



Caracterização de Texturas de Superfícies

1 – Metrologia das Superfícies

**2 – Processo de Manufatura e
Controle de Qualidade**

3 – Desenvolvimento Histórico

4 – Métodos de Medição

5 – Parâmetros

Metrologia das Superfícies

- **Caracterização de Superfícies**
- **Processo de Manufatura**
 - **Controle**
 - **Monitoramento**
- **Controle de Qualidade**

1 - Metrologia das Superfícies

Caracterização

Caracterização de Superfícies

Separação:

Erros de Forma

Ondulação

Rugosidade



Class 1: Shape deviations



Class 2: Waviness



Class 3: Roughness



Class 4: Roughness



2 – Rugosidade e o Processo de Manufatura

Objetivos da Medição

Controle do Processo

- **Controle adaptativo**
- **Rápido – sem intervenção do operador**
- **Informação específica**
- **Controlar a condição de trabalho**

Monitoramento do Processo

- **Controle Estatístico**
- **Informação agrupada**
- **Gravar e julgar**
- **Assegurar a conformidade**

Qualidade Total

- **Rastreabilidade (Monitoramento da Máquina-Ferramenta)**
- **Toda a geometria da superfície**
- **Julgamento funcional**
- **Assegurar a qualidade do projeto (Função)**

2 – Rugosidade e o Processo de Manufatura

Objetivos da Medição

FUNÇÃO

- **Contato**
- **Adesão**
- **Rigidez**
- **Condutividade**

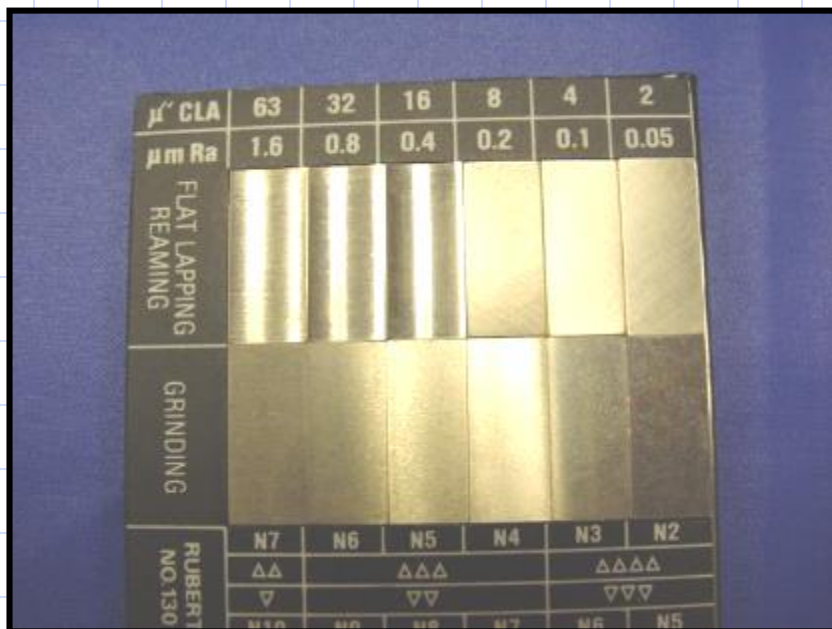
- **Atrito**
- **Lubrificação**

- **Desgaste**
- **Fadiga**

- **Estética**

3 – Desenvolvimento Histórico

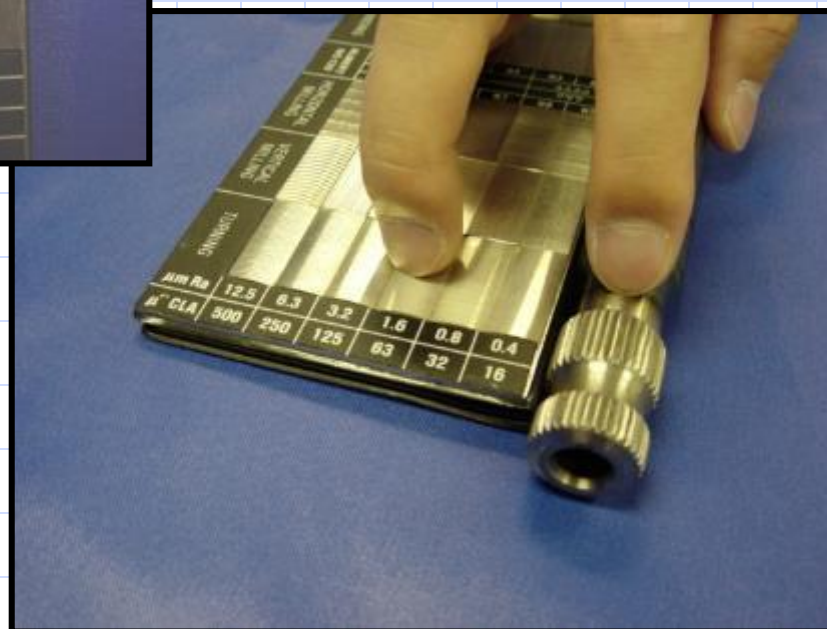
Instrumentos de Medição



Inspeção

Tato

Visão



3 – Desenvolvimento Histórico

Instrumentos de Medição



William Taylor

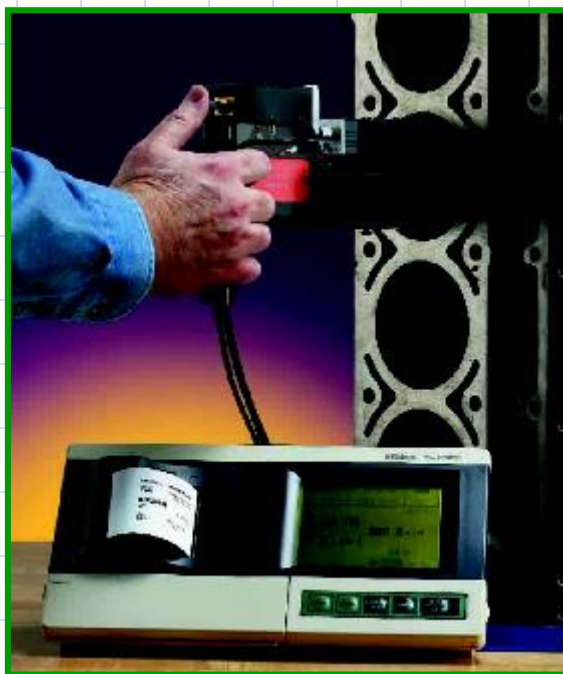
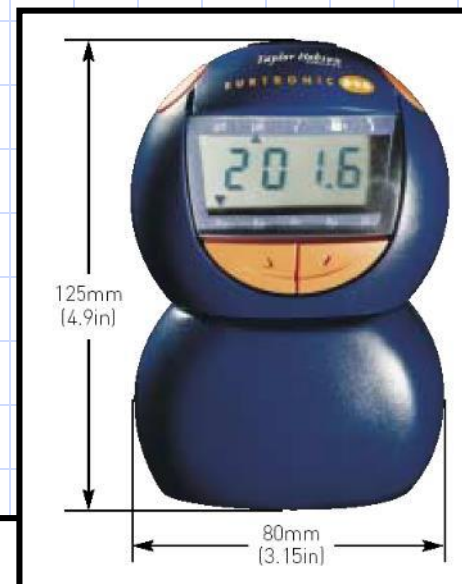
1886 – Taylor Robson

Rugosímetro
Talysurf 1 (1941)



