

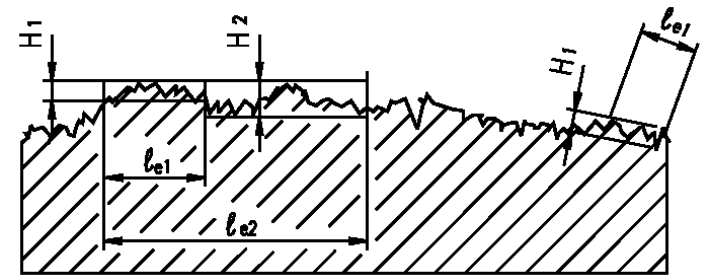
PMR 3103

Rugosidade Superficial
(Desvio de Forma Microgeométrico)

Rugosidade Superficial

DESVIO DE FORMA MICROGEOMÉTRICO.

- Formado por:
marcas, ranhuras e sulcos na
superfície da peça,



Rugosidade e ondulação

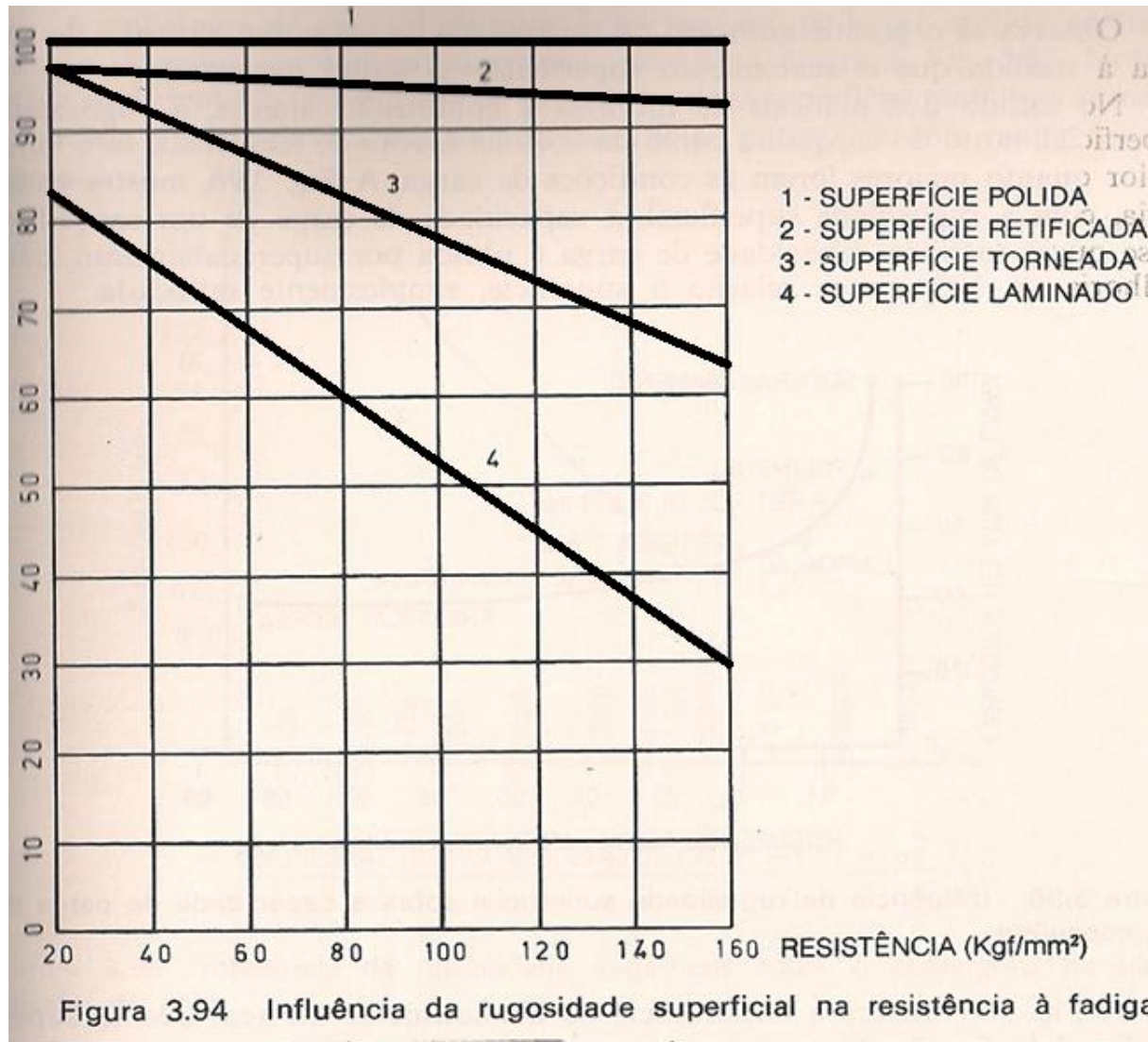
- *Causa:* **processo de fabricação**
ferramenta, material, velocidade, rigidez do
equipamento, lubrificação

