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- Média aritmética das alturas máximas do perfil de rugosidade associada com diferentes tipos de métodos de fabricação:

	Valores possíveis da média aritmética das alturas máximas do perfil de rugosidade R_z		DIN 4766: 1981 Parte 1	
Métodos de fabricação	Manufacturing method		Attainable arithmetical mean value of peak-to-valley height R_z in μm	
	Main group	Term	0.04 0.06 0.1 0.16 0.25 0.4 0.63 1 1.6 2.5 4.0 6.3 10 16 25 40 63 100 160 250 400 630 1000	
Designação do método				
Fundição em areia	Casting	Sand mould casting		
Fundição em carapaça		Shell mould casting		
Fundição em coquilha		Chill casting		
Fundição injectada		Die casting		
Fundição em cera perdida		Investment casting		
Forjamento c/ matriz	Forming	Drop forging		
Laminagem de chapas		Plain rolling		
Embutidura profunda		Deep drawing of sheet		
Extrusão		Extrusion		
Estampagem		Stamping		
Laminagem de perfis		Rolling of shapes		
Corte		Cutting		
Torneamento - cilíndrico		Plain turning		
Torneamento - facejar		Surfacing		
Torneamento - ranhurar		Grooving		
Aplainamento c/ plaina mec.		Planing		
Escatelamento		Slotting		
Rascagem		Scraping		
Furagem		Drilling		

Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- Média aritmética das alturas máximas do perfil de rugosidade associada com diferentes tipos de métodos de fabricação (cont.):**