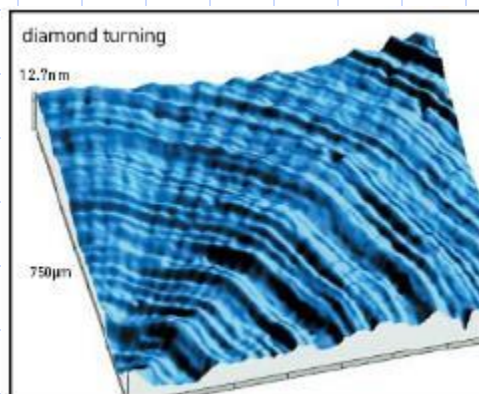
3 – Desenvolvimento Histórico

Instrumentos de Medição



3 – Desenvolvimento Histórico

Instrumentos de Medição



3 – Desenvolvimento Histórico

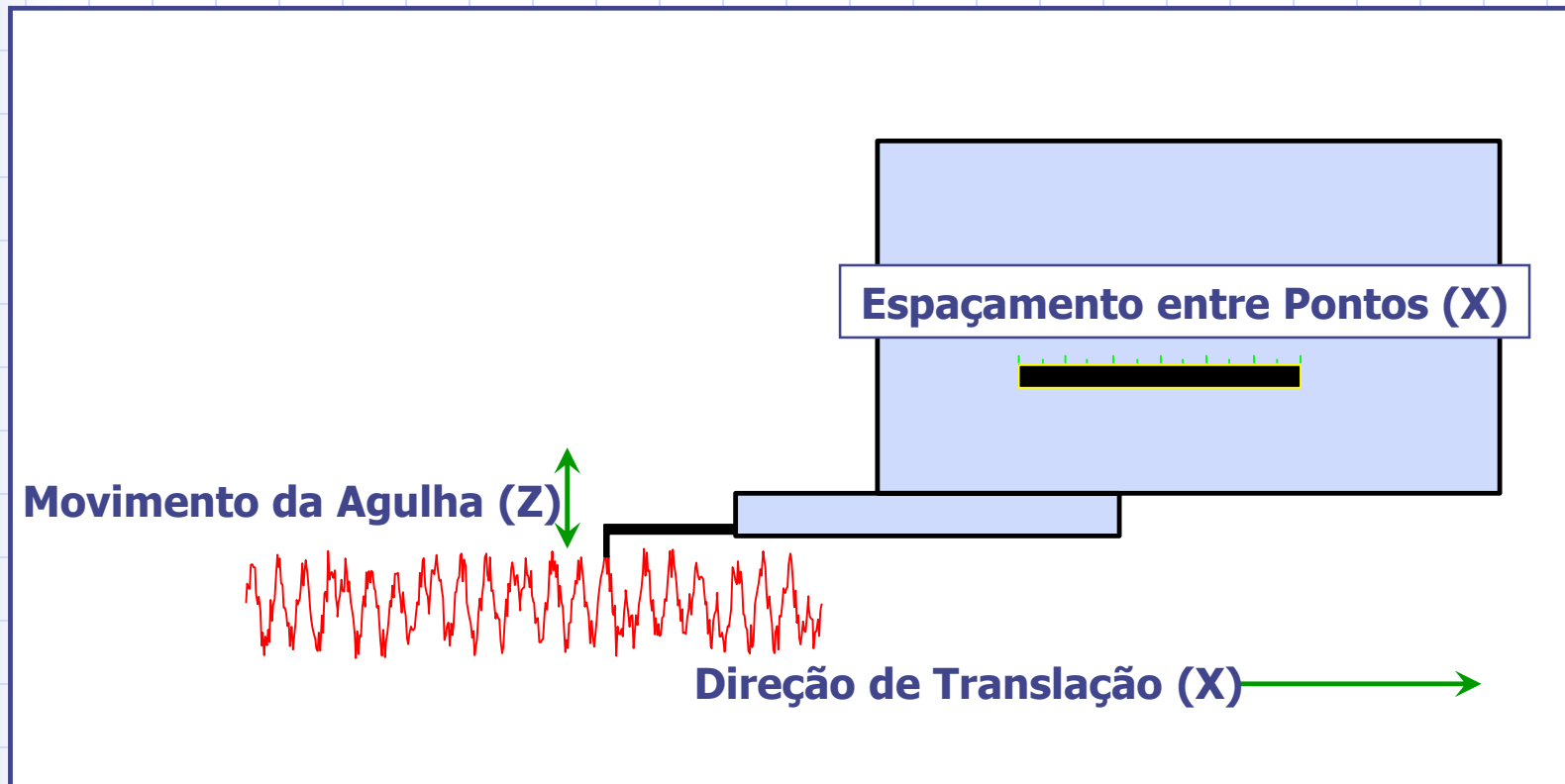
Instrumentos de Medição e Parâmetros

Rugosímetros

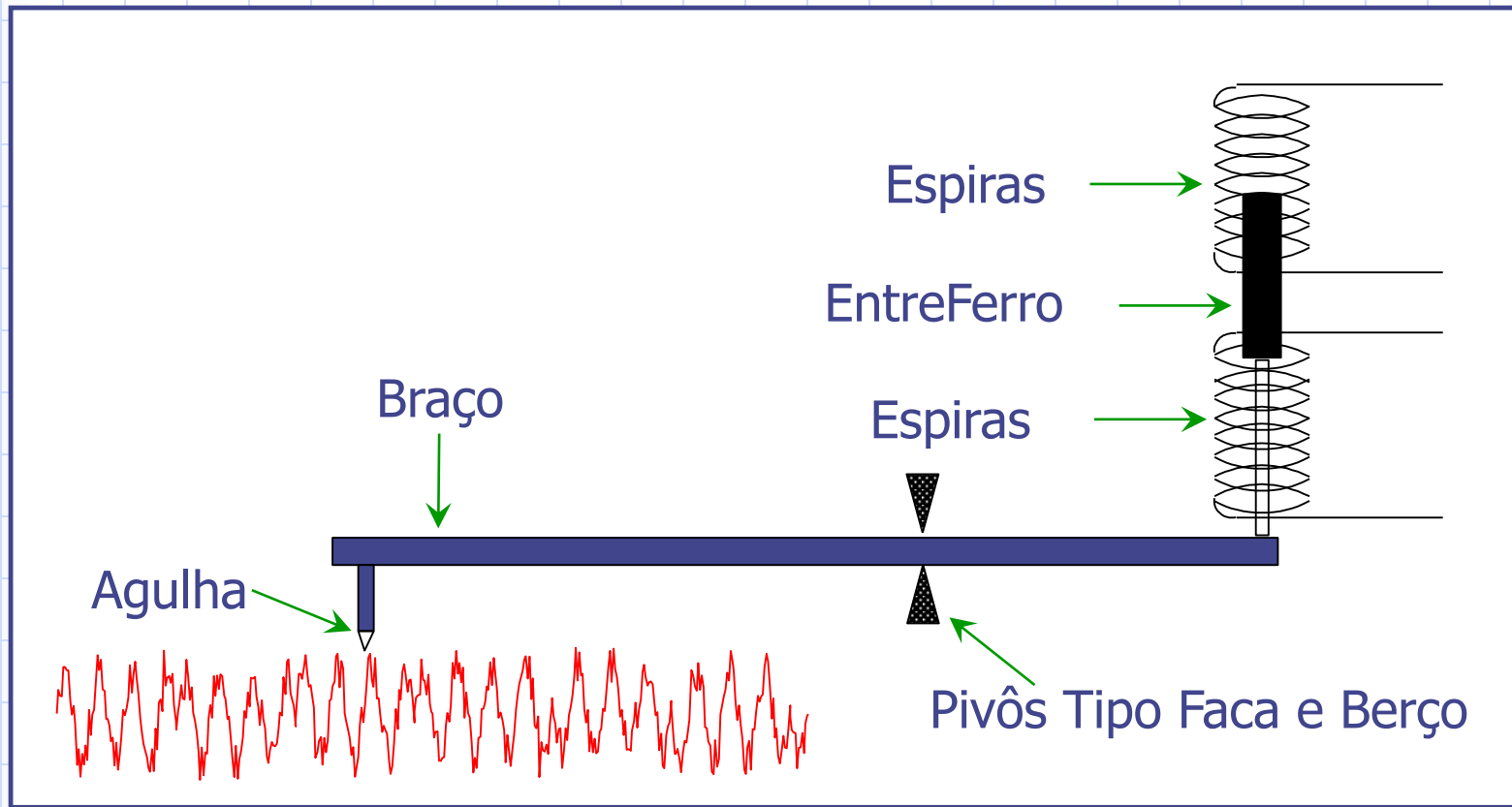
- Contato/Agulha (UK – USA)
- Ótico (DE – RU)