Marcas de Usinagem

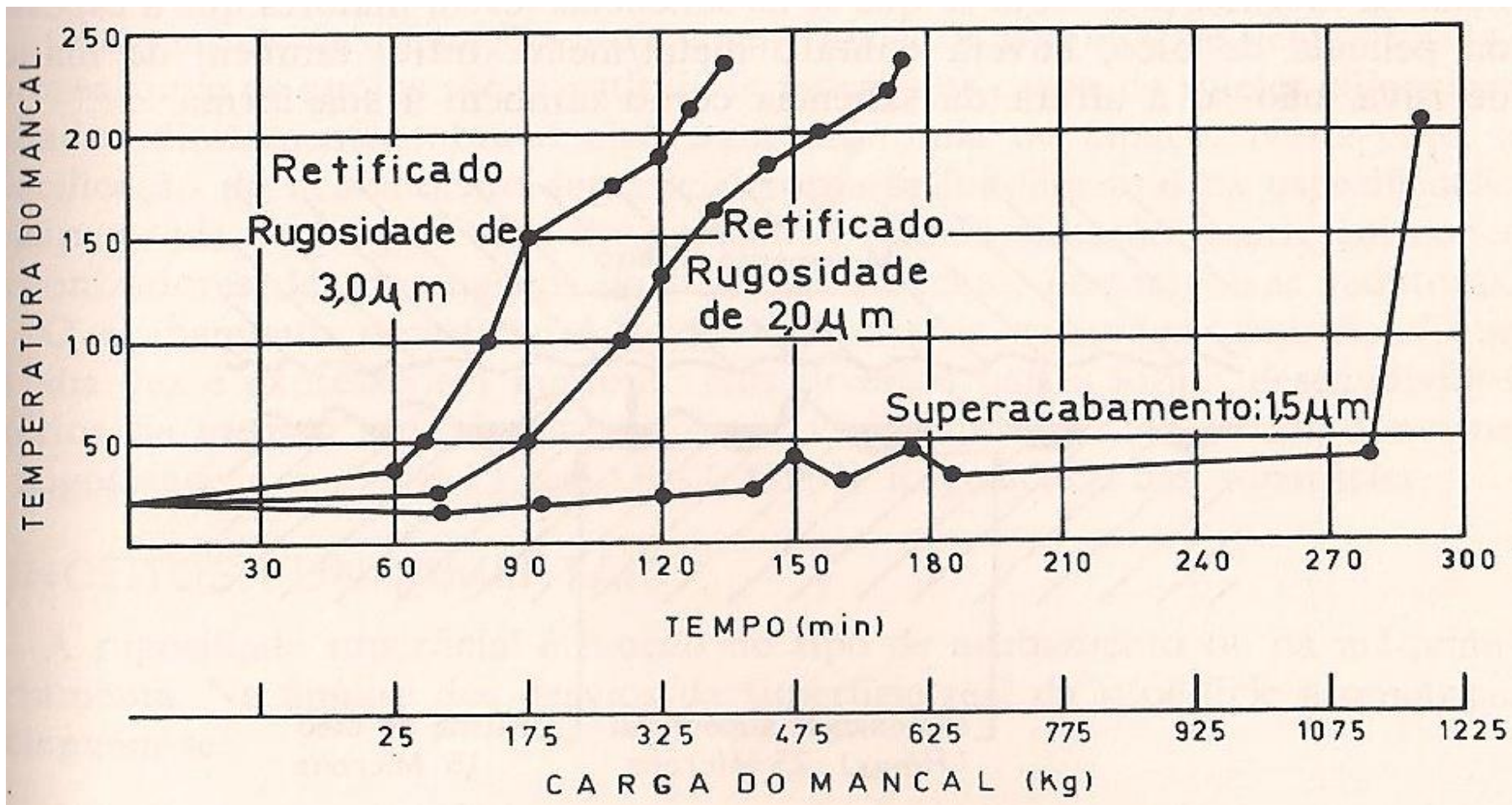


<https://www.youtube.com/watch?v=RfnoAFW2L2c>

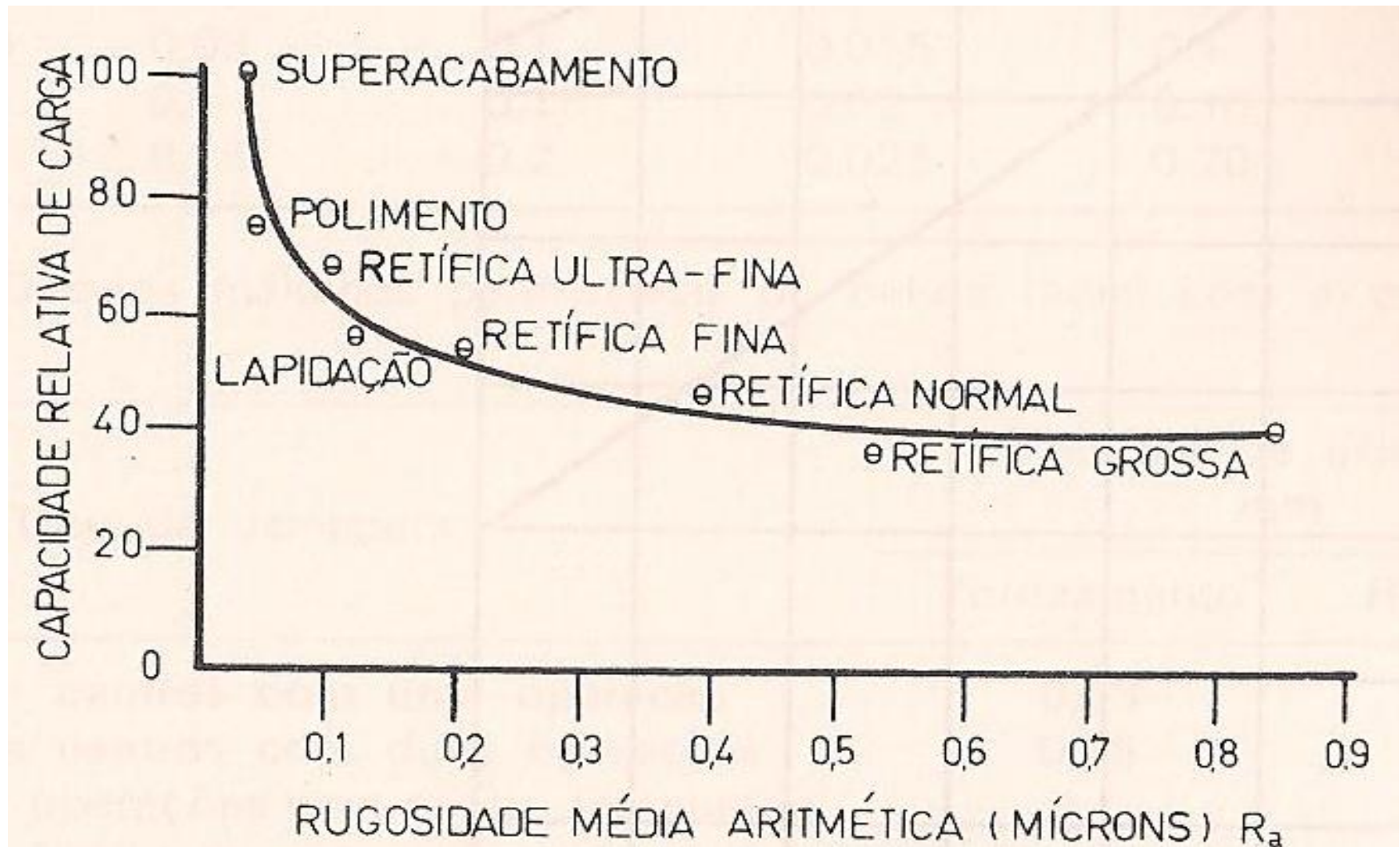
RESISTÊNCIA A FADIGA %



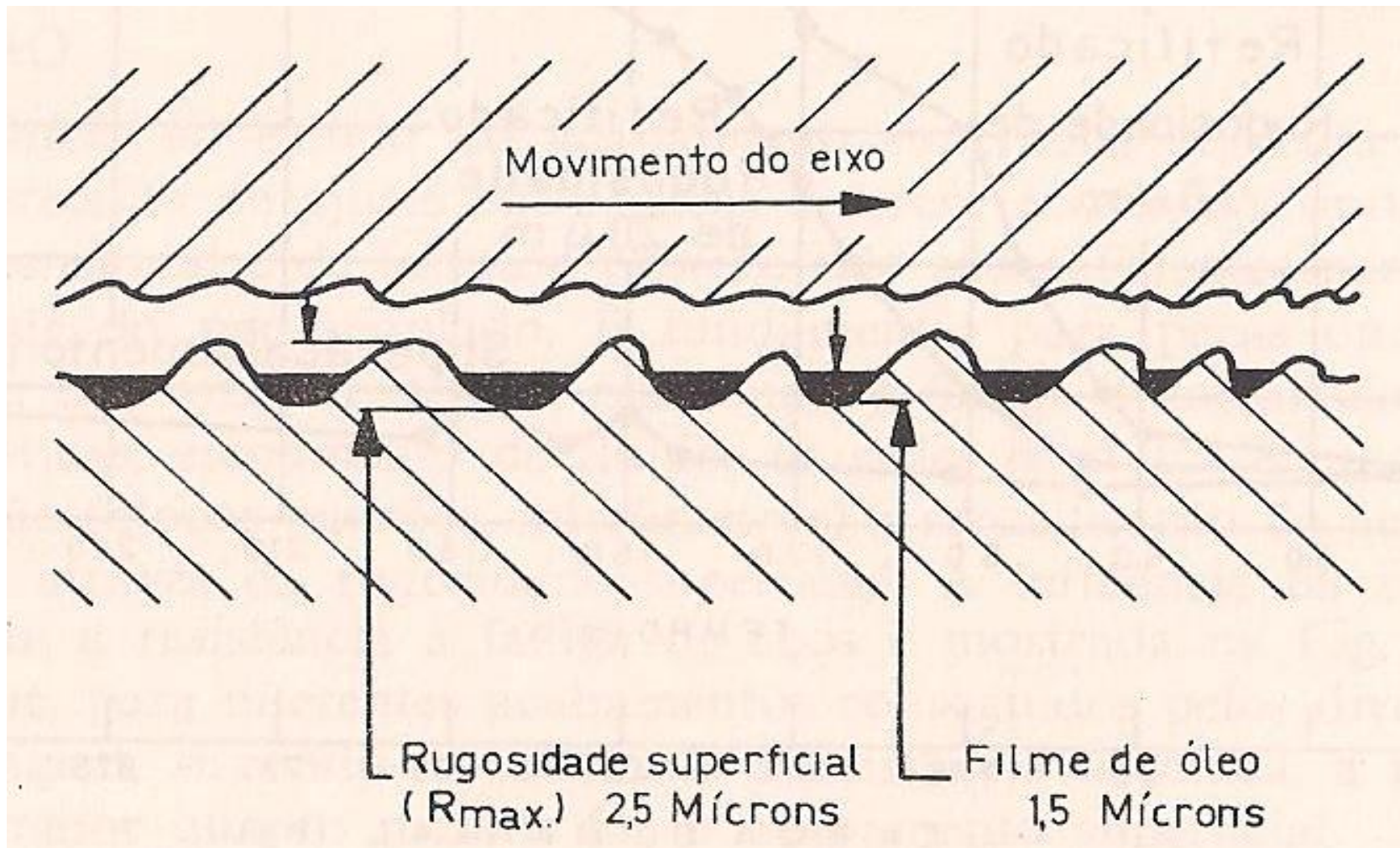
Influência da rugosidade superficial na Resistência à Fadiga para aços de diversas resistências à ruptura



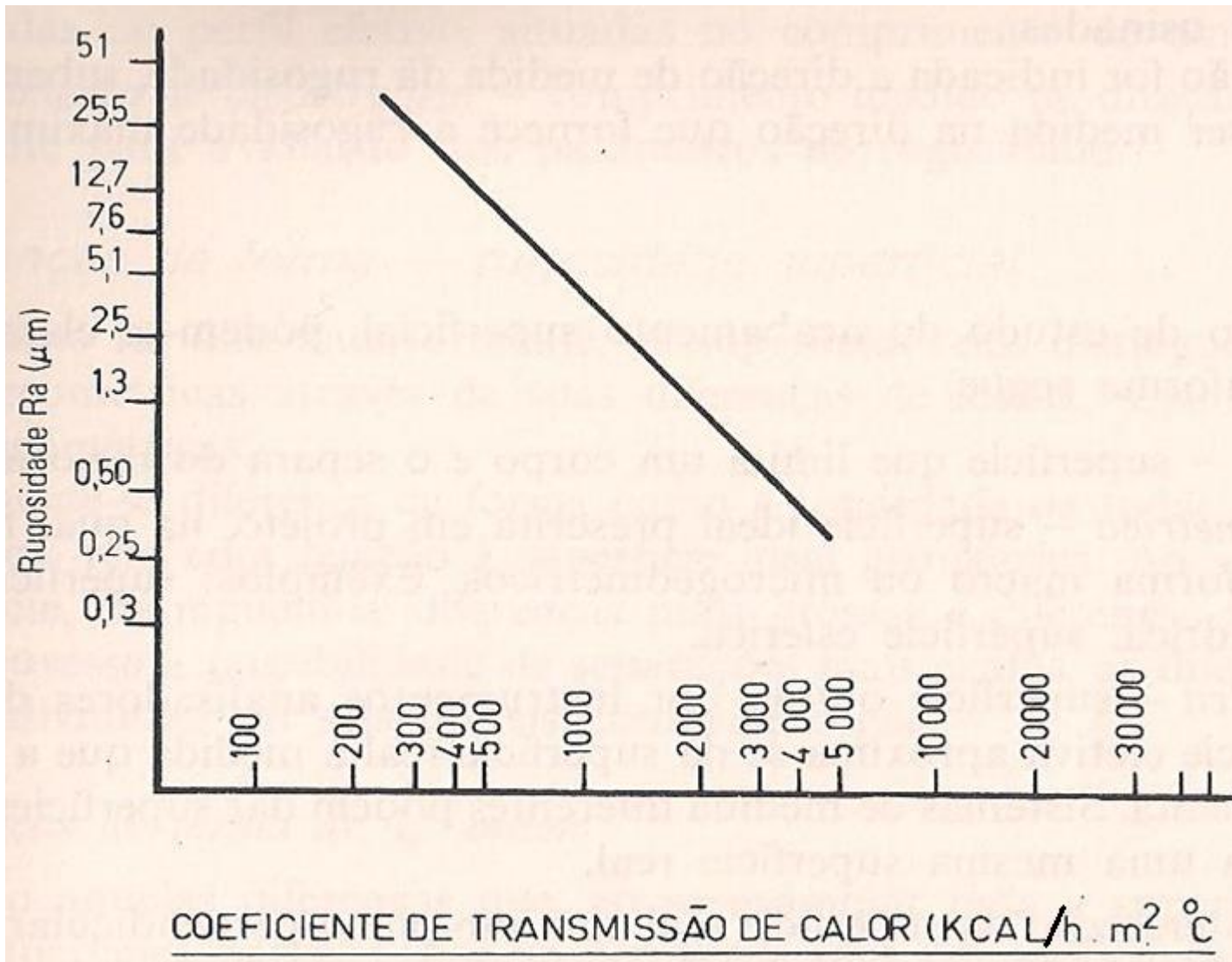
Influência da rugosidade superficial na vida e temperatura de funcionamento de mancais de deslizamento



Influencia da rugosidade superficial sobre a capacidade de carga de um mancal de deslizamento



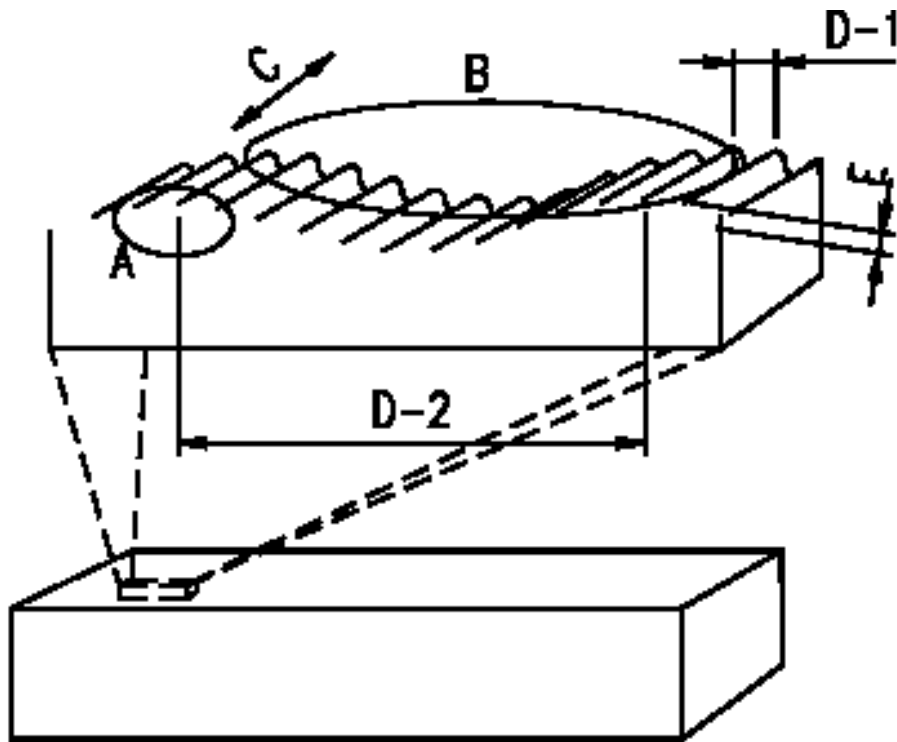
Influência da rugosidade superficial na lubrificação de duas peças ajustadas



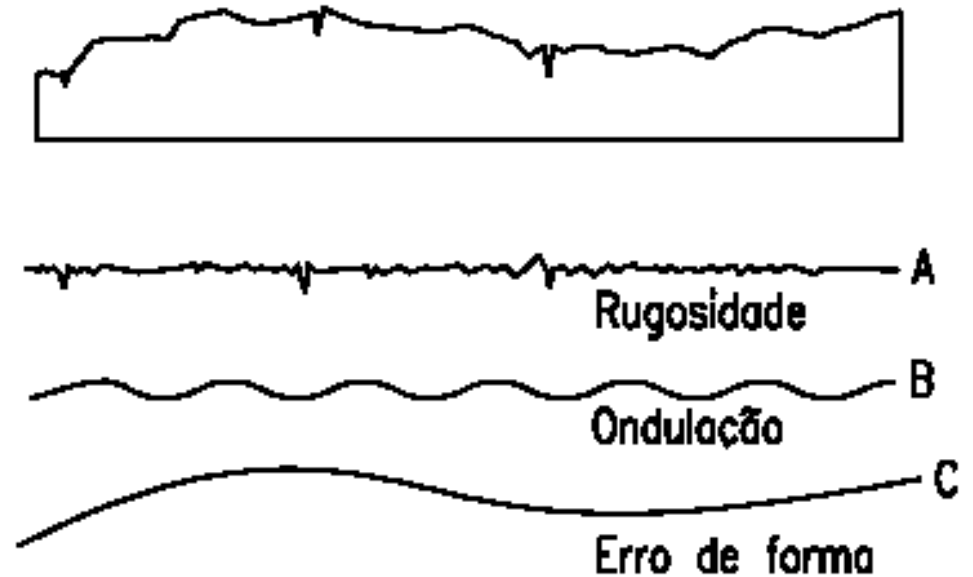
Influência da rugosidade superficial sobre o coeficiente de transmissão de calor

- **IMPORTÂNCIA:**

- resistência ao desgaste
- propriedades do ajuste (folga e/ou interferência)
- aparência
- qualidade da aderência que a superfície oferece às camadas protetoras superficiais



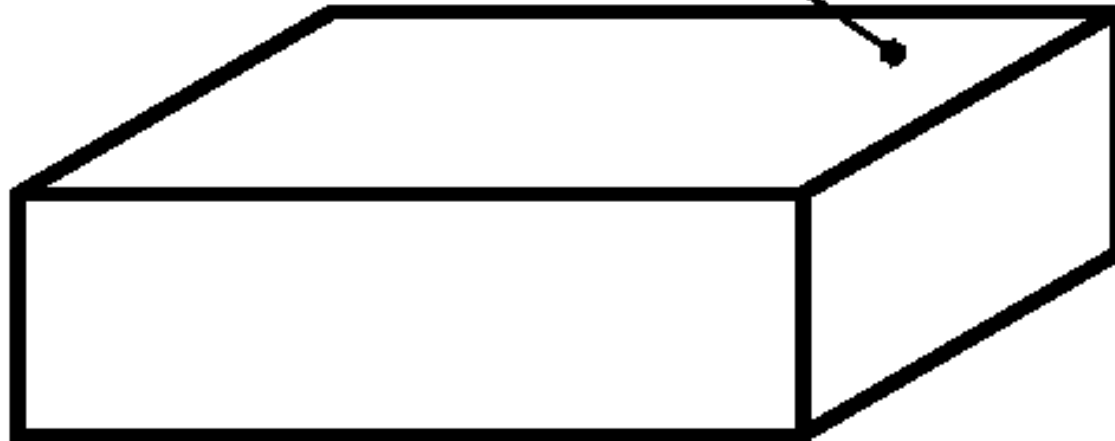
Elementos que compõe a superfície.