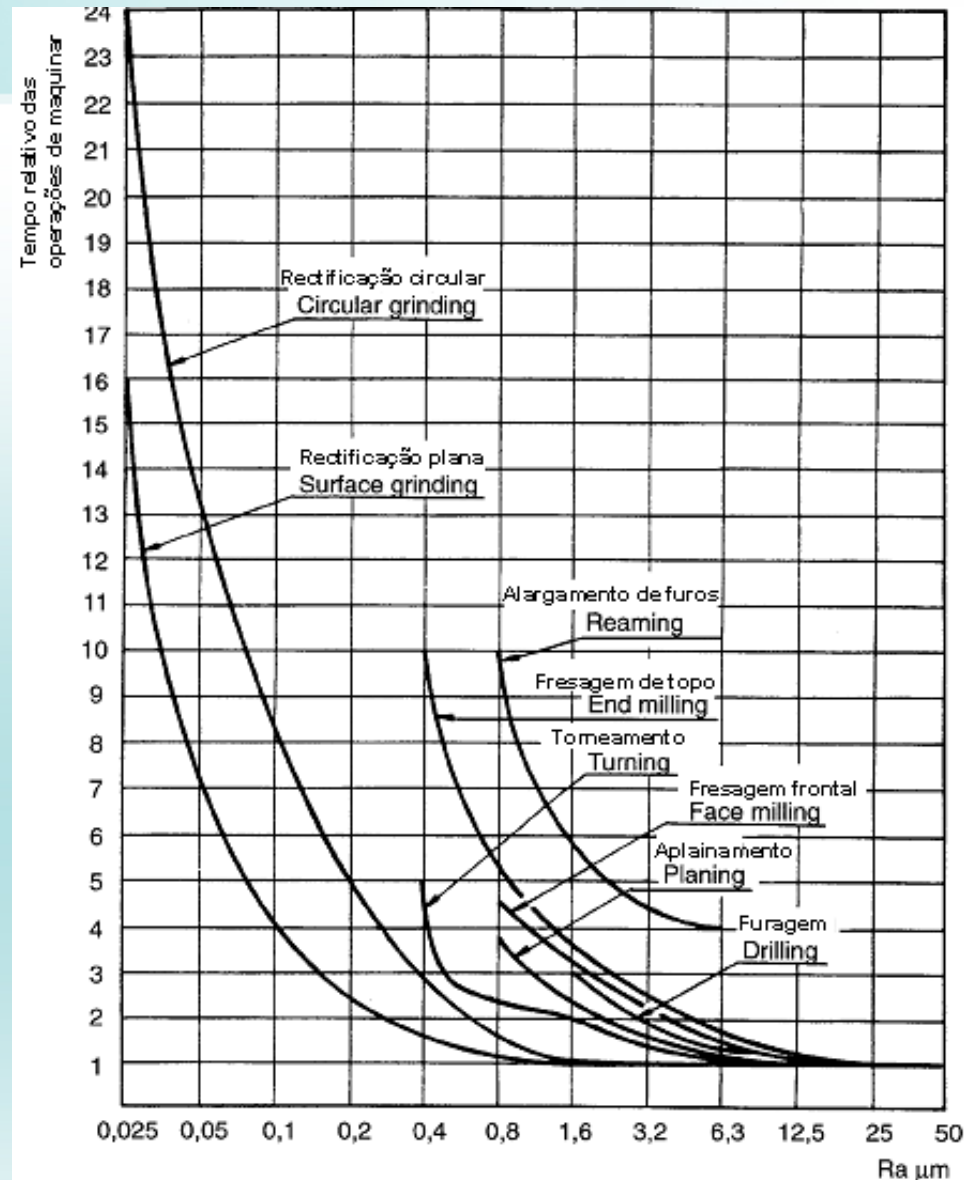


Crítérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Um mesmo grau de acabamento** pode ser obtido através de diferentes métodos de fabricação e cada **método de fabricação** permite obter vários graus de acabamento.
- Logo, a obtenção de uma dada rugosidade não deve estar vinculada a um determinado método de fabricação. Estabelecida a função da superfície, através das especificações inscritas no desenho, o **departamento de métodos de fabrico da empresa** deve ter condições para **escolher o método mais adequado, face aos meios de produção disponíveis.**

Crítérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Relação entre tempos relativos de operações de maquinar para a obtenção de diferentes valores de R_a (SAAB STD 28):**



Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Relação entre os valores de rugosidade e a função das superfícies:**

Superfície		Funções aplicadas à superfície		Exemplos de aplicação ¹			
		Designações	Símbolo	Condições normais	Ra	Condições difíceis	Ra
Duas peças em contacto	com deslocamento relativo	Escorregamento (lubrificado)	FG	Chumaceiras – moentes de veios	0,8 1,6	Correção de máq.-ferramenta	0,4 0,8
		Atrito seco	FS				
		Rolamento	FR	Corpos rolantes	0,2 0,4	Caminho de rolamento de esferas	0,05 0,1
		Resistência ao encalque	RM	Cames de tornos automáticos	0,1 0,4	Extremidades de impulsores	0,05 0,1
		Atrito fluído	FF	Condutas de alimentação	0,8 6,3	Difusores (gicleurs) injectores	0,2
		Vedação dinâmica com junta sem junta	ED	Superfícies para juntas toroidais ("O" rings)	0,4 0,8	Superfícies para juntas com lábios	0,3 0,4
	sem deslocamento	Vedação estática com junta sem junta	ES	Superfícies de vedação com junta plana	0,8 1,6	Superfícies de vedação polidas sem junta	0,05 0,1
		Ligação fixa (tensões fracas)	AF	Suportes e centrags de peças fixas desmontáveis	1,6 3,2	Suportes e centrags com exactidão	0,8 1,6
		Ligação sem deslocamento, com tensões	AC	Alojamentos de chumaceiras	0,8 1,6	Alojamentos de rolamentos	0,4 0,8
		Aderência (colagem)	AD	Construções coladas	1,6 a 3,2		

Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- Relação entre os valores de rugosidade e a função das superfícies (cont.):**

Superfície independente	c/ tensões	Ferramentas de corte (superfície de corte)	OC	Ferramentas de aço rápido 0,4	Ferramentas de carboneto duro 0,2
		Tensões de fadiga	EA	Furos de forquilha de cilindros 1,6	Barras de torção 0,8
	sem tensões	Resistência à corrosão	RC		
		Revestimento (pintura)	RE	Carroçarias de automóveis $\geq 3,2$.
		Revestimento electrolítico	DE	Indicar a rugosidade exigida pela função, após deposição 0,1 a 3,2	.
		Medições	ME	Faces de calibres de oficina 0,1	.
		Aparência (aspecto)	AS	.	.
	† Valores de R_a dados a título indicativo.				

Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- Valores de referência (SAAB) para a escolha dos parâmetros R_a e R_z :**