4 – Métodos de Medição

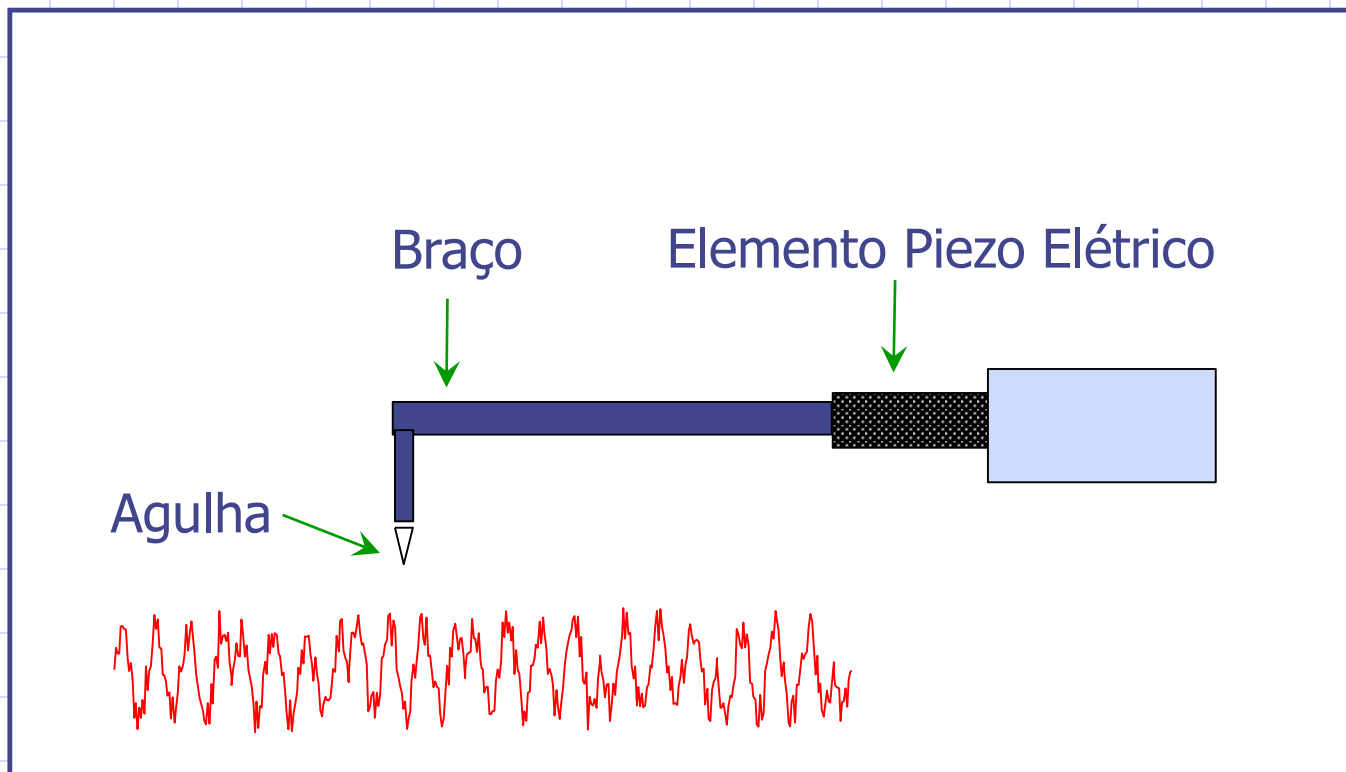
Instrumento de Contato



Transdutor Indutivo



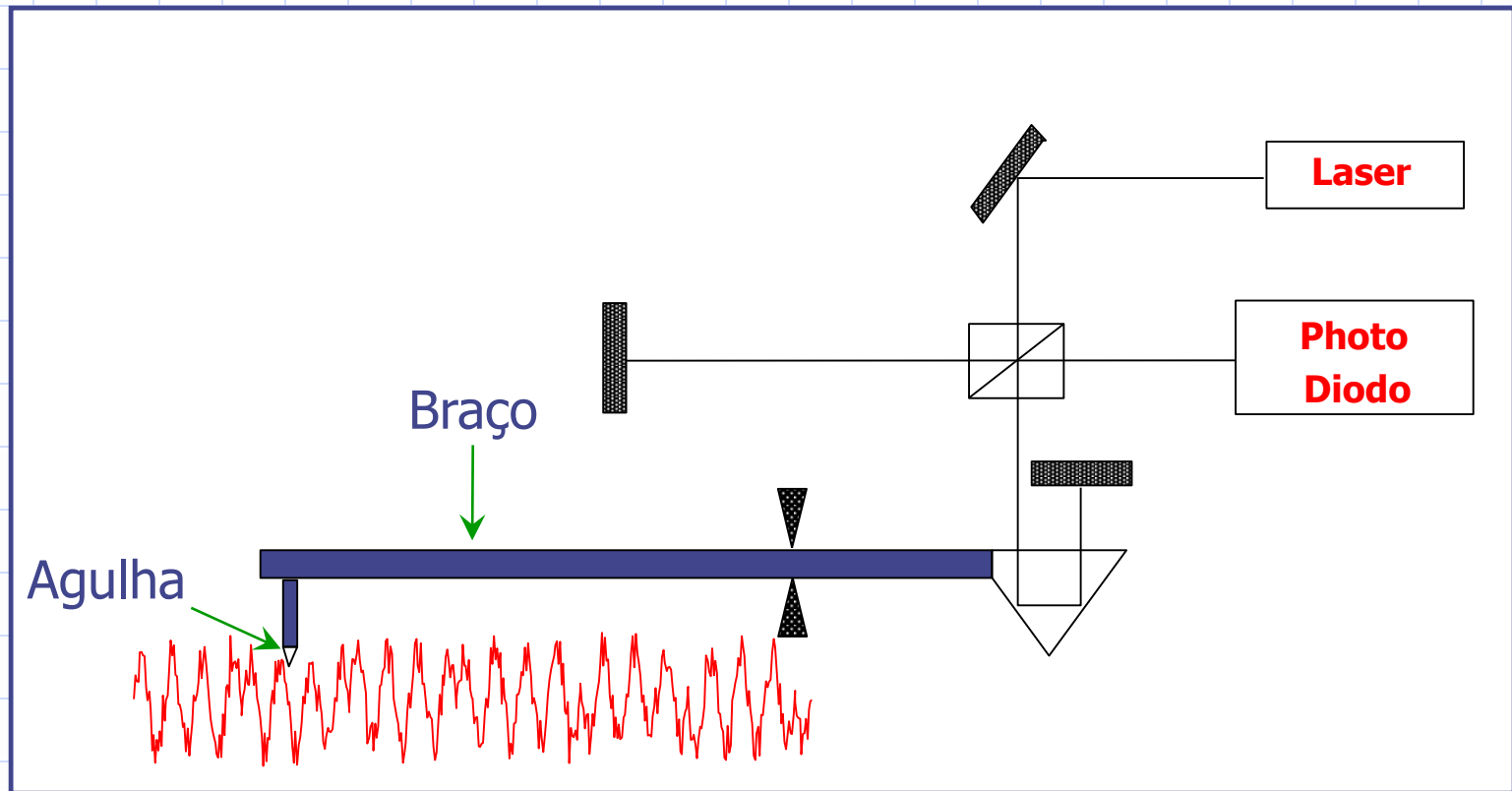
Transdutor Piezo-Elétrico



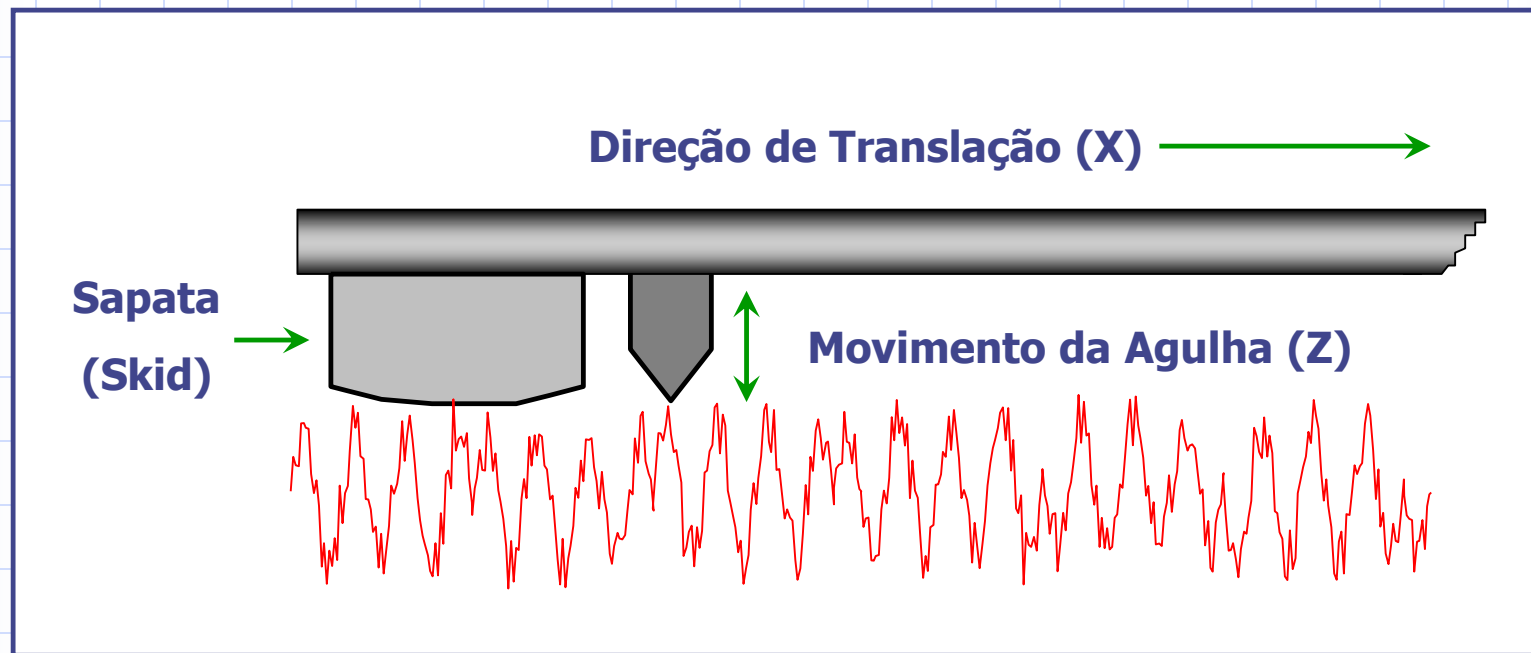
4 – Métodos de Medição

Transdutores

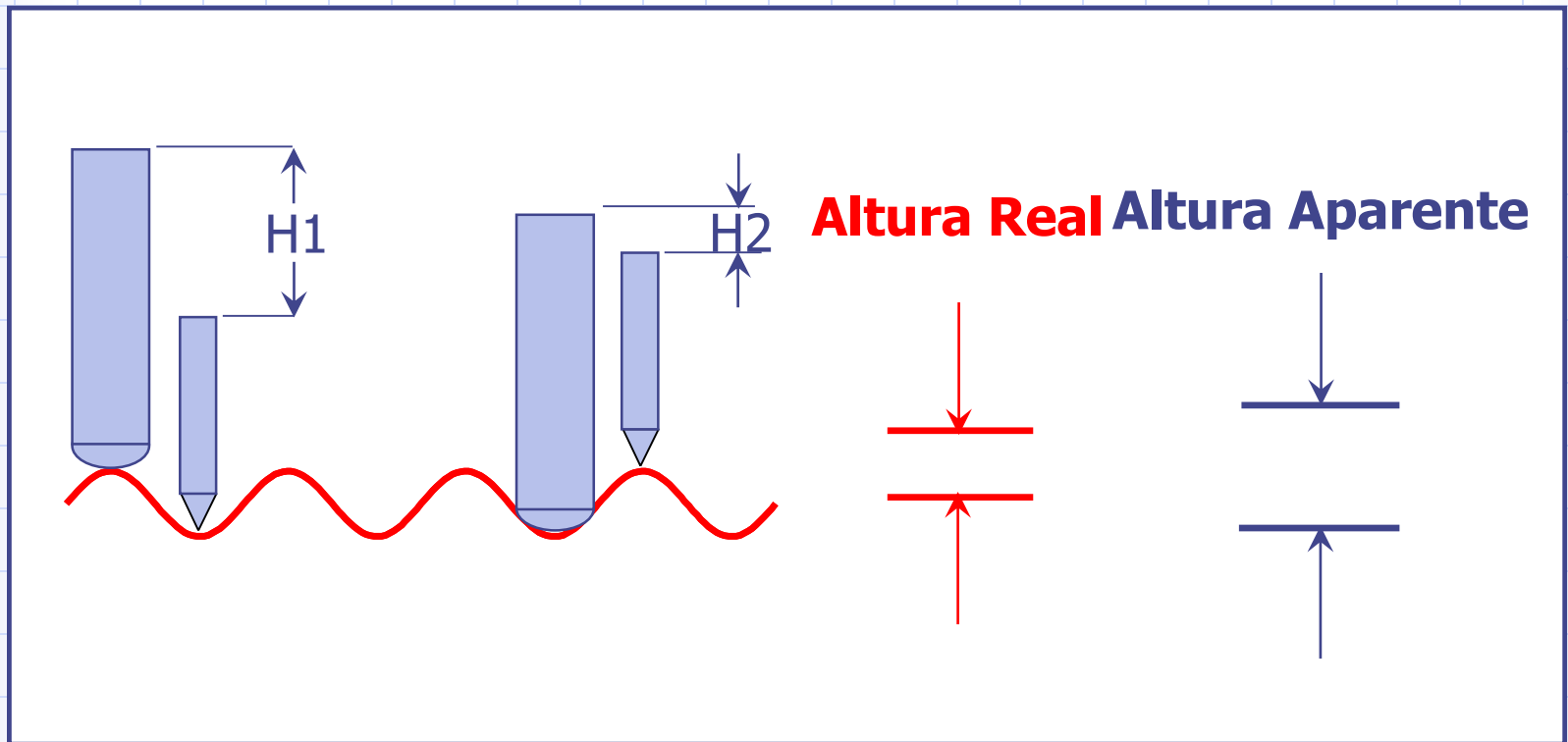
Transdutor Laser



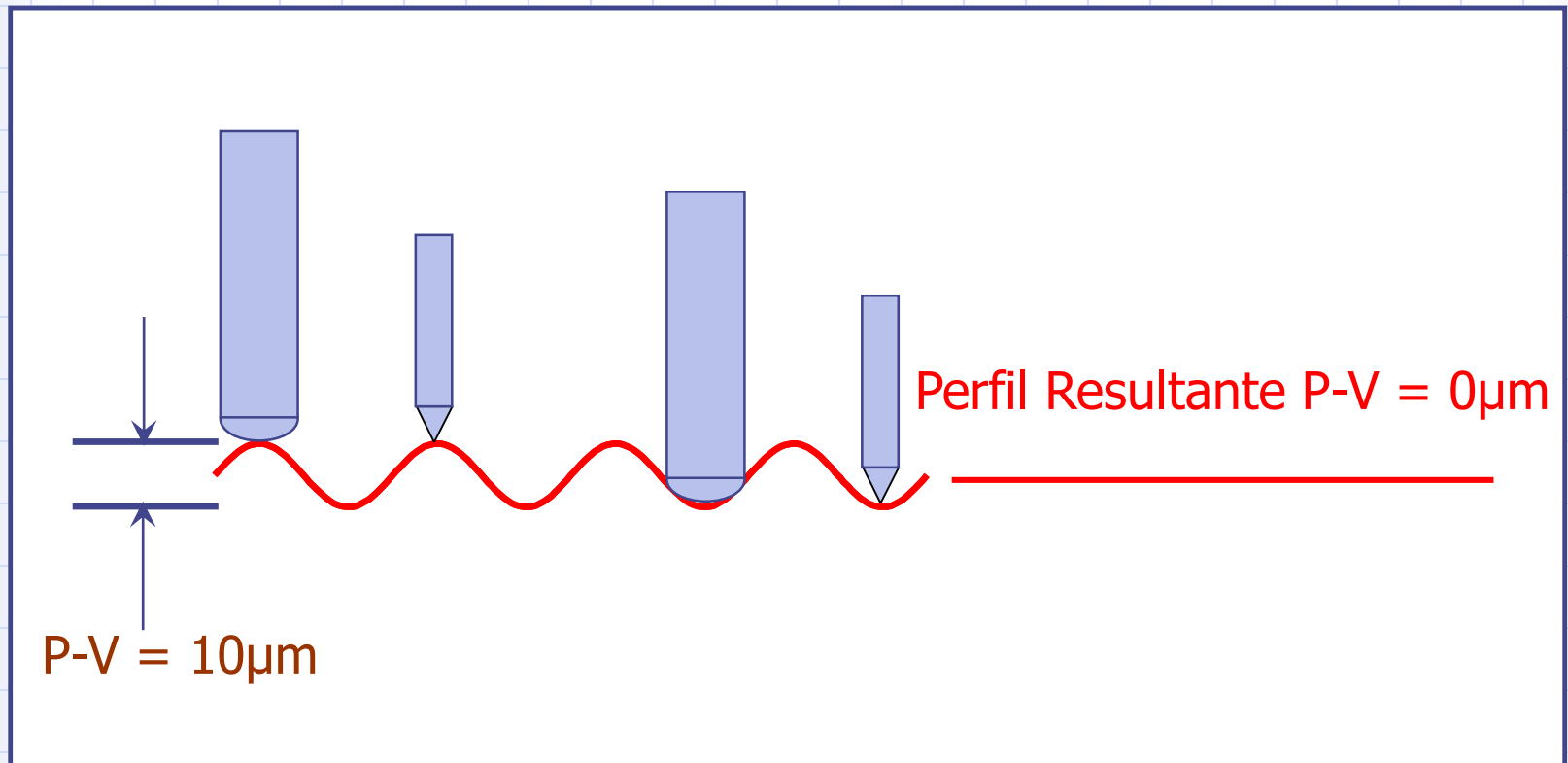