1. DEFINIÇÕES

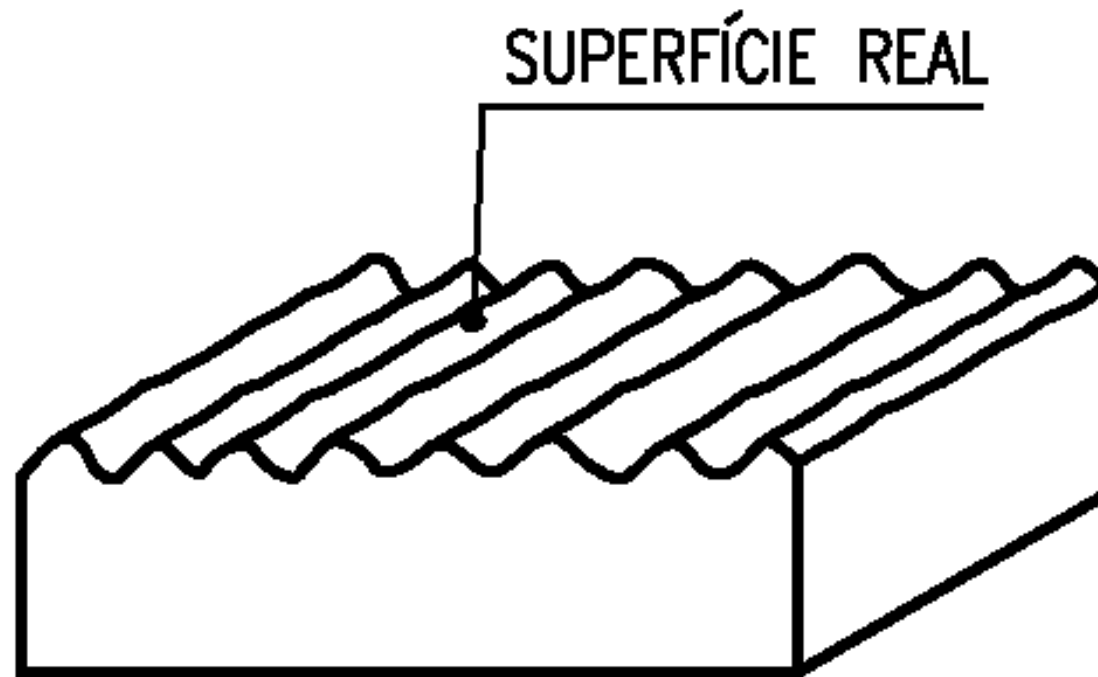
- A terminologia: NBR 6405/1988.
- **1.1 Superfície Geométrica:** é a superfície ideal prescrita no projeto, sem erros de forma.

SUPERFÍCIE GEOMÉTRICA



A superfície geométrica é, por definição, perfeita.

- **1.2 Superfície Real:** é a superfície resultante do processo empregado na fabricação da peça



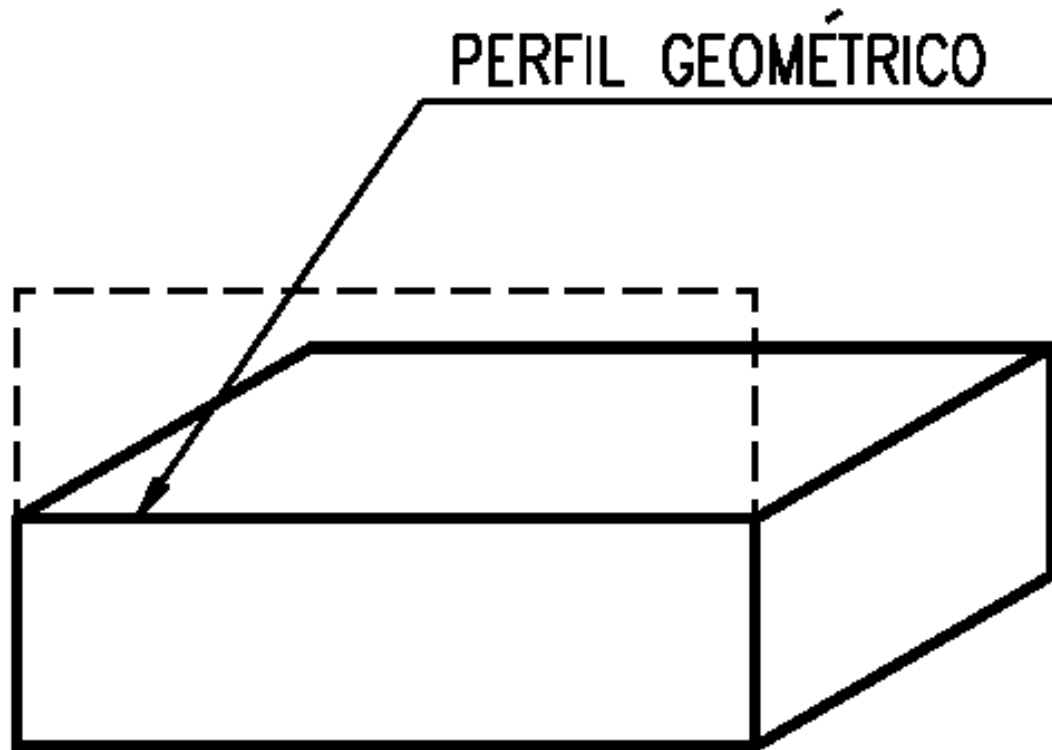
Superfície real, uma herança do método empregado na usinagem.

- **1.3 Superfície Efetiva:** é resultante do processo de medição da superfície real.



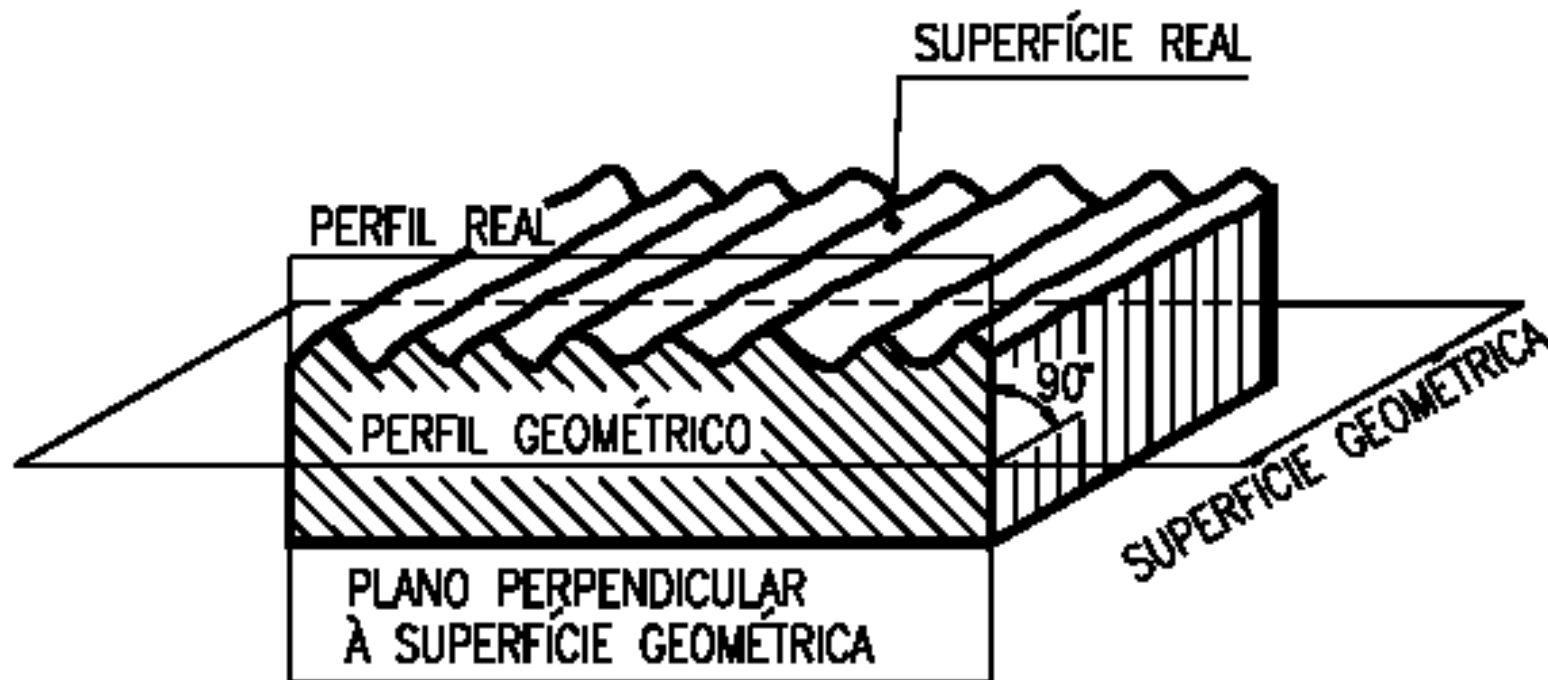
Superfície efetiva apresentada com ampliação por uma impressora.

- **1.4 Perfil Geométrico:** é representado pela aresta resultante da intersecção entre a superfície geométrica e um plano perpendicular a mesma.



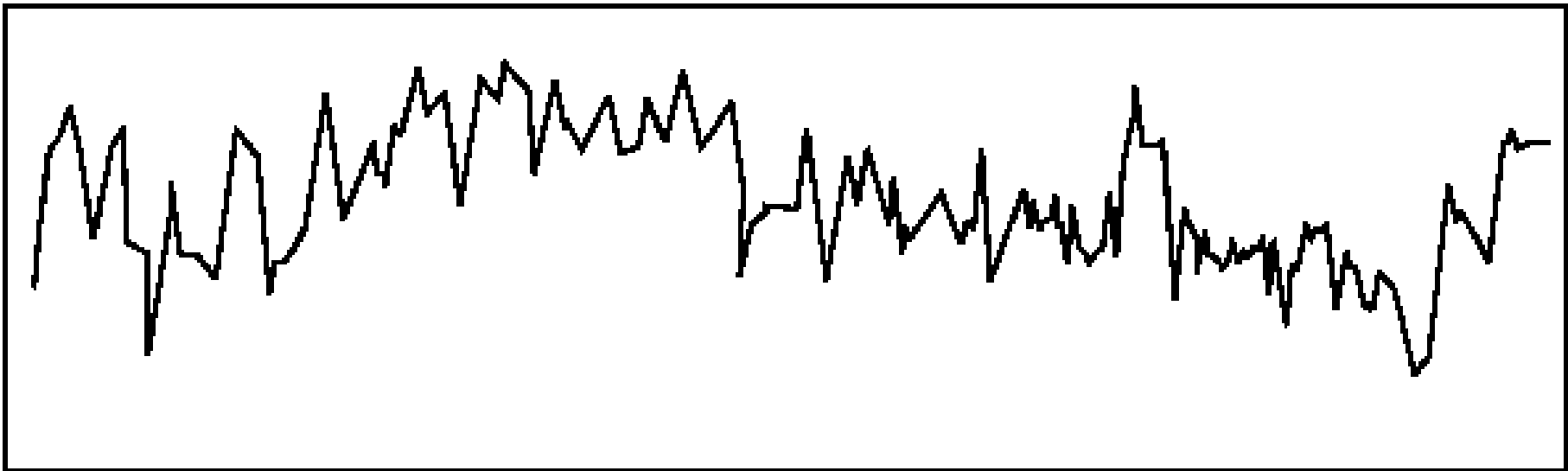
O perfil geométrico é, por definição, perfeito.

- **1.5 Perfil Real:** é representado pela linha resultante da intersecção entre a superfície real e um plano perpendicular a mesma.