Exemplos		$R_z \mu m$															
		0.2	0.4	0.7	1.25	2.2	4	8	12.5	25	50	100	200	400	1000		
		$R_a \mu m$															
		0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50	100	250		
1	Superfícies onde existem grandes exigências de uniformidade.	f															
	Superfícies de escorregamento, em peças que são delicadas de um ponto de vista funcional.	m															
	Instrumentos cirurgicos, de medição, calibres, etc.	g															
2	Superfícies de sustentação, (revestimentos), superfícies de escorregamento.	f															
	Rolamentos de esferas e de rolos, esferas, rolos, caminhos para rolos.	m															
	Superfícies de contacto para transmissão de electricidade. Instrumentos de medição, calibres.	g															
3	Camisas de cilindros. Superfícies de guiamento e superfícies de escorregamento.	f															
	Moentes. Chumaceiras para veios.	m															
	Transições radiais em peças sujeitas a fadiga. Sedes de rolamentos de esferas e rolos.	g															
4	Sedes de válvulas. Superfícies de veios sujeitos a tensões elevadas, por exemplo, veios com torção.	f															
	Superfícies de vedação para peças de borracha de vedações móveis. Superfícies polidas para revestimentos de superfície. Superfícies conjugadas com graus de tolerância IT5 – 7.	m															
		g															
5	Rugosidade de superfície geral para veios maquinados sujeitos a carregamento. Superfícies de vedação para peças de borracha de vedações fixas. Superfícies para revestimento. Anilhas de contacto axial. Superfícies de contacto. Superfícies conjugadas com graus de tolerância IT6 – 8.	f															
		m															
		g															
6	Superfícies dos flancos de roscas, rodas dentadas e acoplamentos por estrias (rectificadas).	f															
	Superfícies de chapas laminadas a frio. Superfícies de vedação sem junta intermédia. Superfícies para revestimentos. Superfícies conjugadas com graus de tolerância IT7 – 9.	m															
		g															

Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- Valores de referência (SAAB) para a escolha dos parâmetros Ra e Rz (cont.):

[illegible]

Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Valores de rugosidade média aritmética (R_a) para diferentes tipos de aplicações:**

RUGOSIDADE R_a (μm)	APLICAÇÕES (a título indicativo) Valores recomendados da série Renard R' 10/3
0,025	Faces de medição de micrómetros Espelhos Faces de medição de blocos-padrão. Blocos de apoio de exactidão
0,05	Faces de calibres de oficina. Planos de apoio para comparadores Injectores de combustível
(0,08) 0,1 (VVVV) (símbolo antigo)	Faces de calibradores de cursor Eixos de articulação Ferramentas de exactidão Chumaceiras (casquilhos) superacabadas Acoplamentos estanques a alta pressão, em movimento alternado Superfícies acopladas de peças, com movimento alternado, de retenção de líquido sob pressão Superfícies de retenção polidas, sem junta
(0,125) (0,16) 0,2	Suportes bipartidos de veios e árvores de cames. Superfícies de cames Mancal de biela Haste de válvula Cilindros de bombas hidráulicas. Cilindros hidráulicos Chumaceiras (casquilhos) polidas. Alojamentos da chumaceiras de alta velocidade Veios de turbinas Acoplamentos estanques, com movimentação manual Guias de máquinas de máquinas-ferramenta Mancais (suportes) de veios de rotores de turbinas, de redutores, etc.

CrITÉrios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Valores de rugosidade média aritmética (R_a) para diferentes tipos de aplicações (cont.):**

(0,25)	Veios estriados
(0,32)	Chumaceiras de veios motores
0,4	Superfície externa de pistões
	Superfícies internas de cilindros de motores
	Veios de grandes máquinas eléctricas
	Acoplamentos apertados
	Sedes de válvulas. Superfícies de fecho e obturadores de válvulas, etc.
	Faces de medição de exteriores de paquímetros
	Mancais bipartidos de veios
	Chumaceiras de metal branco (liga de estanho, antimónio e cobre c/ zinco ou chumbo)
	Superfícies de peças deslizantes, tais como patins e respectivas guias
(0,5)	Tambores de freios
(0,63)	Furos polidos. Peças de exactidão
0,8 (▽▽▽)	Chumaceiras (casquilhos) de bronze e casquilhos rectificados
	Dentes de engrenagens
	Superfícies de retenção de flanges sem juntas
	Mancais bipartidos de veios
	Casquilhos em metal branco (liga de estanho, antimónio e cobre c/ zinco ou chumbo)
	Superfícies de peças deslizantes, tais como patins e respectivas guias
(1,0)	Faces de referência de rodas dentadas
(1,25)	Veios e furos de rodas dentadas
1,6	Cabeças de cilindros
	Superfícies em contacto de caixas de engrenagens em ferro fundido
	Faces de pistões
	Superfícies de retenção de flange com juntas
(2,0)	Veios e casquilhos para transmissões manuais
(2,5)	Superfícies de acoplamento de peças fixas desmontáveis (flanges de uniões, batentes de centragem, etc.)
3,2 (▽▽)	
(4,0)	Superfícies de retenção de flanges, com juntas comuns
(5,0)	Faces de montagem do corpo de uma caixa de engrenagens
6,3	
8,0)	Superfícies de ligação de flanges de tubagens com junta macia
(10,0)	
12,5 (▽)	
(...) - Valores recomendados de segunda escolha (série Renard R' 10)	

Crítérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Até 1992, os valores do parâmetro R_a eram escolhidos a partir da série de valores da série Renard R' 10/3.**
- Nos desenhos antigos, a rugosidade R_a podia também ser indicada pelos números dos graus de rugosidade.
- A utilização desta progressão geométrica de razão 2 era justificada pelo facto de, com a **utilização dos padrões de rugosidade**, mesmo o pessoal do controlo mais experiente **só conseguir distinguir claramente duas rugosidades diferentes, se uma delas tivesse um valor que fosse o dobro ou metade do valor da outra.**

Comparação entre o desvio médio aritmético (R_a) e os números dos graus de rugosidade

N 12	N 11	N 10	N 9	N 8	N 7	N 6	N 5	N 4	N 3	N 2	N 1	
50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025	μm

Crítérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Com a utilização de rugosímetros passou a ser possível verificar a especificação de qualquer valor numérico para os diferentes parâmetros de rugosidade**, embora seja corrente recorrer-se aos valores, recomendados para os parâmetros de rugosidade (em μm), constantes da série Renard $R' 10$.

Símbolos de rugosidade utilizados em desenhos antigos

Conversão dos antigos símbolos de rugosidade em valores de Ra e Rz

Símbolos de superfície	▽				▽▽				▽▽▽				▽▽▽▽			
Séries	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Rz em μm	160	100	63	25	40	25	16	10	16	6,3	4	2,5	-	1	1	0,4
Ra em μm	25	12,5	6,3	3,2	6,3	3,2	1,6	1,6	1,6	0,8	0,4	0,2	-	0,1	0,1	0,025
Grau de rugosidade	N11	N10	N9	N8	N9	N8	N7	N7	N7	N6	N5	N4	-	N3	N3	N1

O documento I-976 propunha uma correspondência dos símbolos baseada na série 2 do quadro 15, com a utilização do símbolo \sim para valores de $Ra \geq 25 \mu\text{m}$ e uma ausência de qualquer símbolo para valores de $Ra \geq 50 \mu\text{m}$.

Relações práticas entre parâmetros de rugosidade e as tolerâncias dimensionais

- **A representação do estado de acabamento das superfícies não fornece qualquer indicação sobre a qualidade (grau de tolerância) das dimensões das peças.**
- **No entanto, é evidente que uma qualidade dimensional elevada não se pode conciliar com superfícies grosseiramente trabalhadas.**
- **Existem várias relações práticas que relacionam as rugosidades adequadas com as tolerâncias dimensionais especificadas.**
- A aplicação rígida de uma dessas relações pode conduzir à exigência de estados de superfície que não são indispensáveis ao bom comportamento mecânico ou à duração de vida das peças em serviço, o que, não sendo necessário, aumenta inutilmente o preço das peças.

Relações práticas entre parâmetros de rugosidade e as tolerâncias dimensionais

$Ra \approx IT / 30$

(AFPA – Memento des conventions de Dessin en Mecanique, 1976)

Valores máximos de Ra compatíveis com as tolerâncias ISO, na falta de prescrições particulares ($Ra \approx IT / 30$).

VALORES DE RUGOSIDADE MÁXIMA Ra COMPATÍVEIS COM AS TOLERÂNCIAS ISO (μm)										
Tolerâncias ISO	Grupos de dimensões (mm)									
	≤ 3		$> 3 \leq 18$		$> 18 \leq 80$		$> 80 \leq 250$		> 250	
	Tol.	Ra	Tol.	Ra	Tol.	Ra	Tol.	Ra	Tol.	Ra
IT 6	6	0,2	8 + 11	0,3	13 + 19	0,5	22 + 29	0,8	32 + 40	1,2
IT 7	10	0,3	12 + 18	0,5	21 + 30	0,8	35 + 46	1,2	52 + 63	2
IT 8	14	0,5	18 + 27	0,8	33 + 46	1,2	54 + 72	2	81 + 97	3
IT 9	25	0,8	30 + 43	1,2	52 + 74	2	87 + 115	3	130 + 155	5
IT 10	40	1,2	48 + 70	2	84 + 120	3	140 + 185	5	210 + 250	8
IT 11	60	2	75 + 110	3	130 + 190	5	220 + 290	8	320 + 400	12
IT 12	100	3	120 + 180	5	210 + 300	8	350 + 460	12	520 + 630	20
IT 13	140	5	180 + 270	8	330 + 460	12	540 + 720	20	810 + 970	—
IT 14	250	8	300 + 430	12	520 + 740	20	870 + 1150	—	1300 + 1550	—

Relações práticas entre parâmetros de rugosidade e as tolerâncias dimensionais

Seleccção de valores máximos de R_a e R_z compatíveis com as tolerâncias ISO, na falta de prescrições particulares.