Sapata como Superfície de Referência



Efeito da Sapata no Deslocamento da Agulha

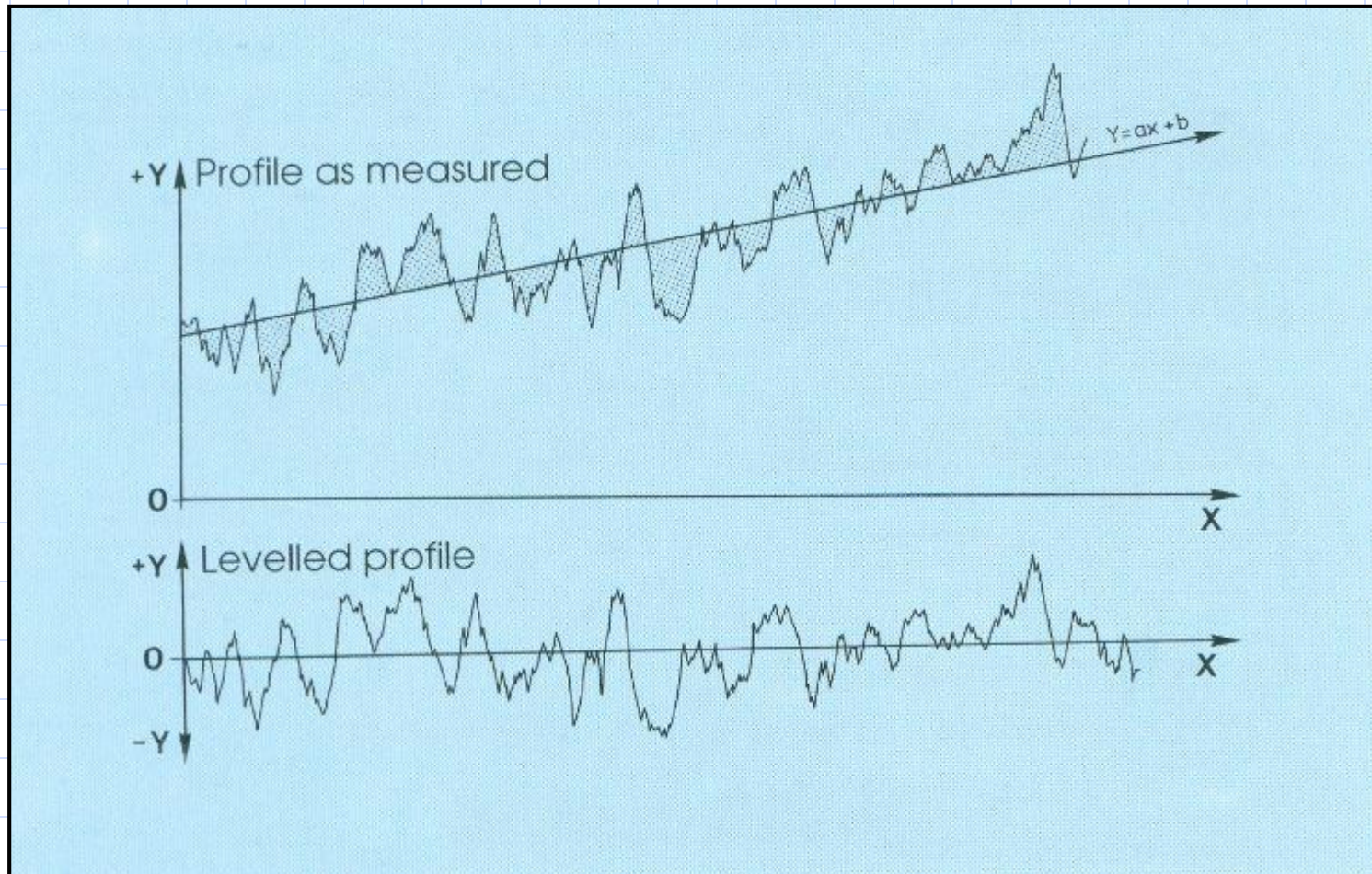


Efeito da Sapata no Deslocamento da Agulha

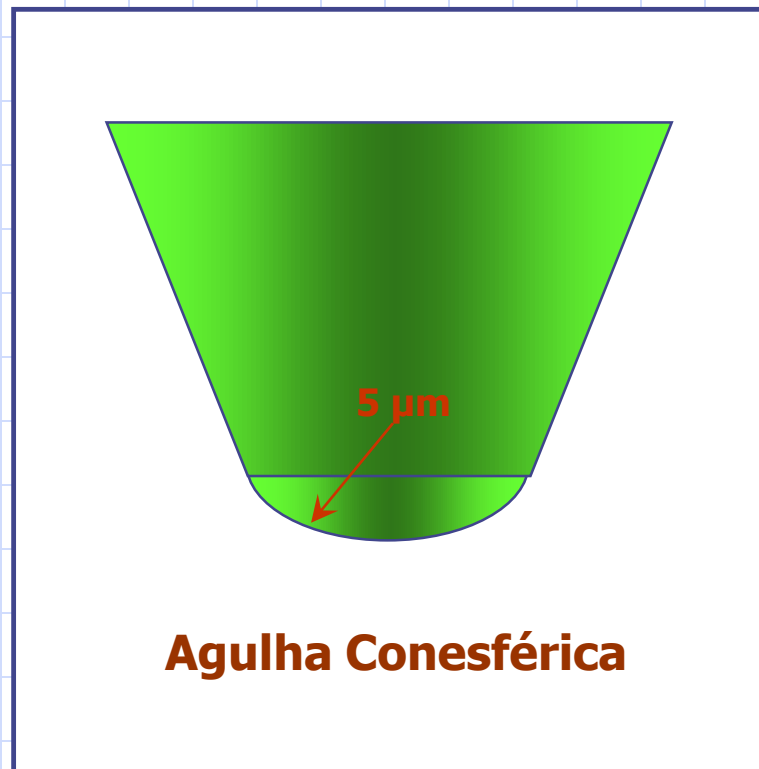


4 – Métodos de Medição

Nivelamento

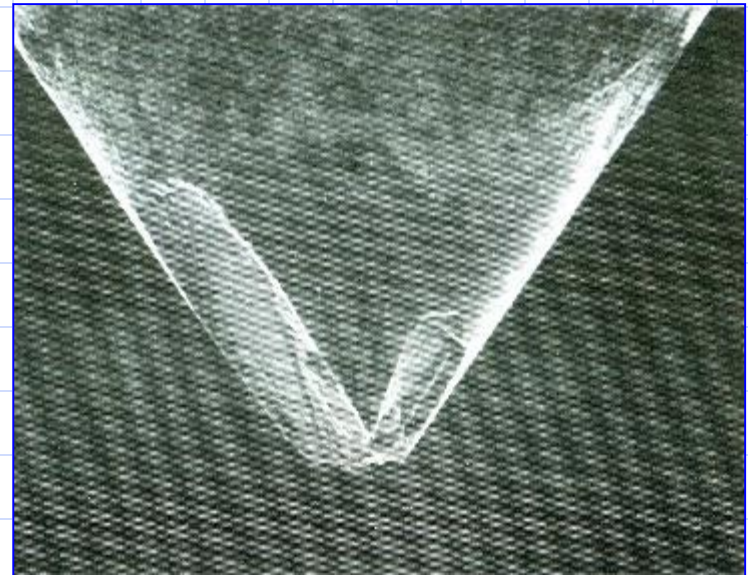
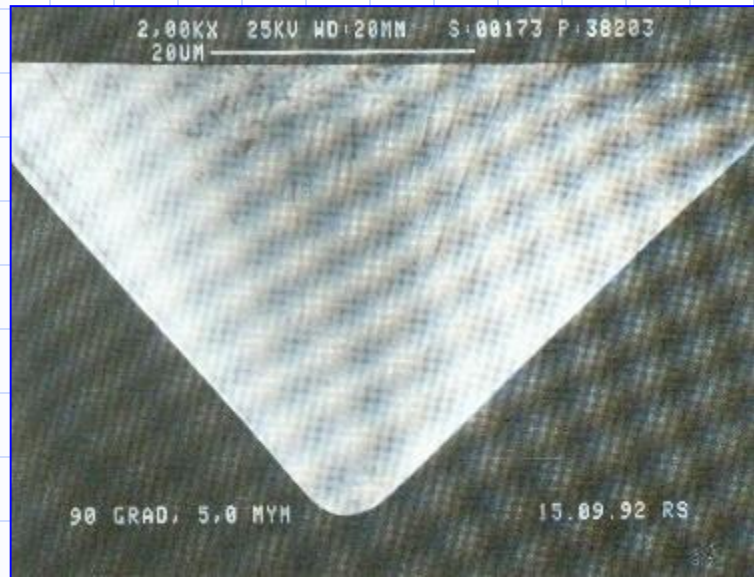