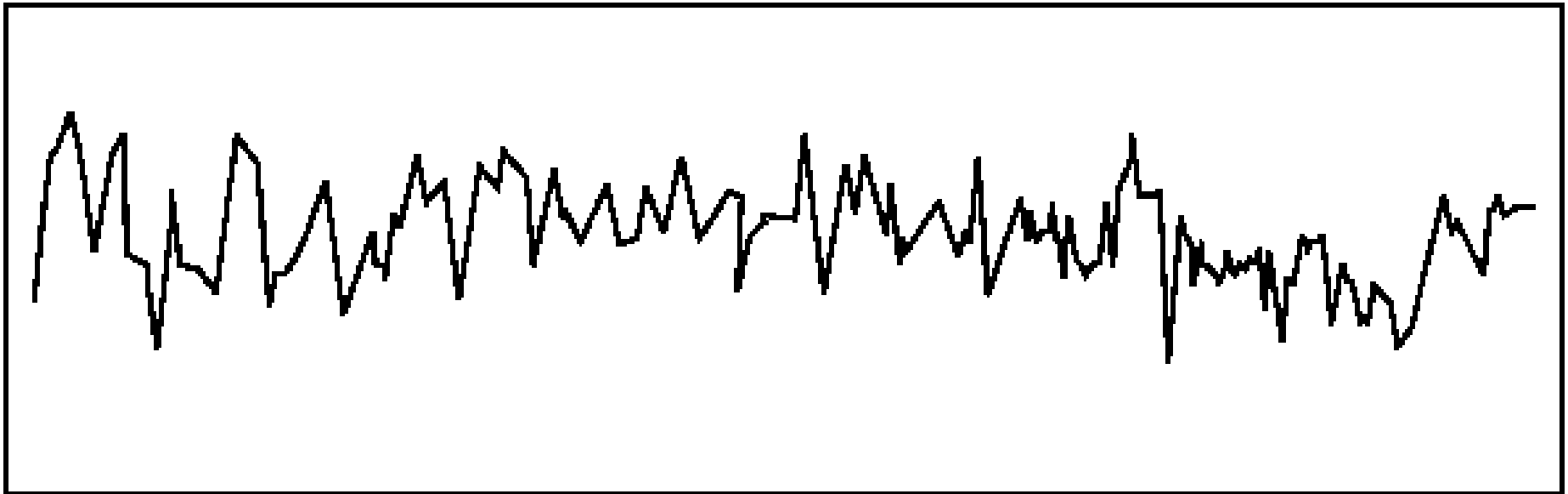
Perfil real, cortado por um plano perpendicular.

- **1.6 Perfil Efetivo:** imagem obtida do perfil real, através da aplicação de algum processo de medição.



Perfil efetivo, obtido com impressora de rugosímetro (sem filtrar ondulações).

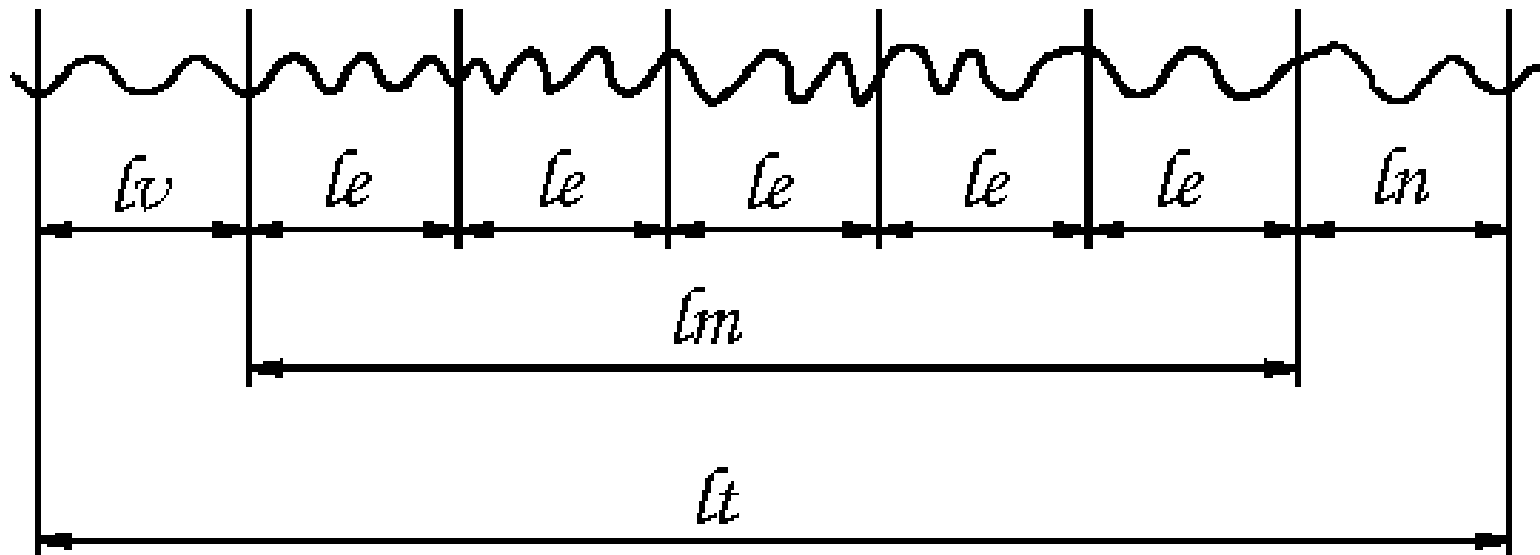
- **1.7 Perfil de Rugosidade:** imagem obtida a partir do perfil efetivo, através da aplicação de algum processo de filtragem da ondulação.



Perfil de rugosidade (após filtragem da ondulação).

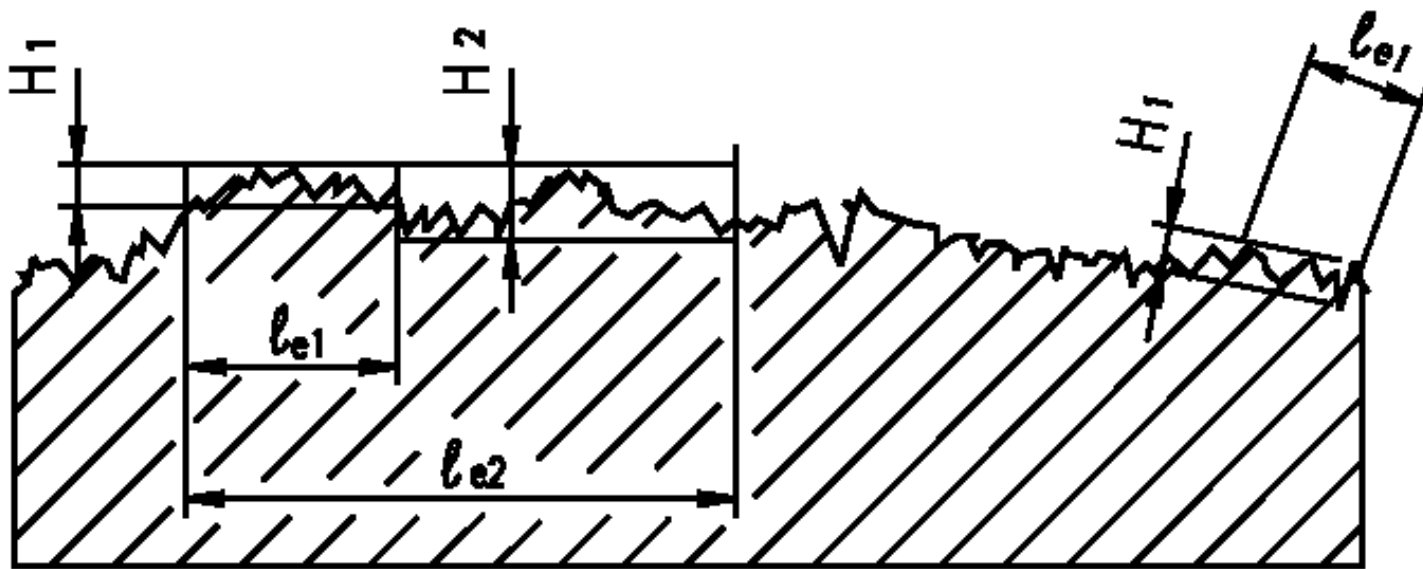
2. AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL

- Comprimento total de avaliação (l_m).
- Comprimentos de amostragem (l_e), (cut-off)
- Comprimento Total (l_t),



Comprimentos para avaliação da rugosidade

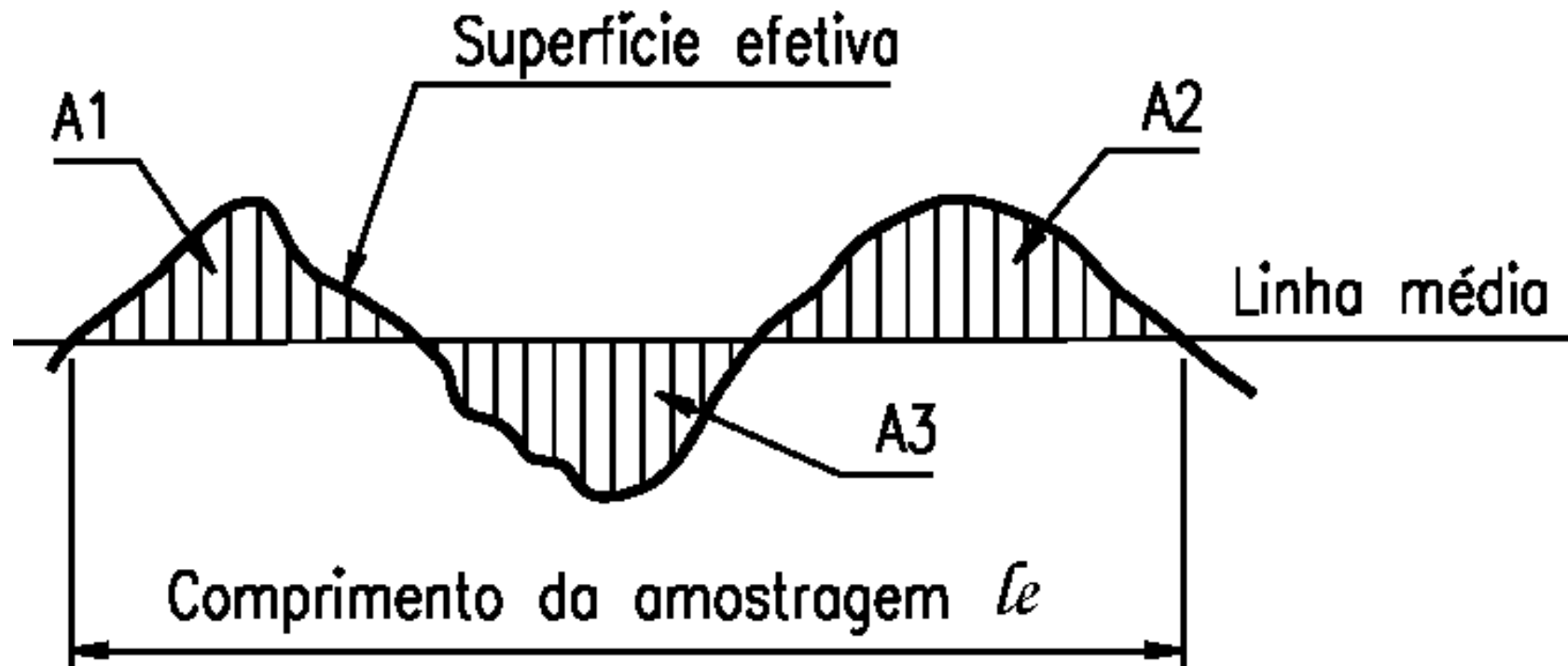
- O comprimento total de avaliação deve ser subdividido para evitar a influência dos desvios de forma na avaliação da rugosidade superficial