Nominal size in mm	1 -6		6 -10		10 -18		18 -80		80 -250		250 -500	
ISO-Accuracy class	Recommended R_a and R_z (DIN) values μm											
	R_a	R_z	R_a	R_z	R_a	R_z	R_a	R_z	R_a	R_z	R_a	R_z
5	0.4	2.5	0.4	2.5	0.8	4	0.8	4	0.8	6.3	0.8	6.3
6	0.8	4	0.8	4	0.8	4	0.8	6.3	1.6	10	1.6	10
7	0.8	6.3	0.8	6.3	0.8	6.3	1.6	10	1.6	16	1.6	16
8	1.6	6.3	1.6	10	1.6	10	3.2	16	3.2	25	3.2	25
9	1.6	10	3.2	16	3.2	16	3.2	16	3.2	25	6.3	40
10	3.2	16	6.3	25	6.3	25	6.3	40	6.3	40	12.5	63
11	6.3	25	12.5	40	12.5	40	12.5	63	12.5	63	25	100

$IT / 20 \leq R_a \leq IT / 8$ (L. MUMMERY – Surface Texture Analysis. The Handbook. 1990, p. 94)
 $R_z(\text{DIN}) < IT / 2$

Relações práticas entre parâmetros de rugosidade e as tolerâncias dimensionais

Valores máximos de R_a (μm) recomendados para as superfícies de contacto, em função das dimensões e da qualidade dimensional (CETIM – Informations, nº 60, p. 54).

Diamètre nominal \varnothing (mm)	Qualité ISO				
	5-6 (*)	6-7 (*)	7-8 (*)	8-9 (*)	9-10 (*)
1-3	0,20-0,32	0,32-0,63	0,50-0,80	0,63-1,00	1,25-2,00
3-6	0,25-0,40	0,40-0,63	0,63-1,00	0,80-1,25	1,6 -2,5
6-10	0,32-0,50	0,50-0,80	0,80-1,25	1,00-1,0	2,0 -3,2
10-18	0,40-0,63	0,63-1,00	1,00-1,60	1,25-2,0	2,5 -4,0
18-30	0,40-0,80	0,80-1,25	1,25-2,00	1,6 -2,5	3,2 -5,0
30-50	0,50-0,80	1,00-1,60	1,25-2,00	1,6 -2,5	4,0 -5,0
50-80	0,63-1,00	1,00-1,60	1,6 -2,5	2,0 -3,2	4,0 -6,3
80-120	0,63-1,00	1,25-2,00	2,0 -3,2	2,5 -4,0	5,0 -6,3
120-180	0,80-1,25	1,25-2,00	2,5 -3,2	2,5 -4,0	6,3 -8,0
180-260	1,00-1,60	1,6 -2,5	2,5 -4,0	3,2 -5,0	6,3 -10
260-360	1,00-1,60	1,6 -2,5	3,2 -5,0	3,2 -5,0	8,0 -12,5
360-500	1,25-2,00	2,0 -3,2	3,2 -5,0	4,0 -6,3	10,0-12,5

(*) Le premier nombre correspond à la qualité des arbres, le deuxième à la qualité des alésages (furos).

TABLEAU II. Rugosité R_a (μm) recommandée pour les surfaces de contact en fonction des dimensions et de la précision dimensionnelle. (D'après S. Enache. — La qualité des surfaces usinées, Dunod 1972).