Geometria da Agulha

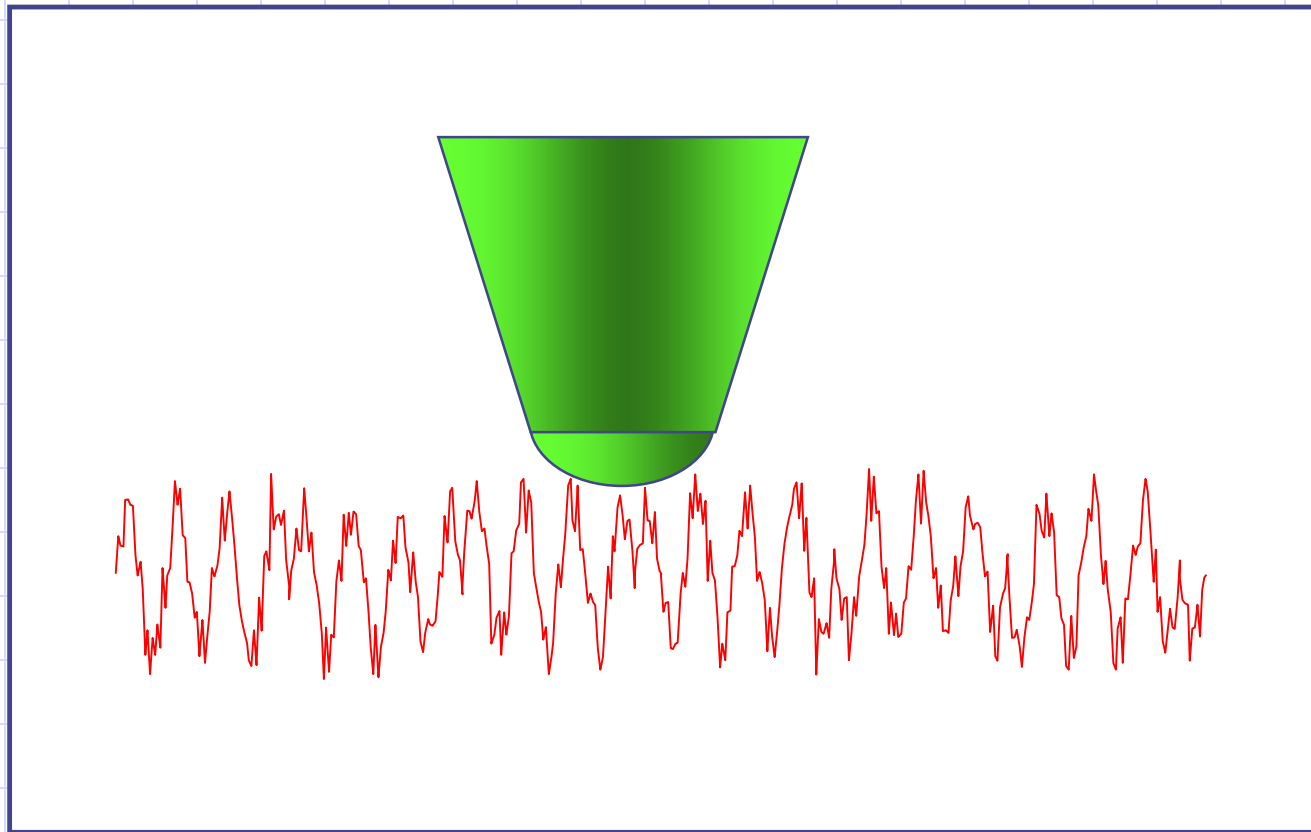


4 – Métodos de Medição Agulha

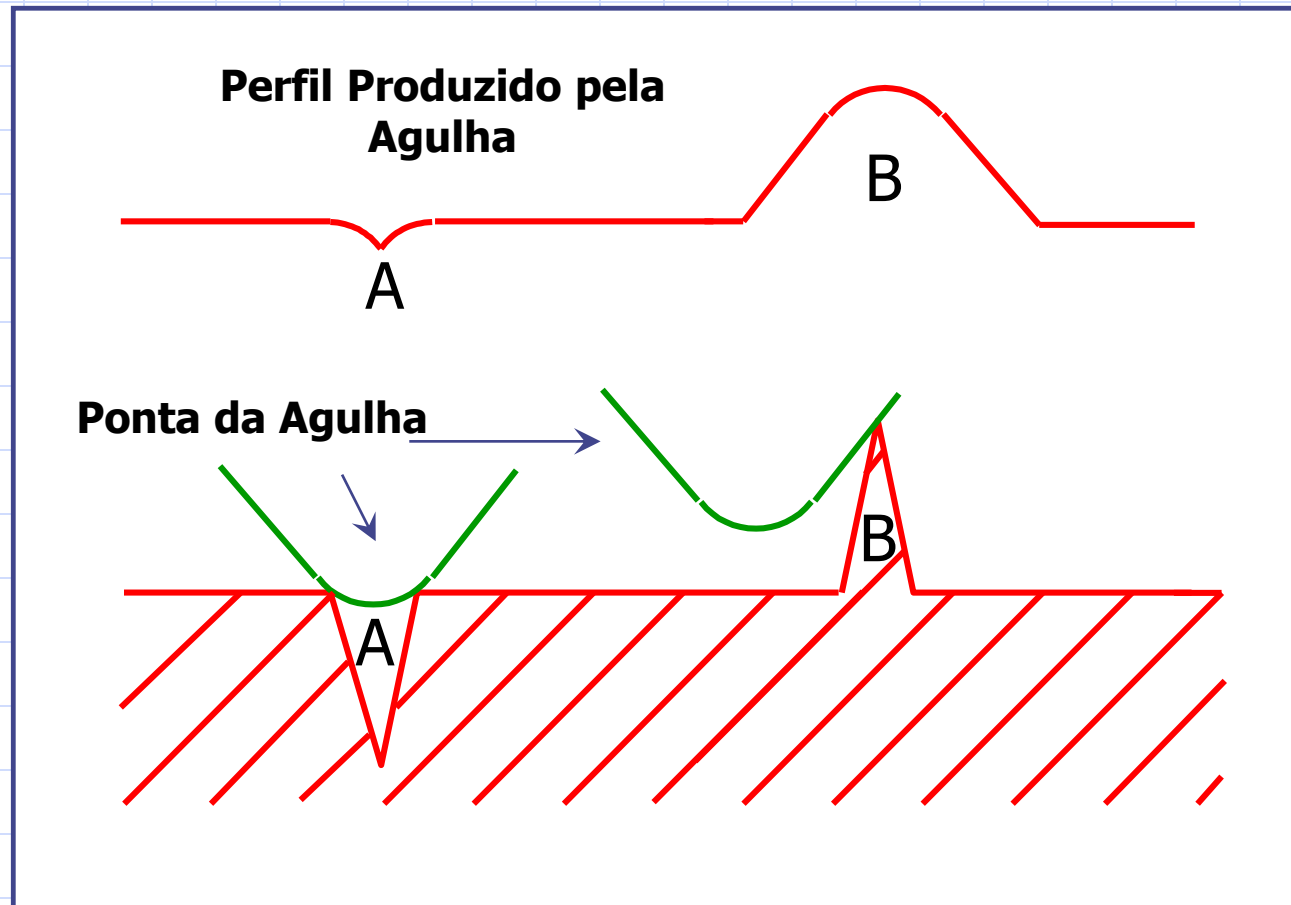
Geometria da Agulha



Influência da Agulha



Tangenciamento da Agulha



4 – Métodos de Medição

Linhas de Referência

1 – Sistema M - Linha Média

2 – Sistema E - Envelope

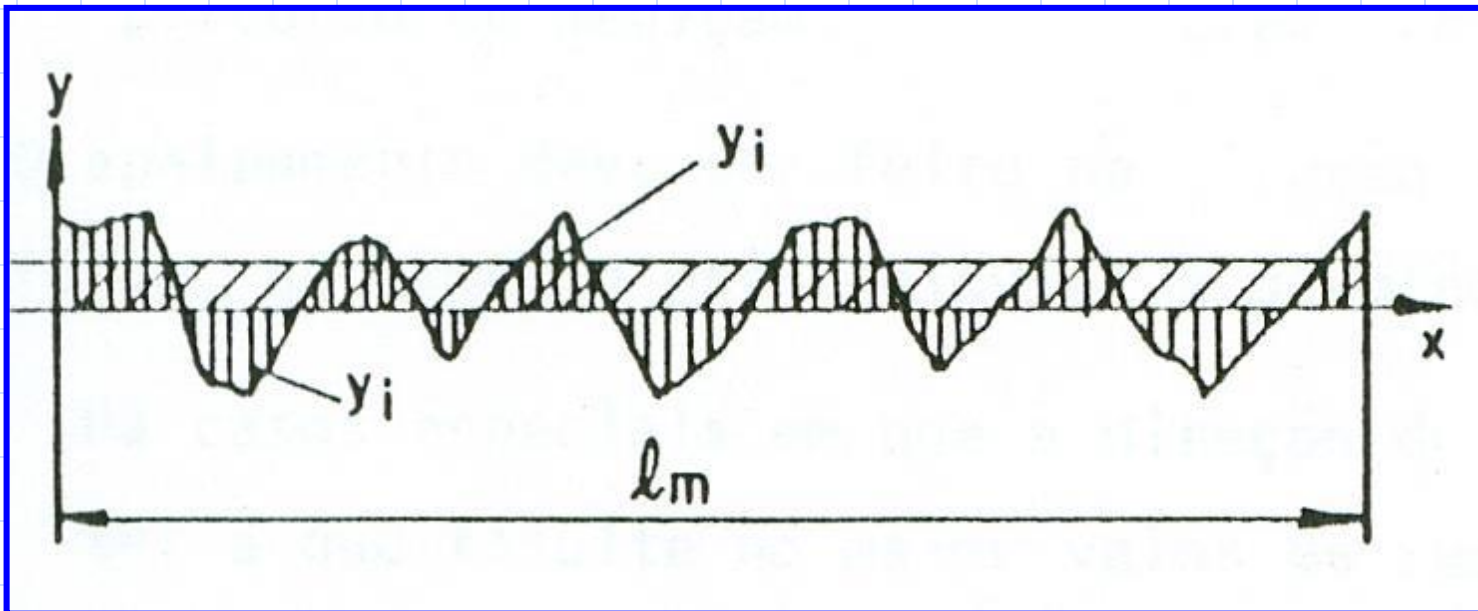
3 – Sistema R&W

4 – “MOTIF”

4 – Métodos de Medição

Linhas de Referência

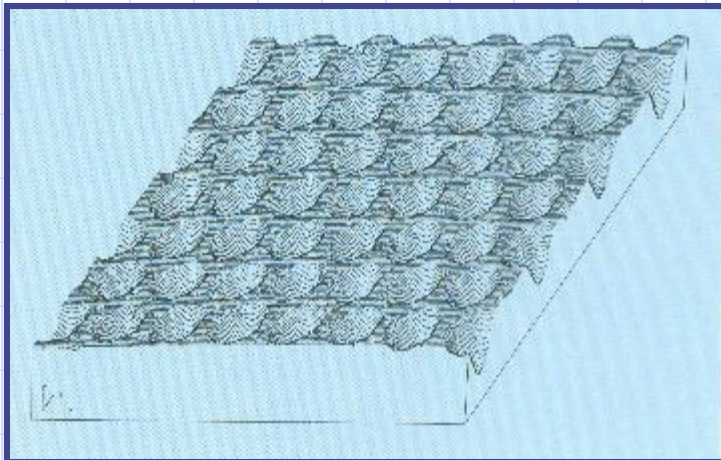
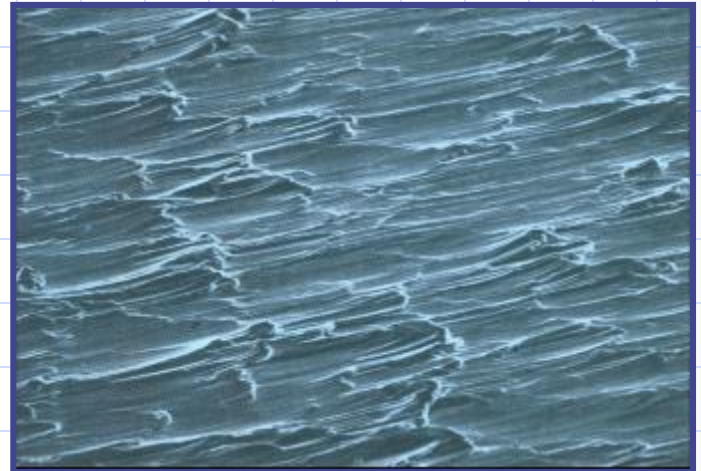
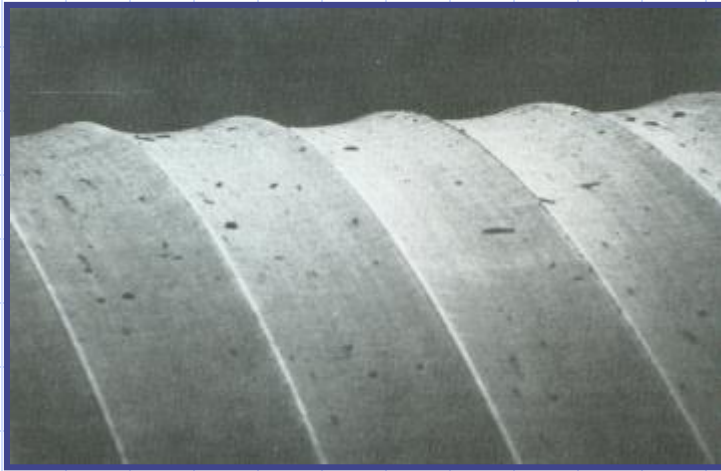
Sistema M - Linha Média