Rugosidade e ondulação

3. PARÂMETROS DE RUGOSIDADE SUPERFICIAL

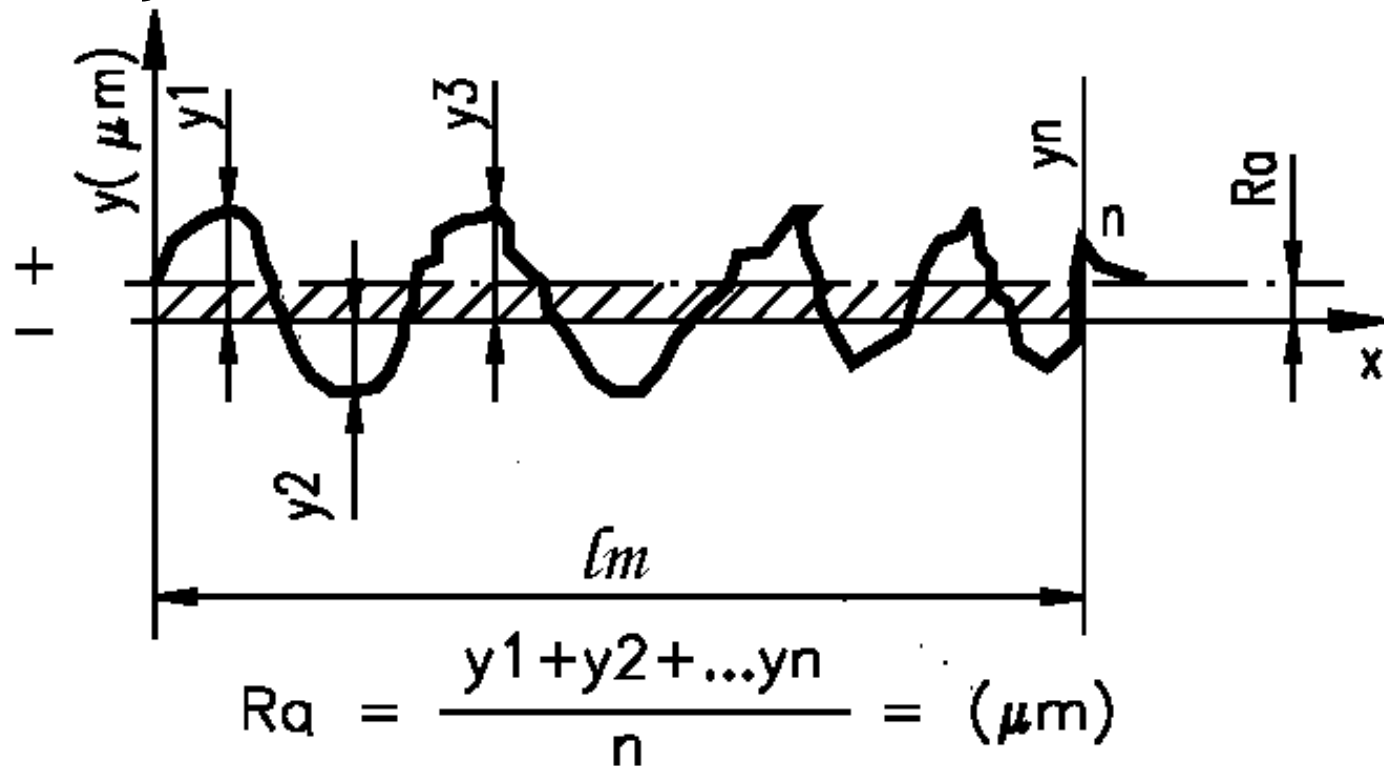
- Os valores são tomados em relação a **Linha média**
- Soma das áreas superiores = Soma das áreas inferiores, no comprimento de amostragem (l_e).
- $A_3 = A_1 + A_2$



3.1 Rugosidade Média (R_a)

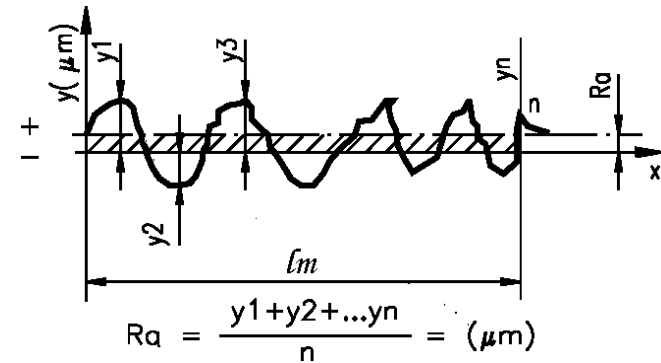
- É a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas do perfil efetivo em relação à linha média em um comprimento de medição.

$$R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |y| dx$$



Existe parâmetro semelhante ao R_a chamado CLA (Center Line Average) cuja unidade é a micro polegada ($1\mu\text{in} = 40\mu\text{m}$)²⁰

3.1 Rugosidade Média (R_a)

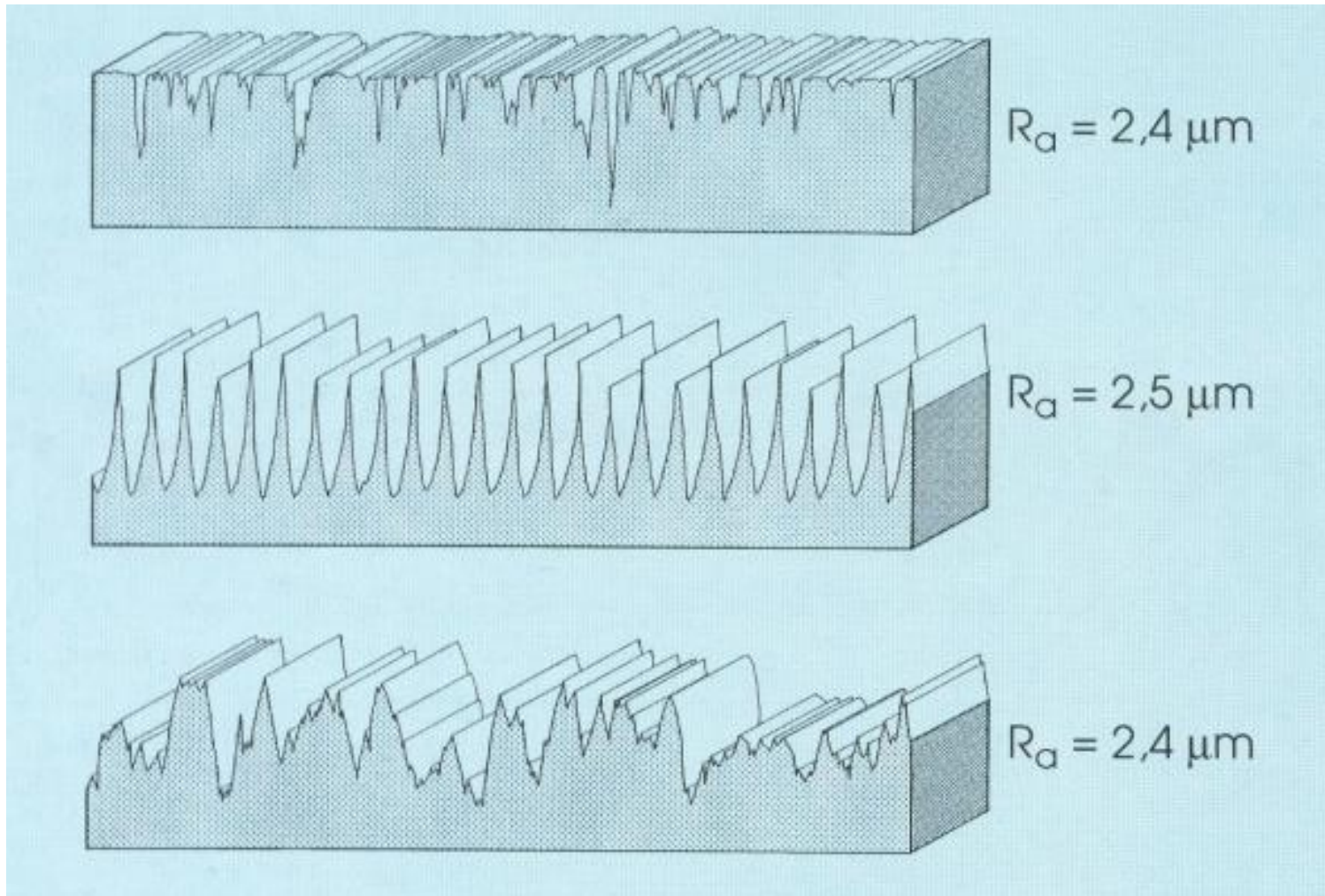


- Vantagens do Parâmetro R_a :
 - é o mais utilizado no mundo;
 - aplicável para avaliação de rugosidade de superfícies obtidas com a maioria dos processos de fabricação.

$$R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |y| dx$$

- Desvantagens do Parâmetro R_a :
 - impossibilidade de detecção da forma do perfil da rugosidade;
 - como o valor representa uma média, uma irregularidade atípica não causará grande influência na magnitude da média, portanto sua presença não será detectada por este parâmetro.

Ra- Limitações

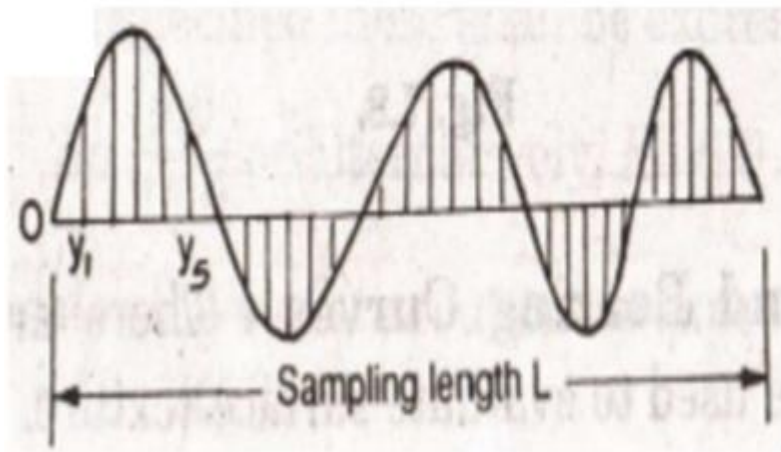


- Os valores da rugosidade R_a a serem empregados em projeto mecânico são normalizados, sendo os valores indicados para os mesmos apresentados na tabela abaixo:

0,008	0,040	0,20	1,00	5,0	25,0
0,010	0,050	0,25	1,25	6,3	32,0
0,012	0,063	0,32	1,60	8,0	40,0
0,016	0,080	0,40	2,00	10,0	50,0
0,020	0,100	0,50	2,50	12,5	63,0
0,025	0,125	0,63	3,20	16,0	80,0
0,032	0,160	0,80	4,00	20,0	100,0

Rugosidade RMS (Rq)

Desvio Aritmético Quadrático



$$Rq = \sqrt{\frac{y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2}{n}}$$

$$Rq = \sqrt{\left[\int_0^L y^2 dl \right]}$$

É a raiz quadrada da média da soma dos quadrados dos valores das ordenadas do perfil efetivo em relação à linha média em um comprimento de medição.

O valor da rugosidade RMS em μ polegada (μ in) é normalmente 1.1 x 40 vezes a rugosidade Ra em μ m

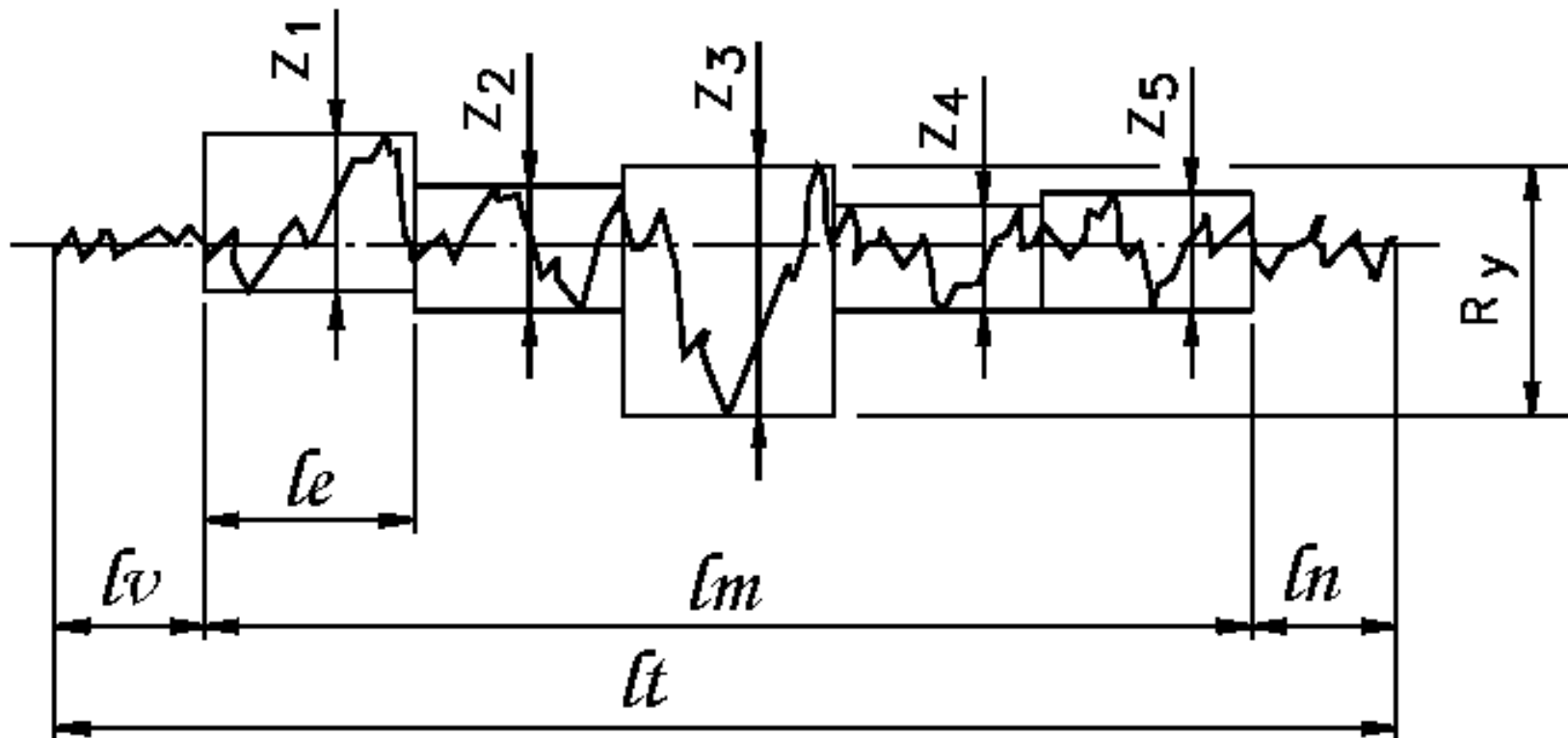
Tabela de Equivalência de Rugosidades

Ra (μm)	Ra (μin)	CLA (μin)	RMS (μin)
0.025	1	1	1.1
0.05	2	2	2.2
0.1	4	4	4.4
0.2	8	8	8.8
0.4	16	16	17.6
0.8	32	32	32.5
1.6	63	63	64.3
3.2	125	125	137.5
6.3	250	250	275
12.5	500	500	550
25	1000	1000	1100
50	2000	2000	2200