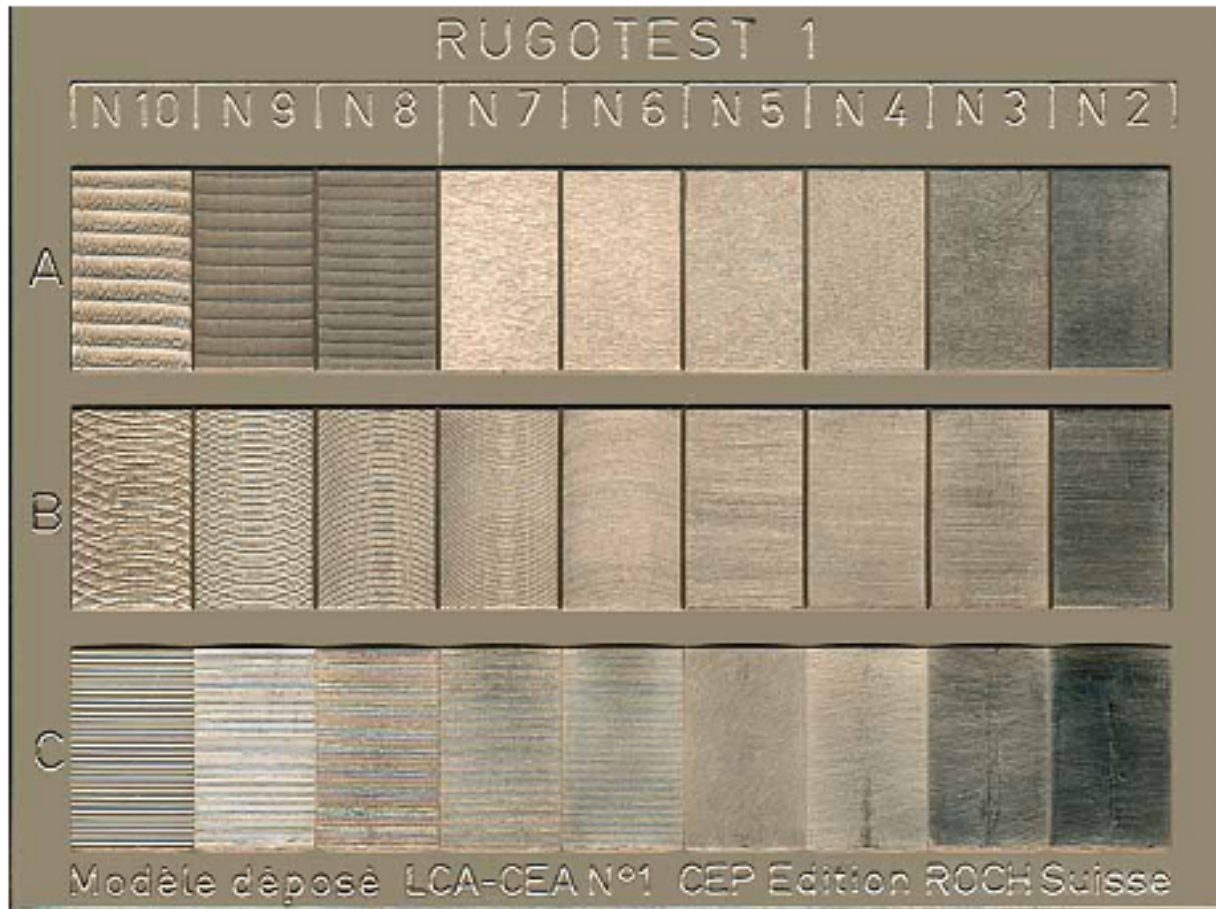
Remarque : Dans le cas des faibles diamètres, la rugosité moyenne conseillée dans le tableau est inférieure au μm (exemple 10 h 6). Dans la pratique, la rugosité demandée par les bureaux d'études et couramment réalisée est supérieure à cette valeur.

Processos de avaliação do estado de superfície

- A **medição da rugosidade superficial das peças efecua-se**, geralmente, **por palpação** ao longo de uma secção, com exploração bidimensional da superfície. De acordo com as dimensões das peças a controlar, **podem utilizar-se instrumentos de medição (rugosímetros)** fixos ou portáteis.
- **Inspeção visual através da utilização de padrões de rugosidade (escantilhões de comparação viso-táctil):**
 - A utilização dos **padrões de rugosidade** (placas de “RUGOTEST”), na inspeção visual de superfícies das peças, facilita o controlo da produção, permitindo efetuar uma rápida seleção das superfícies onde deverão ser efetuadas medições complementares.

Processos de avaliação do estado de superfície

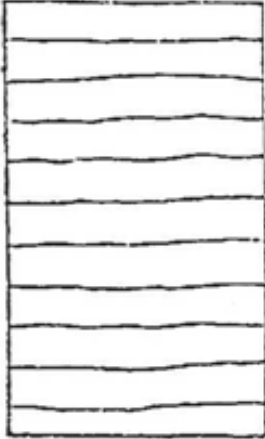

Ra 12,5 6,3 3,2 1,6 0,8 0,4 0,2 0,1 0,05 μm



Exemplo de padrões rugosidade - placas “RUGOTEST” nº1

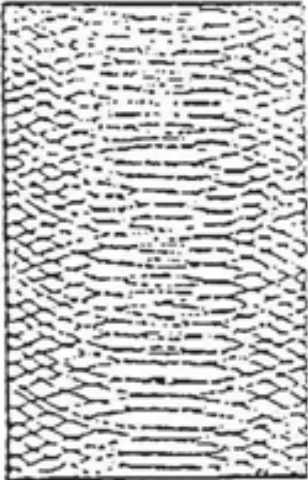

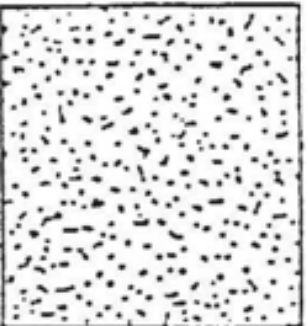
Processos de avaliação do estado de superfície