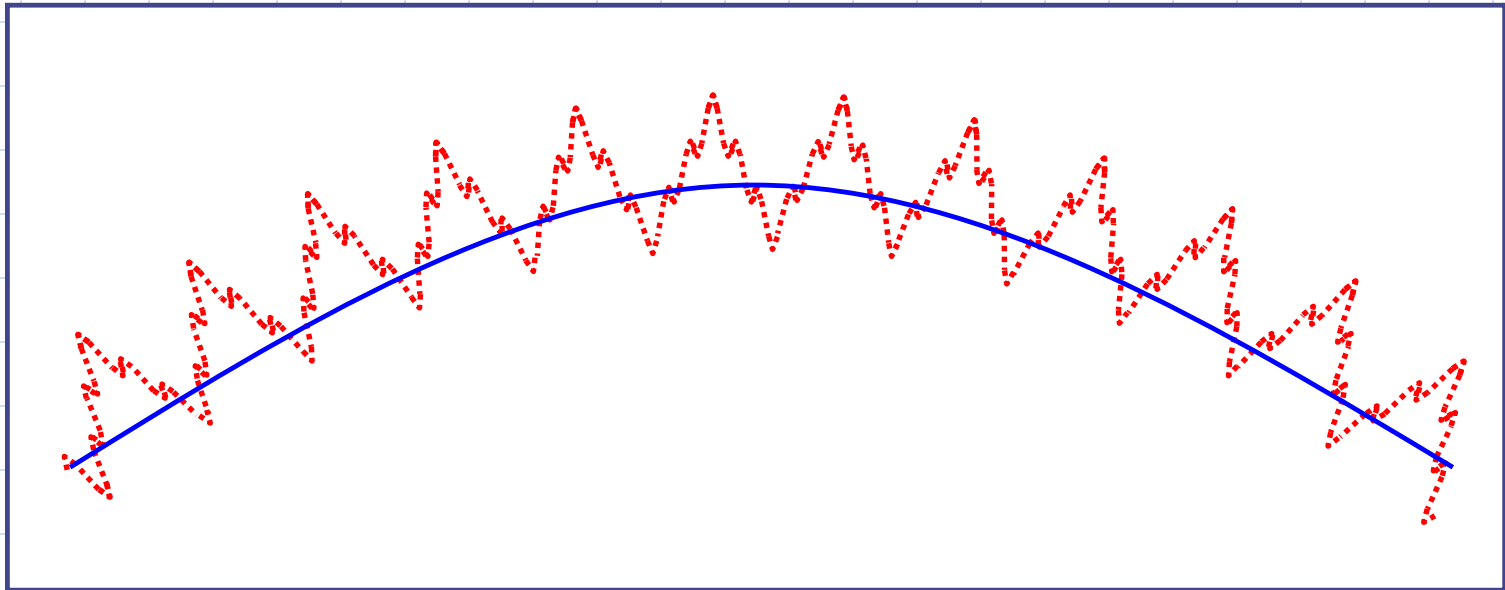
4 – Métodos de Medição

Direção de Medição

Riscas



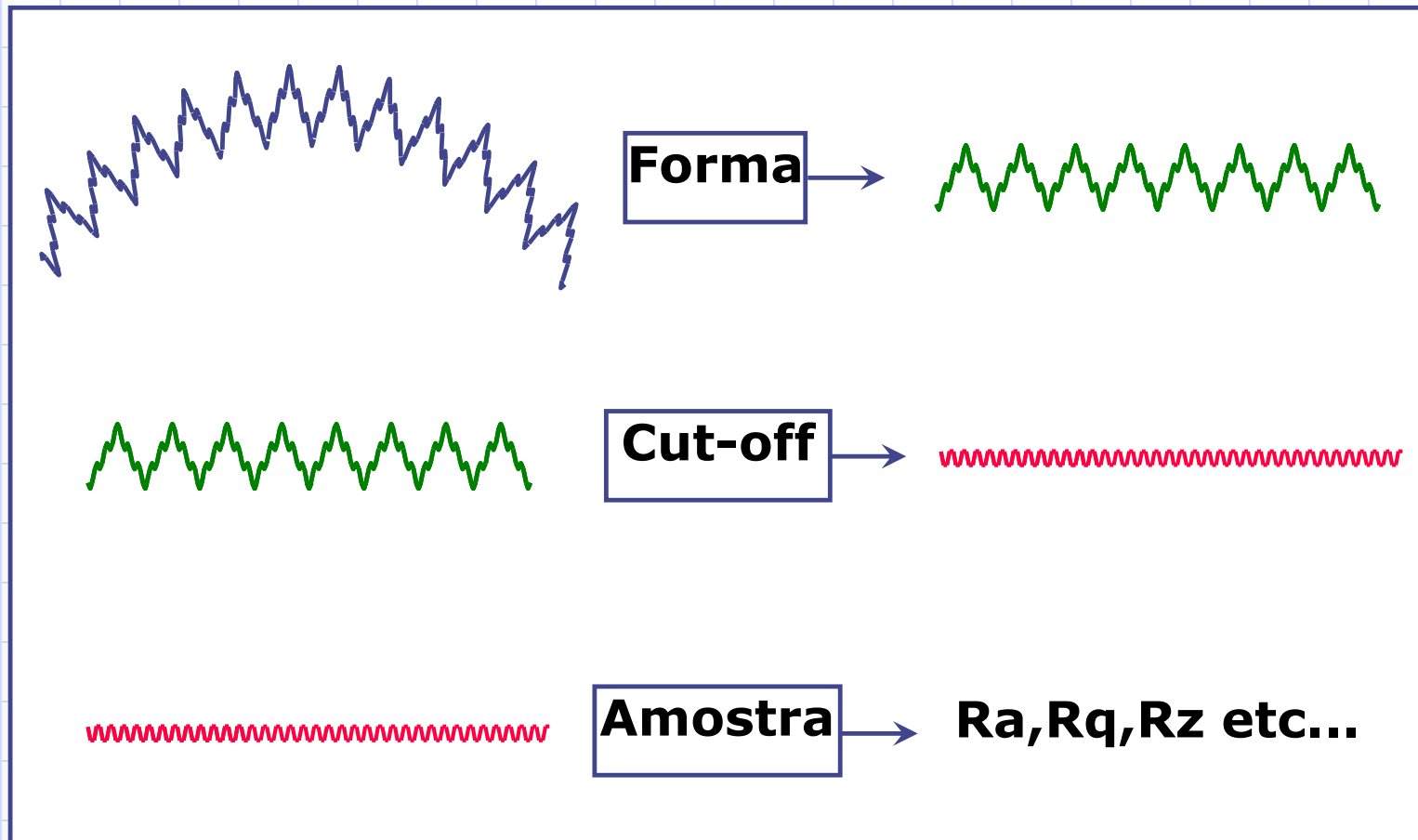
Componentes da Superfície



4 – Métodos de Medição

Filtros

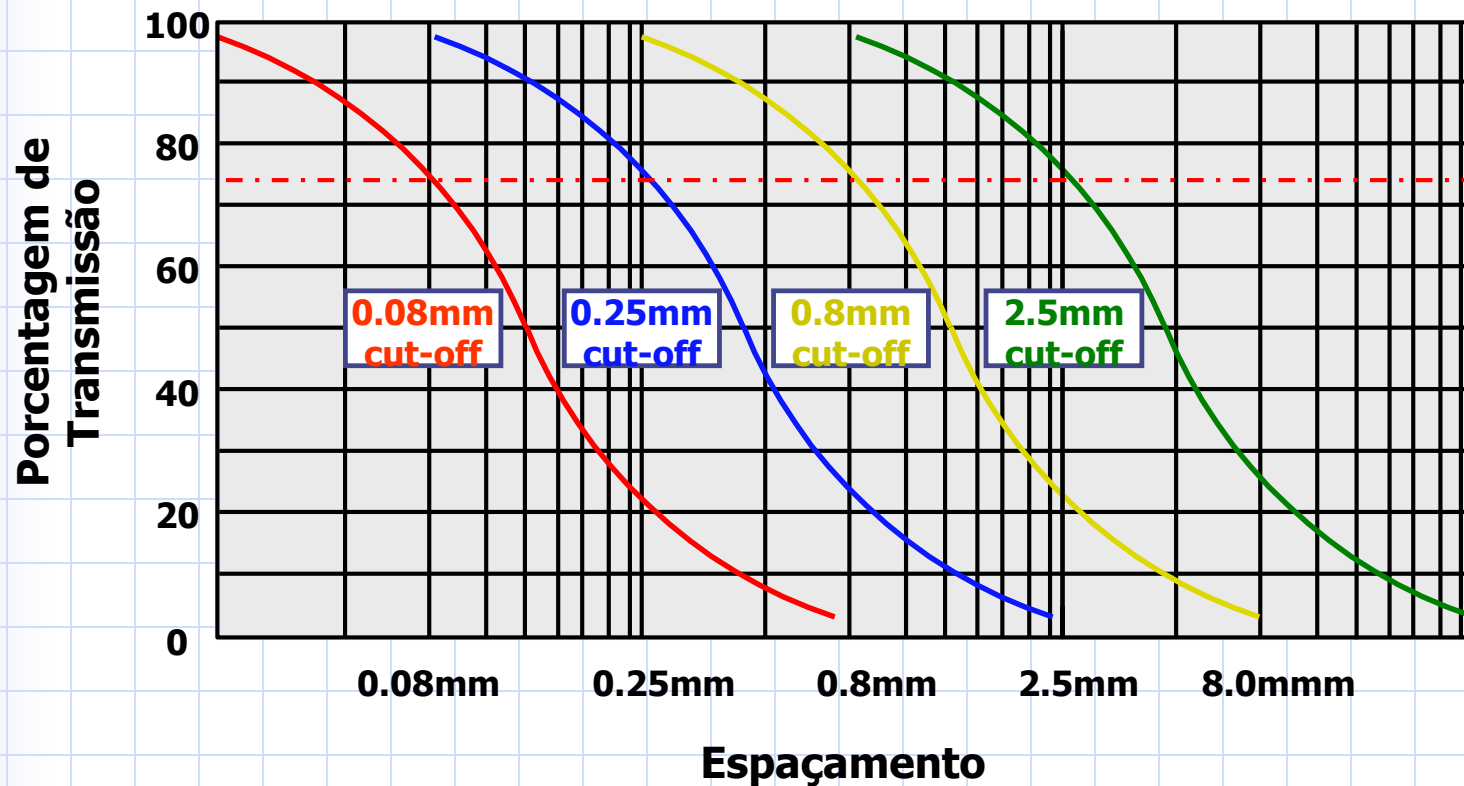
Separação - Rugosidade



Filtros

- **Filtro ISO 2CR – Analógico**
- **Filtro 2CR PC – Analógico/Digital**
- **Filtro Gaussiano - Digital**