$\mu\text{m} = 40 \mu\text{in}$

3.2 Rugosidade Máxima (R_y)

- É definida como o maior valor do conjunto das rugosidades máximas, cada qual associada a um dos comprimentos de amostragem que compõem o comprimento total de avaliação.



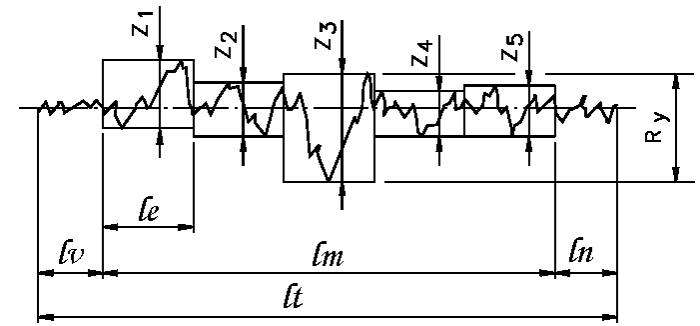
3.2 Rugosidade Máxima (R_y)

- Vantagens do parâmetro R_y :

- informa sobre a máxima deterioração da superfície do material em um comprimento de amostragem;
- fornece informações complementares ao parâmetro R_a .

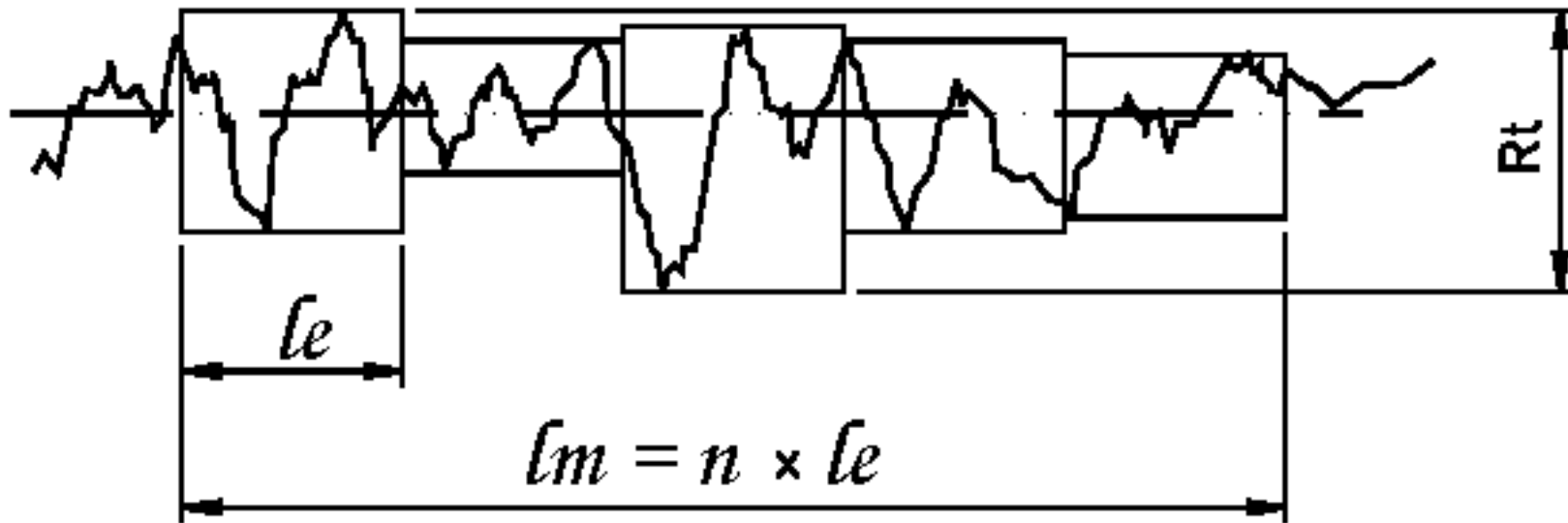
- Desvantagens do Parâmetro R_y :

- nem todos os equipamentos de medição fornecem este parâmetro;
- pode dar uma imagem errada da condição da superfície, pois avalia erros que muitas vezes não representam a superfície como um todo.



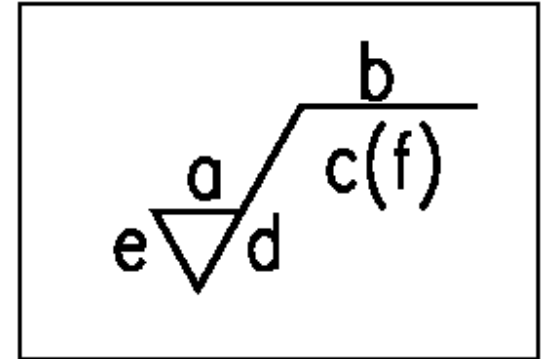
3.3 Rugosidade Total (R_t)

- Corresponde à distância vertical entre o pico mais alto e o vale mais profundo no comprimento total de avaliação (l_m).



- O valor de R_t é mais rígido que o de R_y , pois considera todo o comprimento de avaliação e não apenas o comprimento de amostragem.

4. REPRESENTAÇÃO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL EM DESENHO TÉCNICO MECÂNICO



- ABNT - NBR 8404
- **4.1 Simbologia**

a = valor da rugosidade R_a , em μm , ou classe de rugosidade N1 até N12

b = método de fabricação, tratamento ou revestimento

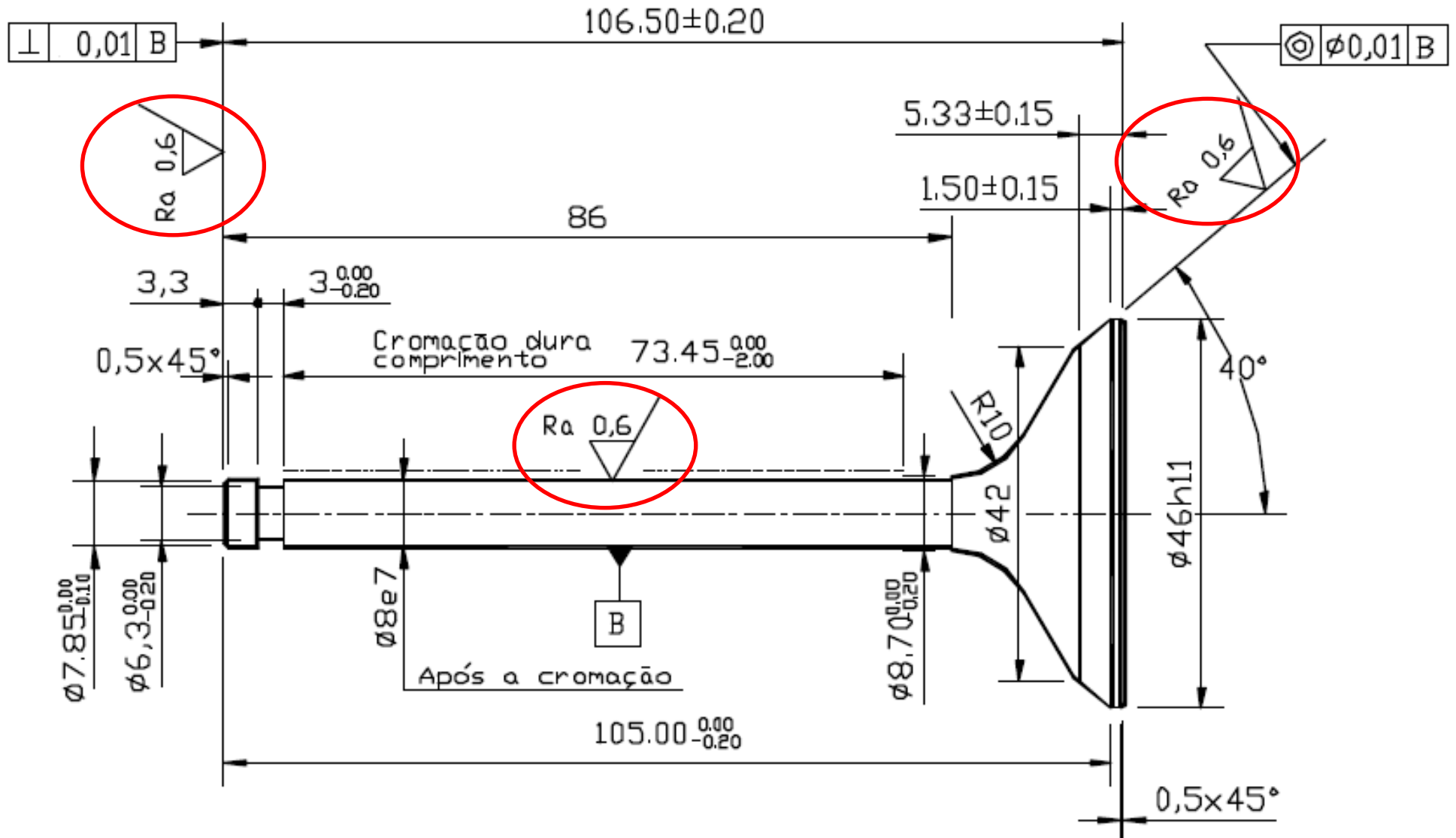
c = comprimento de amostragem

d = direção de estrias

e = sobremetal para usinagem, em milímetro

f = outros parâmetros de rugosidade (entre parênteses)

Desenho de fabricação de válvula de motor de combustão interna



CLASSE DE RUGOSIDADE	RUGOSIDADE RA (μm)
N12	50
N11	25
N10	12,5
N9	6,3
N8	3,2
N7	1,6
N6	0,8
N5	0,4
N4	0,2
N3	0,1
N2	0,05
N1	0,025

SÍMBOLO

A remoção do material é:

facultativa

exigida

não permitida

3,2
▽
ou
N8
▽

3,2
▽
ou
N8
▽

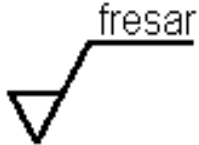
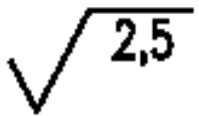

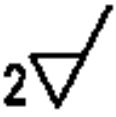
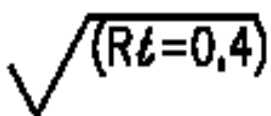
3,2
▽
ou
N8
▽