Características das estrias dos padrões de rugosidade (escantilhões de comparação viso-tátil)

MOTIVOS GEOMÉTRICOS DE SUPERFÍCIE	MODO DE ELABORAÇÃO REPRESENTADO	FORMA DO ESCANTILHÃO	REPRESENTAÇÃO ESTILIZADA DOS MOTIVOS
Estrias rectilíneas ou semelhantes	Aplainamento Torneamento Furagem Fresagem cilíndrica Rectificação tangencial e cilíndrica Polimento	Plana Cilíndrica convexa Cilíndrica côncava Plana Plana Cilíndrica convexa Plana Cilíndrica convexa	
Estrias em forma de arco	Torneamento – facejar Fresagem frontal	Plana Plana	

Processos de avaliação do estado de superfície

(cont.)

Estrias em forma de arco, cruzadas	Fresagem frontal	Plana	
	Rectificação frontal	Plana	
	Rectificação com mó de prato	Plana	
Estrias multidireccionais	Polimento	Plana Cilíndrica convexa	
Sem orientação	Electroerosão	Plana	
	Granalhagem esférica e angular	Plana	
	Preparação de superfícies por projecção de abrasivos	Plana	
	Polimento	Plana Cilíndrica convexa	
	Fundição	Plana Cilíndrica	

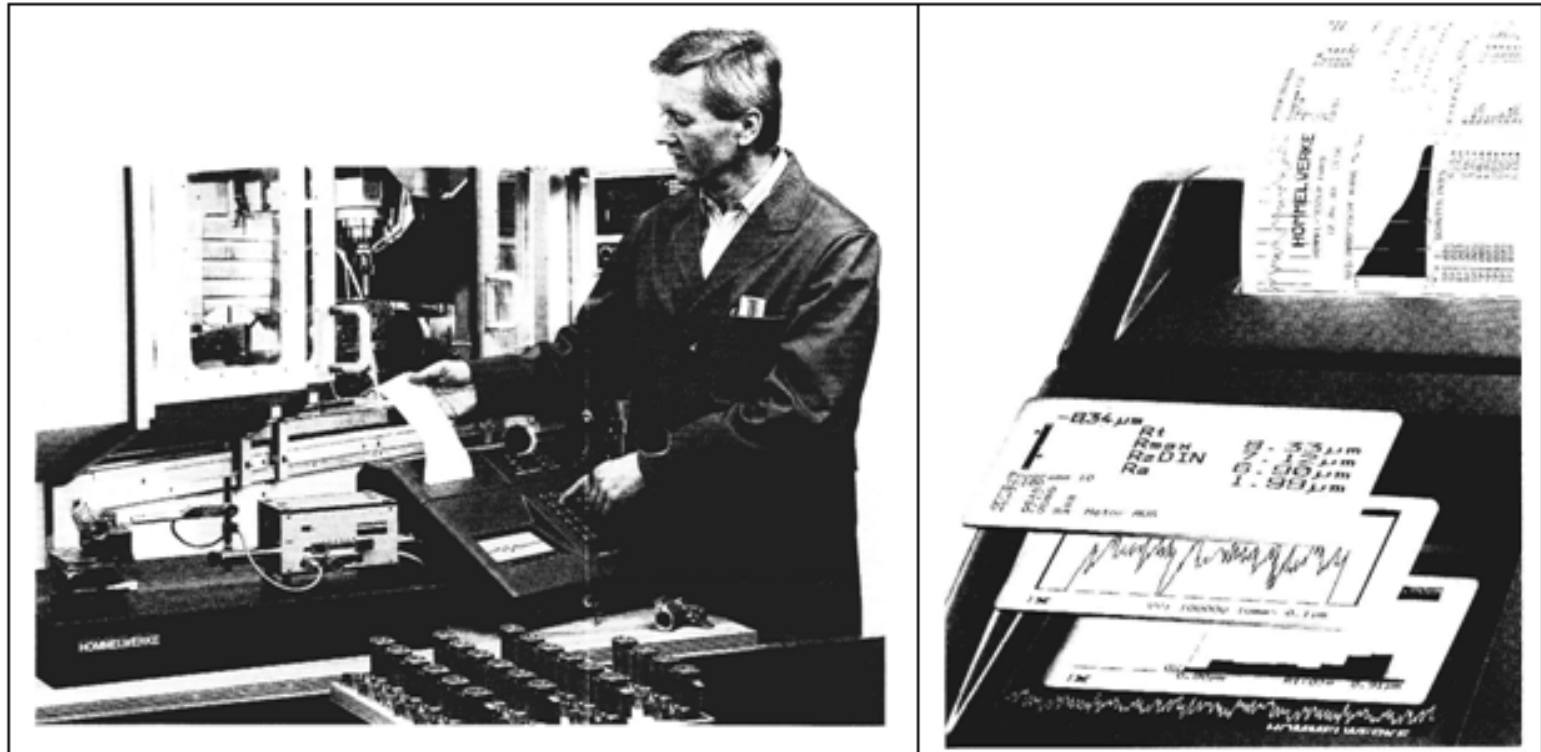
Processos de avaliação do estado de superfície