Características - Filtro ISO 2CR

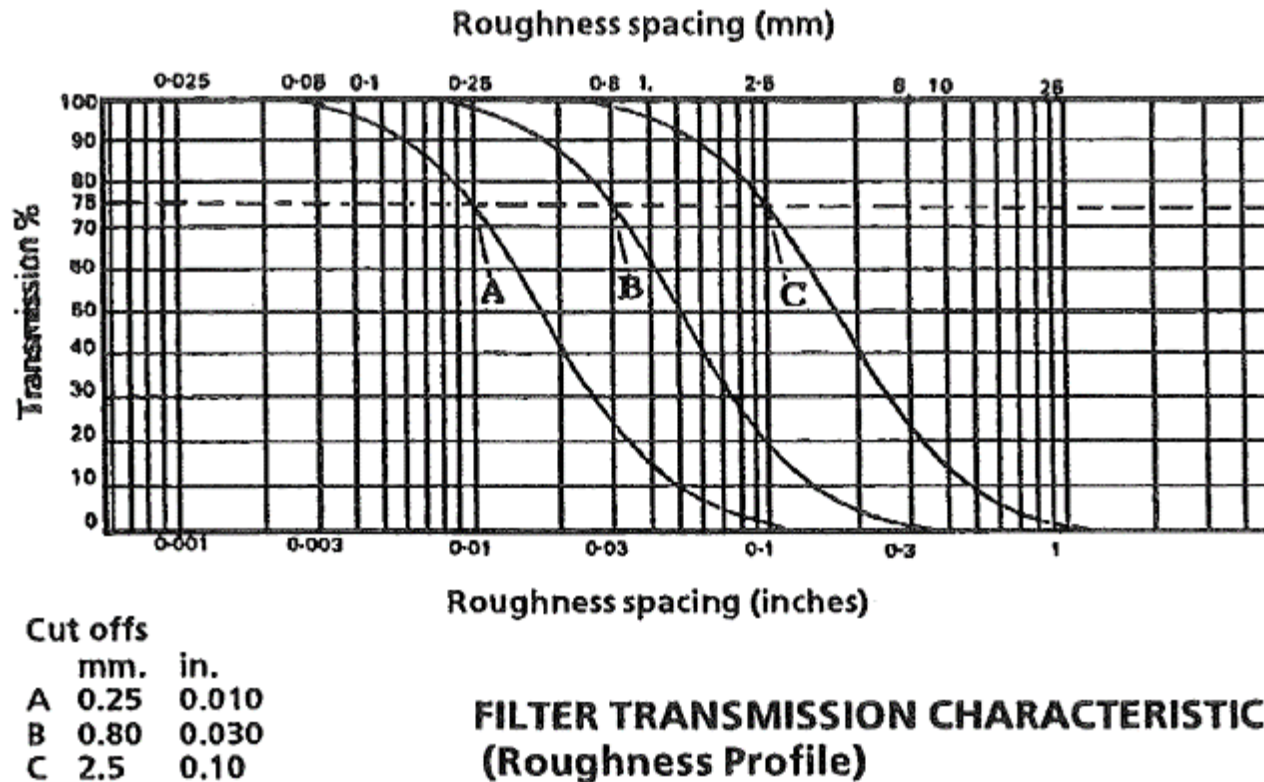


Cu-off – aproximadamente 10 picos

4 – Métodos de Medição

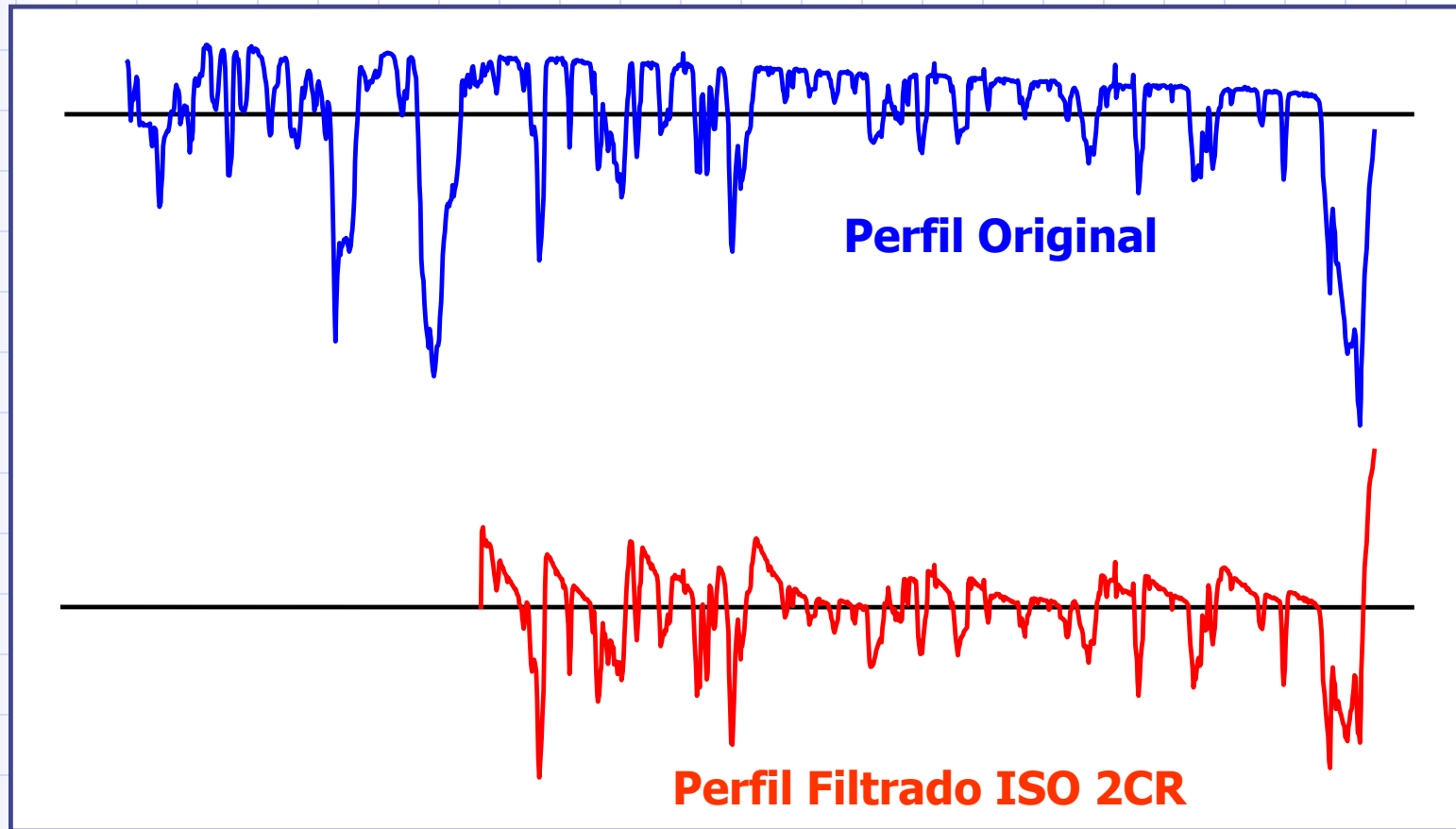
Filtros

Características - Filtro ISO 2CR

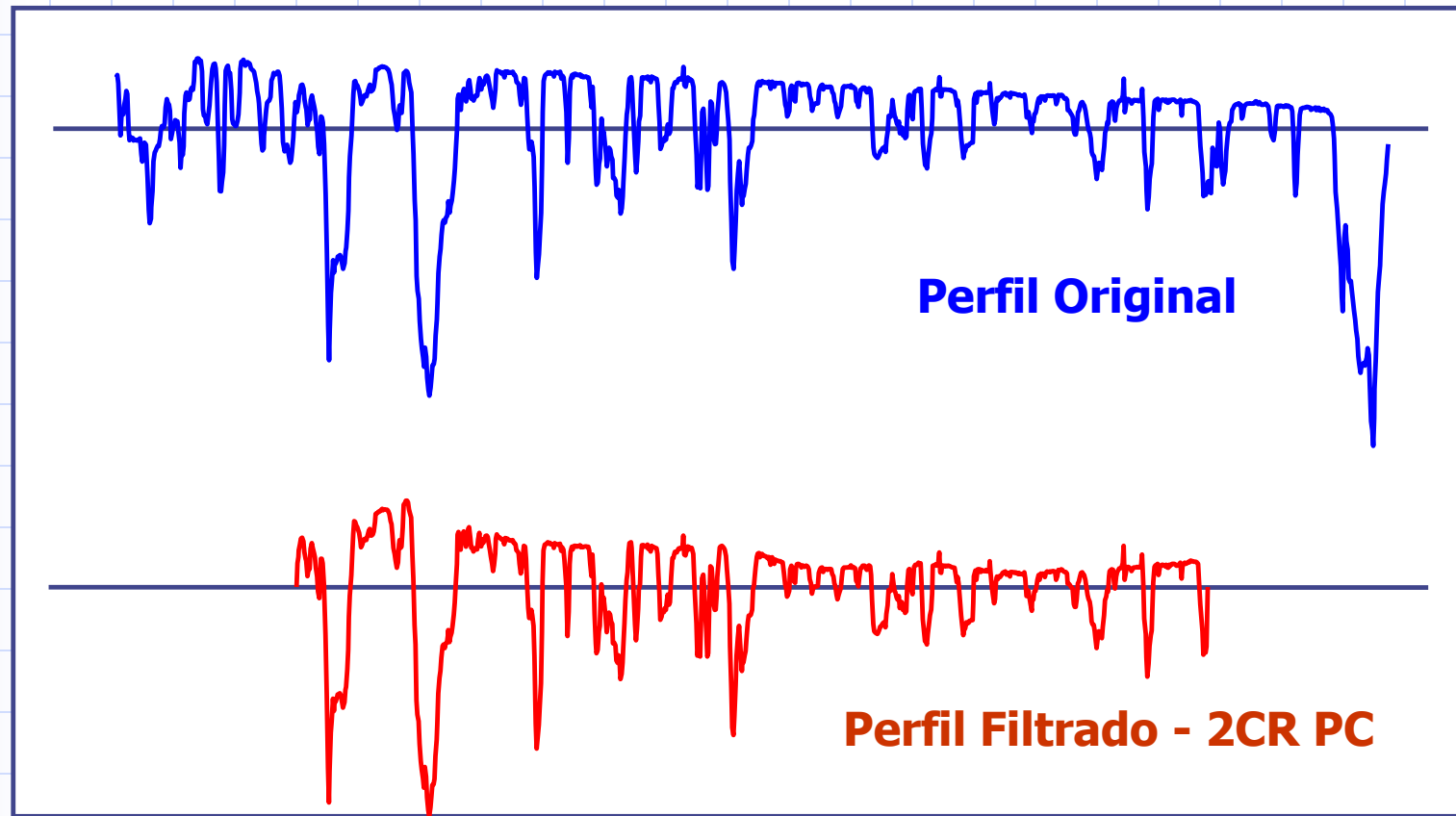


Cu-off – aproximadamente 10 picos

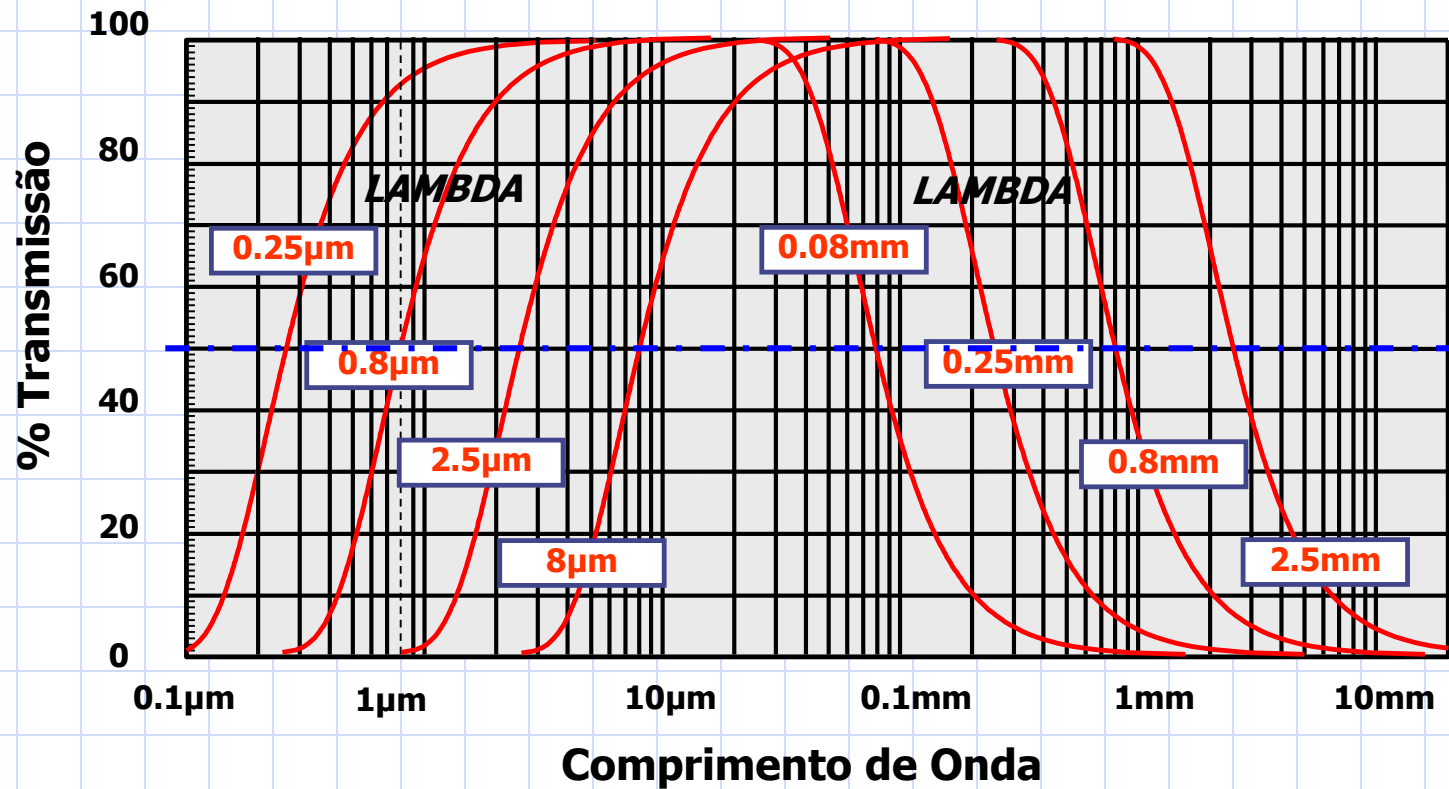
Deformação - Filtro ISO 2CR



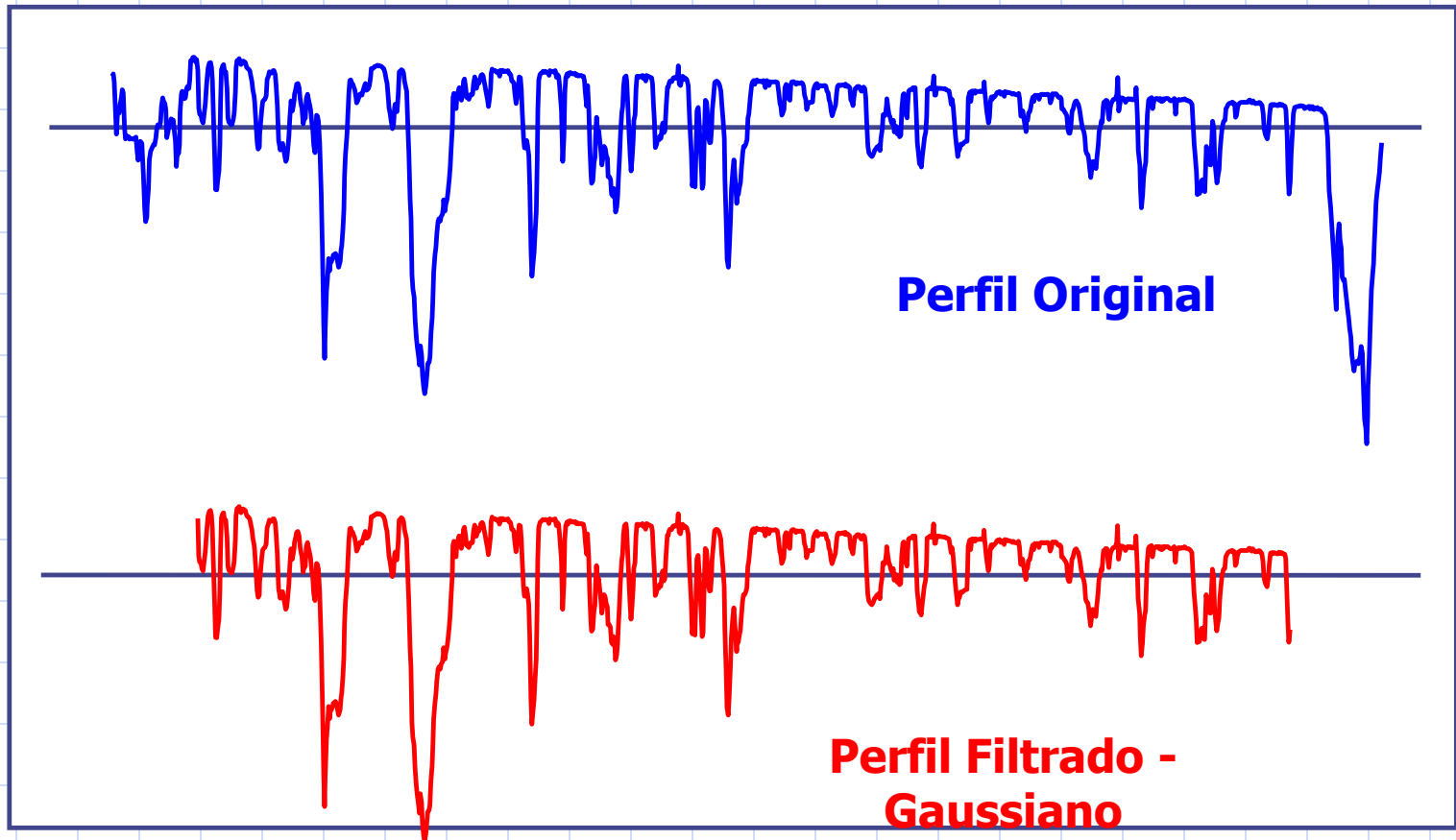
Filtro 2CR PC (Phase Corrected)



Filtro Gaussiano - Digital

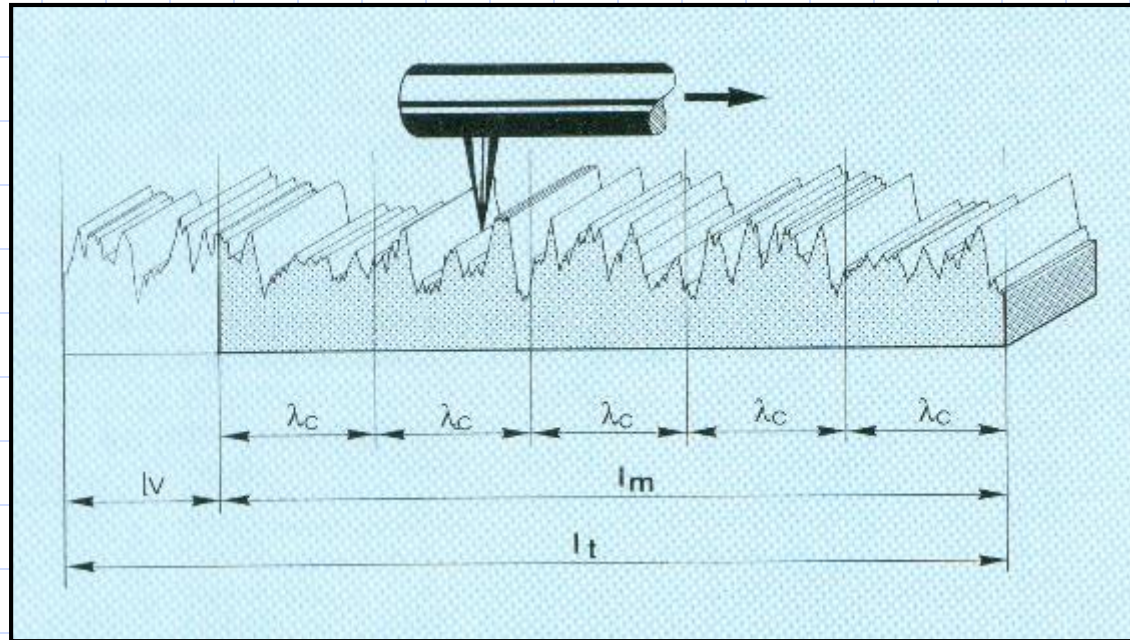


Filtro Gaussiano



4 – Métodos de Medição

Percursos



l_t : Percurso de Apalpamento

l_v : Percurso Inicial

l_m : Percurso de Medição

l_e : Comprimento de Amostragem

λ_c : Comprimento de Onda Limite (Cut-Off)

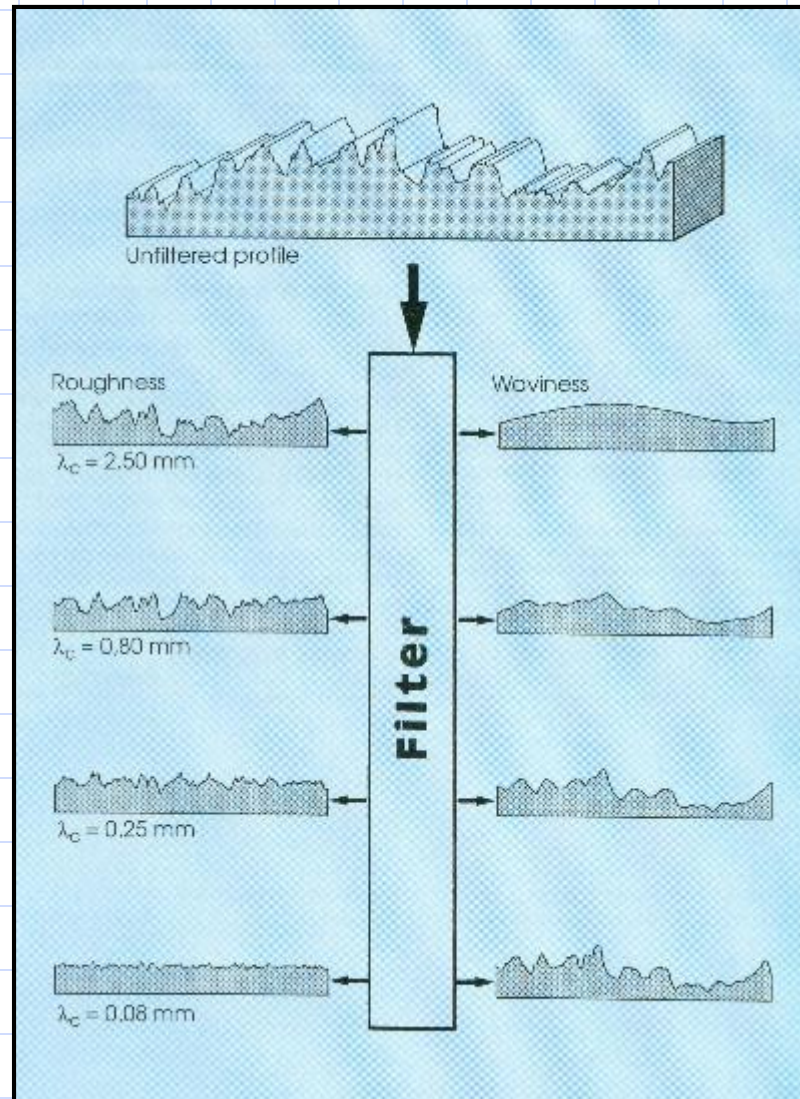
$$l_t = l_v + l_m$$

$$\lambda_c = l_e$$

$$l_e = \frac{1}{5} l_m$$

4 – Métodos de Medição

Filtros



4 – Métodos de Medição

Filtros

Cut-off Recomendado (ISO 4288-1996)				
Perfil Periódico	Perfil Não-Periódico		Cut-off	Comprimento de Amostra/ Comprimento de Medida
Espaçamento RSm (mm)	Rz (μm)	Ra (μm)	cλ(mm)	cλ(mm)/L
>0.013-0.04	To 0.1	To 0.02	0.08	0.08/0.4
>0.04-0.13	>0.1-0.5	>0.02-0.1	0.25	0.25/1.25
>0.13-0.4	>0.5-10	>0.1-2	0.8	0.8/4
>0.4-1.3	>10-50	>2-10	2.5	2.5/12.5
>1.3-4.0	>50	>10	8	8/40

5 – Parâmetros Normas

PARAMETER	DESCRIPTION	STANDARD
R _a	Roughness average	DIN 4768, BS 1134, ISO 4287, ANSI B46.1
R _a (DIN)	Mean peak to valley height	DIN 4768
R _{max}	Maximum peak-to-valley height	DIN 4768
R _z (ISO)	Ten point height	DIN 4762, ISO 4287, BS 1134
R _v	Maximum roughness depth	DIN 4762, ISO 4287, BS 1134
R _q	RMS roughness average	DIN 4762, ISO 4287
R _p	Maximum peak height	DIN 4762
R _{pm}	Mean peak height	DIN 4762
R _v	Maximum valley depth	
R _{vm}	Mean valley depth	
R _z	Mean third highest peak-to-valley height	DB 31007
R _{zmax}	Maximum third highest peak-to-valley height	
R _k	Core roughness depth	DIN 4776
R _{pk}	Reduced peak height	DIN 4776