6,3
1,6
▽
ou
N9
N7
▽

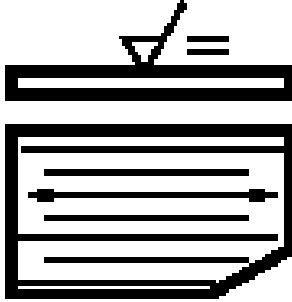
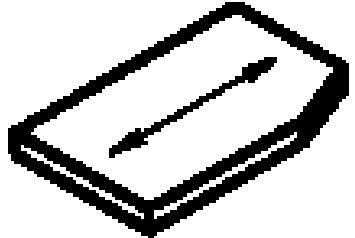
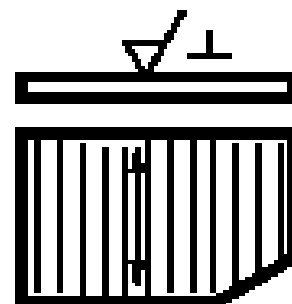
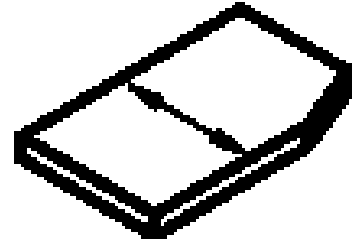
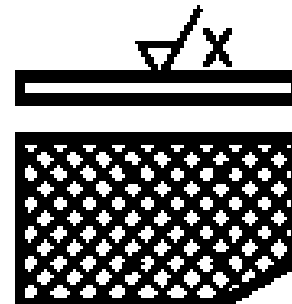
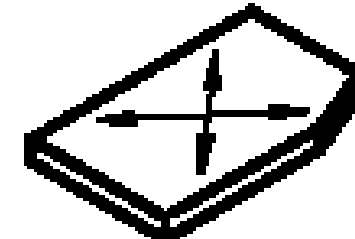
6,3
1,6
▽
ou
N9
N7
▽

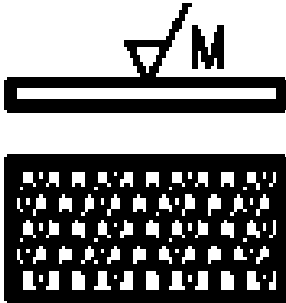
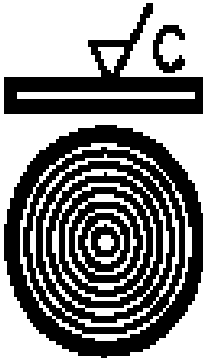
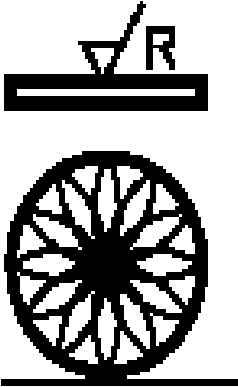
6,3
1,6
▽
ou
N9
N7
▽

SÍMBOLOS COM INDICAÇÕES COMPLEMENTARES









SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Processo de fabricação: fresamento
	Comprimento de amostragem (cut off) = 2,5 mm
	Direção das estrias: perpendicular ao plano de projeção da vista
	Sobremetal para usinagem = 2 mm
	Indicação, entre parênteses, de um outro parâmetro para definição da rugosidade, neste caso, $R_t = 0,4 \mu\text{m}$.

Símbolos para direção das estrias

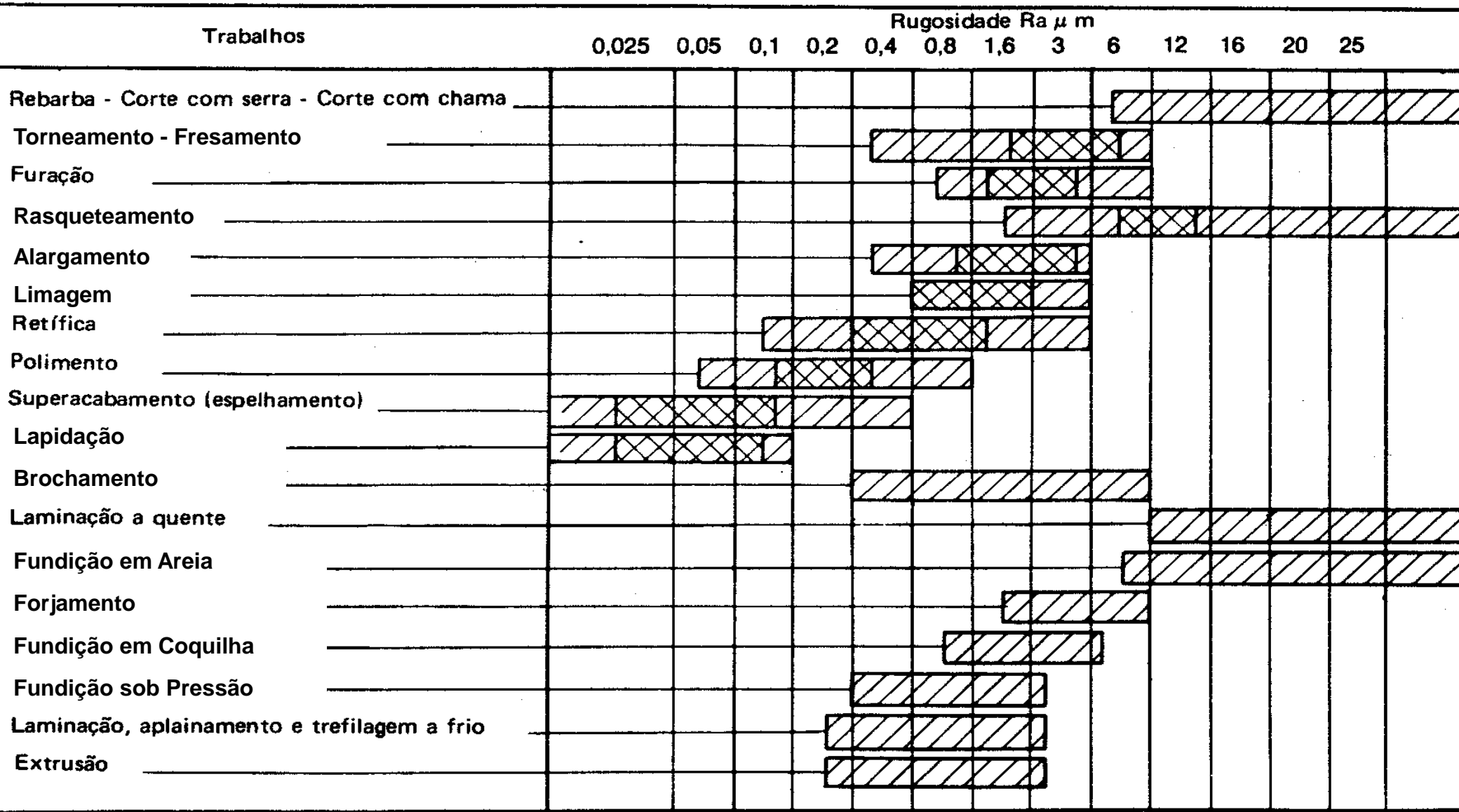
Símbolo	Interpretação		
<p>=</p>	<p>Paralela ao plano de projeção da vista sobre a qual o símbolo é aplicado.</p>		
<p>⊥</p>	<p>Perpendicular ao plano de projeção da vista sobre a qual o símbolo é aplicado.</p>		
<p>X</p>	<p>Cruzadas em duas direções oblíquas em relação ao plano de projeção da vista sobre a qual o símbolo é aplicado.</p>		

<p>M</p>	<p>Muitas Direções</p>	
<p>C</p>	<p>Aproximadamente central em relação ao ponto médio da superfície ao qual o símbolo é referido.</p>	
<p>R</p>	<p>Aproximadamente radial em relação ao ponto médio da superfície ao qual o símbolo é referido.</p>	

4.2 RELAÇÃO ENTRE SIMBOLOGIA ANTIGA E ABNT

	ANTIGA		ABNT	
Sinais gráficos			Ra	≈ 12 μm
			Ra	≈ 3 μm
			Ra	≈ 0,8 μm
Sinal gráfico obtido por extrapolação			Ra	≈ 0,2 μm

5. RELAÇÃO ENTRE RUGOSIDADE SUPERFICIAL E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO



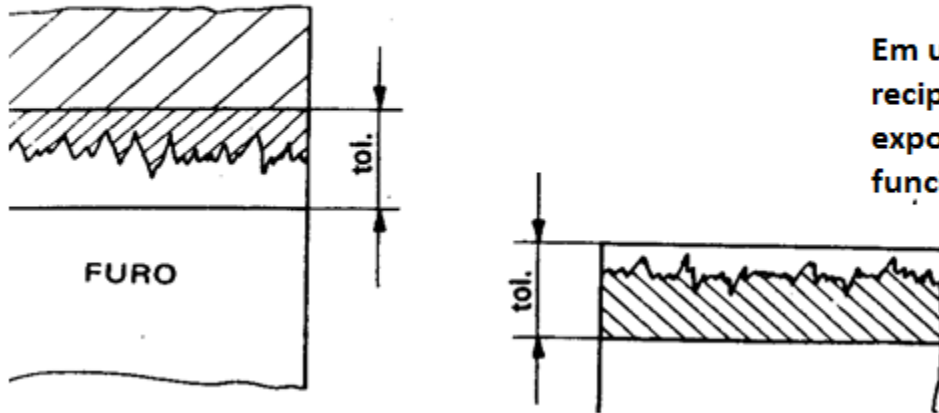
Rugosidade mais freqüente



Rugosidade menos freqüente

6. RELAÇÃO ENTRE RUGOSIDADE SUPERFICIAL E TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS

Tolerâncias ISO	Grupos de dimensões (mm)									
	≤ 3		> 3 ≤ 18		> 18 ≤ 80		> 8 ≤ 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	—



Em um ajuste com jogo, no qual eixo e furo devam mover-se reciprocamente, as superfícies com rugosidade acentuada estarão expostas a desgaste rápido que fará variar as características funcionais do ajuste estabelecido.

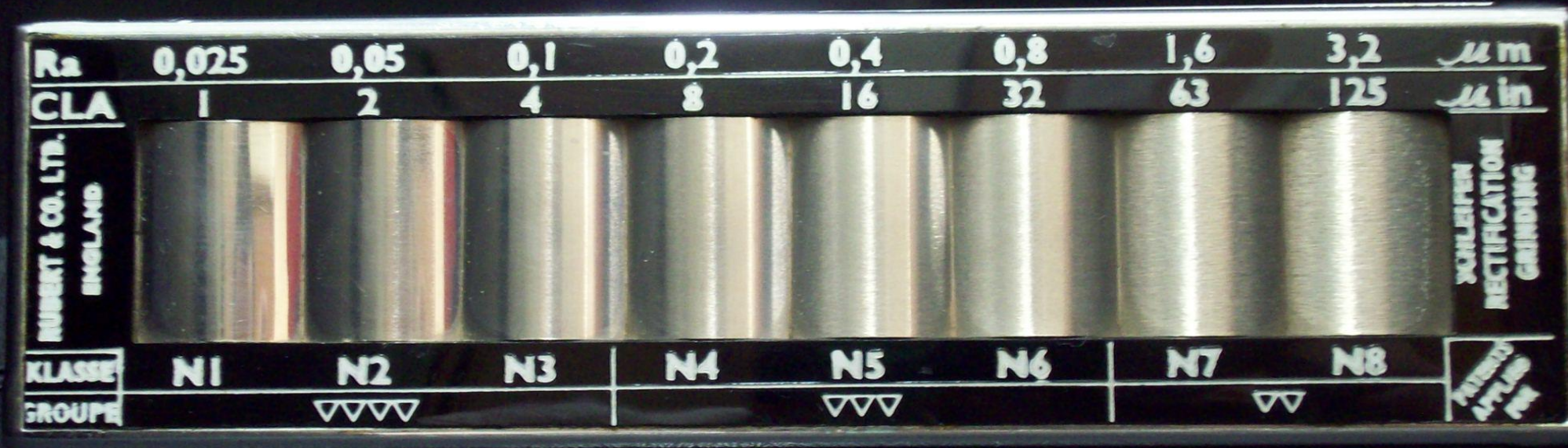
- $Ra = IT/30$ (prático, sem base teórica)

7. RUGOSIDADE INDICADA PARA PROJETO

Rugosidade Ra μm	APLICAÇÕES (a título de indicação)
0,025	Plano de apoio de micrômetro - Espelhos - Blocos de apoio.
0,05	Faces de calibres de oficina - Planos de apoio comparadores.
0,1	Faces de calibradores a cursor - Eixos de articulação - Ferramentas de precisão - Mancais superacabados - Acoplamentos estanques a alta pressão em movimento alternado - Superfícies acopladas de partes em movimento alternado, de retenção de líquido sob pressão - Superfícies polidas de retenção sem guarnição.
0,2	Suportes eixos e eixos com cames - Mancais de hieia - Haste de válvula - Superfícies de cames - Diâmetro de cilindros de bombas hidráulicas - Mancais polidos - Eixos de turbinas - Acoplamentos estanques móveis manuais - Guias de quadros de máquinas-ferramentas - Suportes de Mancais a alta velocidade - Mancais de eixos de rotores de turbinas, de redutores, etc.
0,4	Eixos entalhados - Mancais de eixos motor - Diâmetro externo de pistões - Diâmetros de cilindros - Eixos de grandes máquinas elétricas - Acoplamentos de prensa - Sedes de válvulas - Superfícies de retenção de serras e obturadores de válvulas, comportas, etc. - Mancais de eixos a gomos e cargas de linhas de eixos - Mancais de metal branco - Superfícies de partes deslizantes, como patins e guias respectivas.
0,8	Tambores de freios - Furos polidos - Mancais de bronze - Partes de precisão - Dentes de engrenagens - Mancais retificados - Superfícies de retenção de flanges sem guarnições - Mancais de eixos em gomos - Mancais de metal branco - Superfícies de partes deslizantes, como patins e guias respectivas.
1,6	Faces características de engrenagens - Eixos e furos de engrenagens - Cabeça de cilindro - Caixa de engrenagens - Faces de pistões - Superfícies de retenção de flange com guarnições.
3	Eixos e Mancais para transmissão manual - Superfícies de acoplamento de partes fixas desmontáveis (flanges de acopladores, batentes de centralização, etc).
6	Superfícies de retenção de flanges com guarnições comuns.