- **Medição do perfil de rugosidade através de rugosímetros ou perfilómetros de contacto:**



Exemplo de perfilómetro de contacto (ou rugosímetro) para trabalho laboratorial de controlo de qualidade

Processos de avaliação do estado de superfície



a)

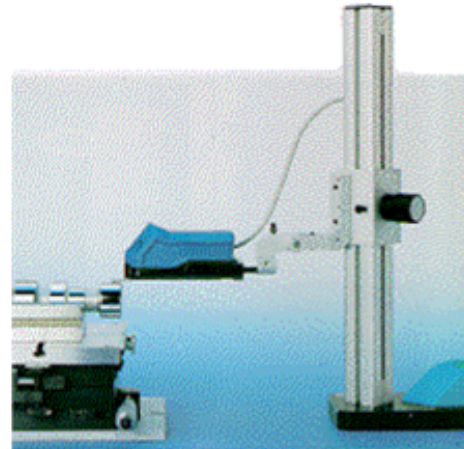
b)

Exemplo de perfilómetro de contacto com microprocessador: a) em trabalho oficial; b) com edição de resultados das medições

Processos de avaliação do estado de superfície



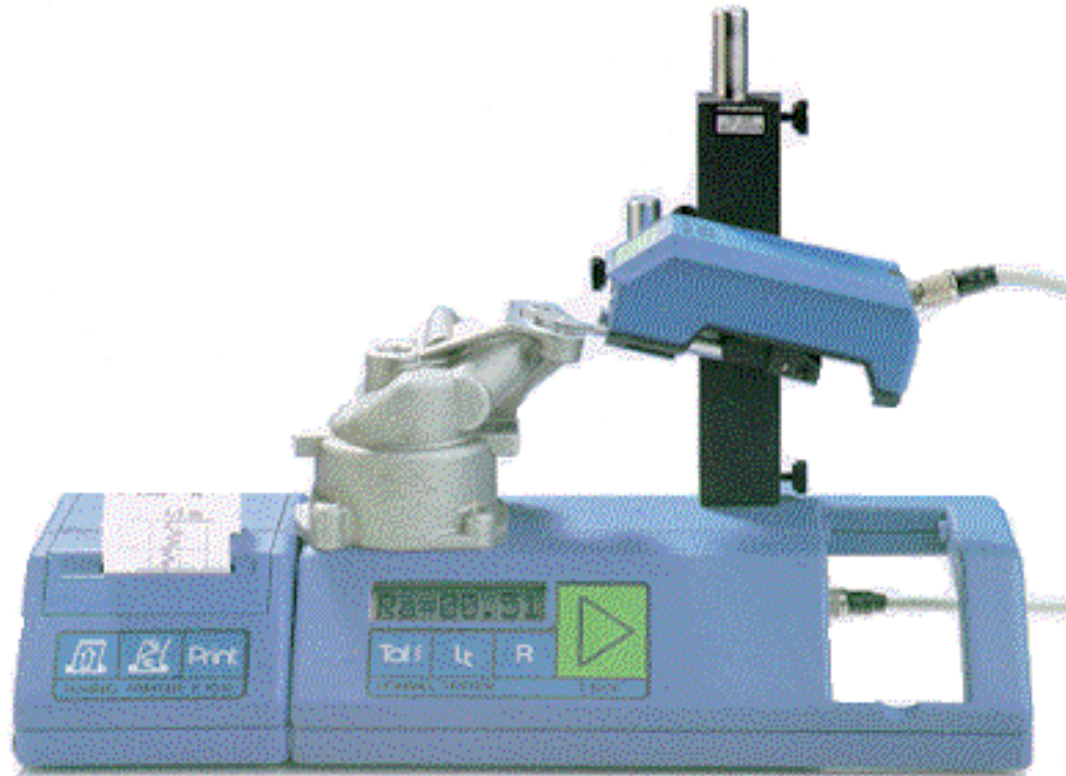
a)



b)

Exemplo de perfilómetro de contacto portátil, que pode também ser utilizado numa unidade estacionária ou na medição de uma peça directamente na máquina-ferramenta

Processos de avaliação do estado de superfície



Exemplo de perfilômetro de contacto portátil utilizado numa unidade estacionária