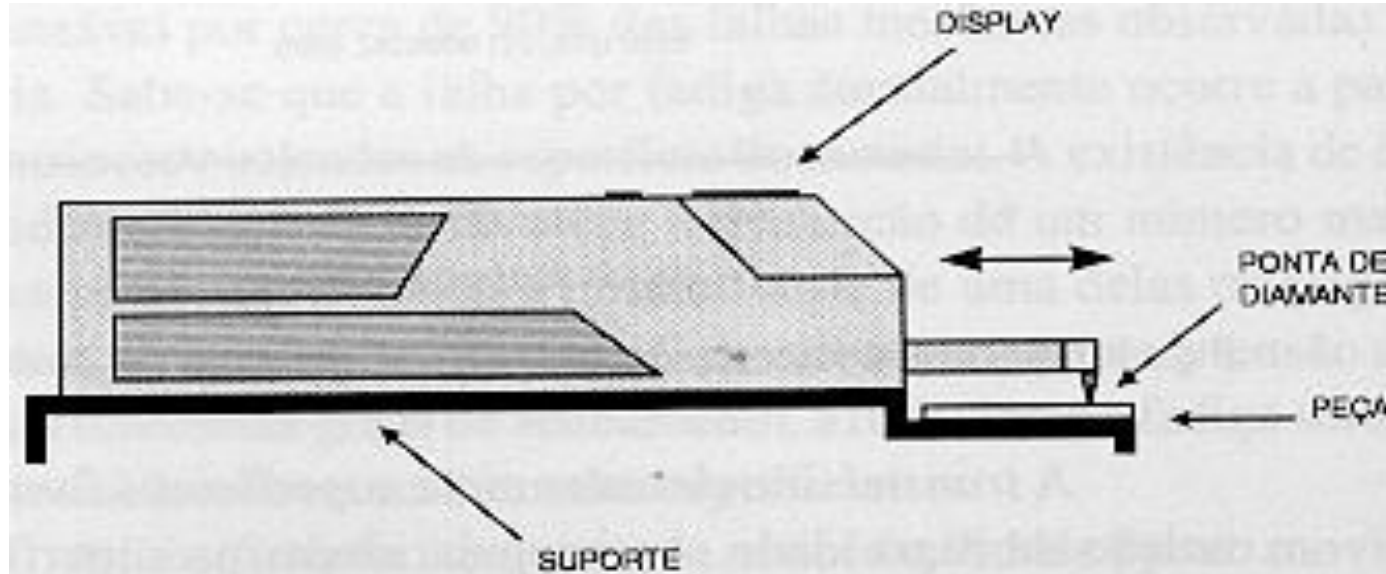
Rugosidade Superficial

Retificação



10/03/2010

8. INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE RUGOSIDADE SUPERFICIAL

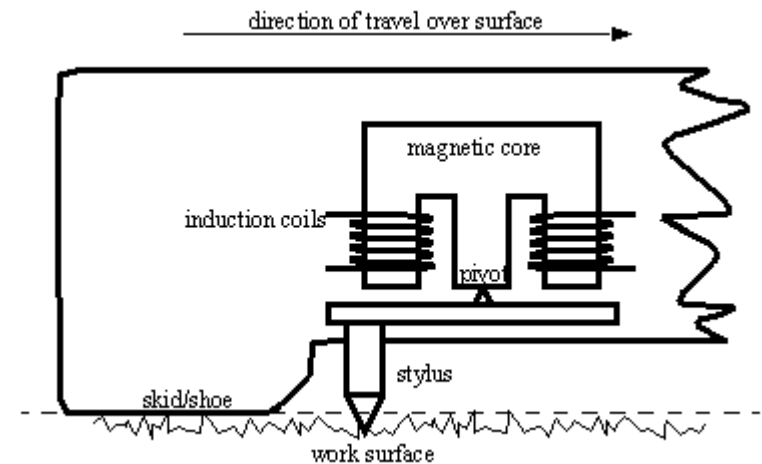
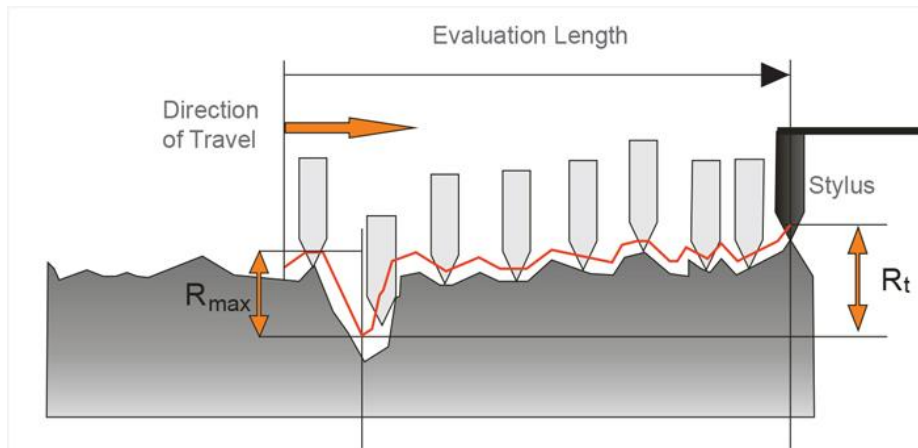


Rugosímetro de Contato Portátil

Parâmetros de Rugosidade Rz e Rp ?

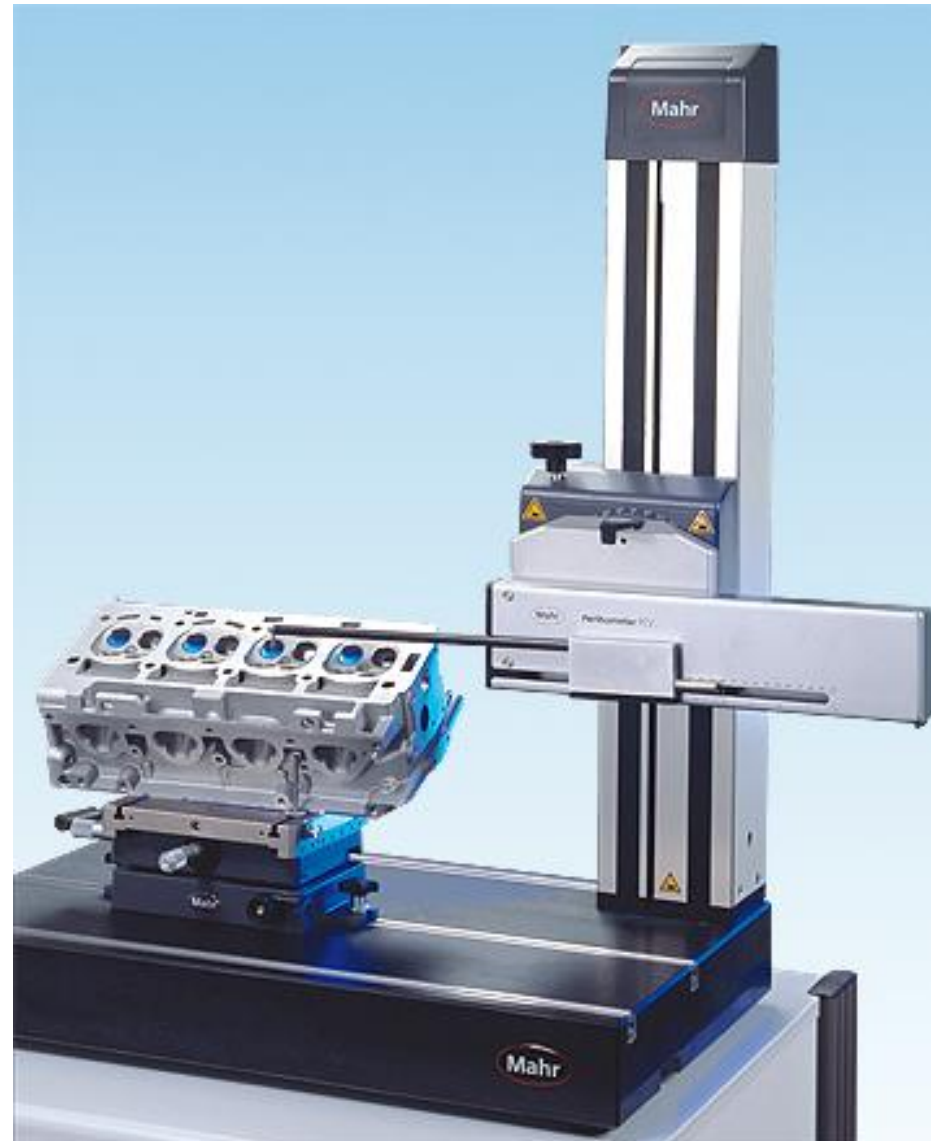


Rugosímetro de Contacto de Bancada

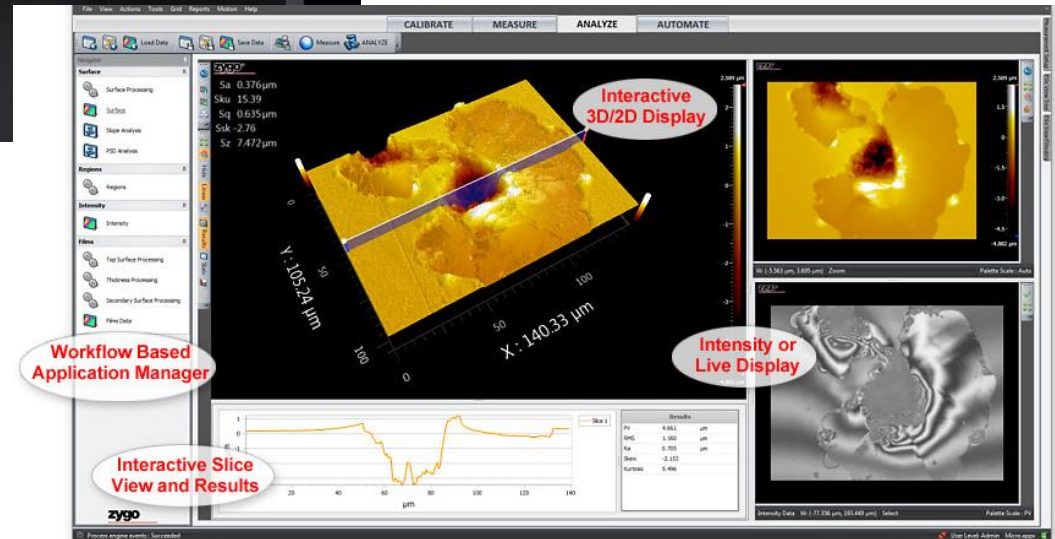


8. INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE RUGOSIDADE SUPERFICIAL

Rugosímetro
de Contato de
Bancada



Medição de Rugosidade sem contato (Escaneamento Ótico)



9. Aplicações Avançadas

Espelho do Telescópio Herschel - ESA



Rugosidade (RMS):

Inicial = $170 \mu\text{m}$

Intermed.= $1,5 \mu\text{m}$

Final: 30 nm

Diâmetro= $3,5 \text{ m}$

Material: SiC

Peso: 240 Kg

Espessura: 3 mm

***Limites tecnológicos
atuais: 20 A***

(1A=0,0001 μm)

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agostinho, L.O. Tolerâncias , ajustes, desvios e análise de dimensões, Ed. Edgard Blücher, 1990.

Manfé G. et alii, “Desenho Técnico Mecânico” -, Editora Hemus, 3 vols, 1993.

Senai, “Telecurso 2000 – Mecânica”, Editora Globo, 1996

<http://www.infometro.hpg.ig.com.br>

<http://www.infometro.hpg.ig.com.br>

<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/index.html>

NBR ISO 4287 Set. 2002 e NBR ISO 4288: 2008