R _{vk}	Reduced valley depth	DIN 4776
M-1	Peak material ratio	DIN 4776
M-2	Valley material ratio	DIN 4776
W _t	Total waviness depth	DIN 4774
P _t	Total profile depth	DIN 4771
N _t	Normalized peak count	
P _c	Peak count	Euronorm 49-83E
T _{pi}	Bearing ratio (micro)	DIN 4762, ISO 4287, BS 1134
T _{pa}	Material ratio (macro)	DIN 4762, ISO 4287, BS 1134
S _{nn}	Mean peak spacing	DIN 4762, ISO 4287, BS 1134
D	Peak density	DIN 4762, ISO 4287
L _a	Actual profile length	DIN 4762, ISO 4287
L _r	Profile length ratio	DIN 4762, ISO 4287
A _a	Average profile slope	DIN 4762, ISO 4287
A _q	RMS profile slope	DIN 4762, ISO 4287
λ _a	Average wavelength	DIN 4762, ISO 4287
λ _q	RMS wavelength	DIN 4762, ISO 4287
R	Average roughness depth	NF E 05-015
P _t	Total profile depth	NF E 05-015
R _{max}	Maximum roughness depth	NF E 05-015
W	Average waviness depth	NF E 05-015
W _{max}	Maximum waviness depth	NF E 05-015
W _t	Total waviness depth	NF E 05-015
A _r	Roughness width	NF E 05-015
A _w	Waviness width	NF E 05-015
S _z	Skewness	DIN 4762, ISO 4287
K _u	Kurtosis	

Nomenclatura

- **Prefixo R – Rugosidade**
- **Prefixo W – Ondulação**
- **Prefixo P – Primário**

Classificação

- **Parâmetros de Amplitude
Coordenada Z**
- **Parâmetros de Espaçamento
Coordenada X**
- **Parâmetros Híbridos
Coordenadas X e Z**

Parâmetros - Classificação

- **Media**
- **Picos**
- **Espaçamento**
- **Híbridos**
- **Curva(s)**
- **Série RK**
- **R & W**

Parâmetros Médios

- **Ra - Arithmetic Mean Deviation**
- **AA - Arithmetic Average**
- **CLA - Centre Line Average**
- **Rq - Root Mean Square Deviation**
- **Rku - Kurtosis**
- **Rsk - Skewness**
- **Wca - Filtered Centre Line Waviness**
- **Wea - Rolling Centre Line Waviness**

Parâmetros - Picos

- **Rt - Total Height of Profile**
- **Rv - Max Profile Valley Depth**
- **Rv1max - Max Profile Valley Depth**
- **Rp - Max Profile Peak Height**
- **Rp1max - Max Profile Peak Height**
- **Rz(ISO) - Max Height of Profile**
- **Rz1max - Max Height of Profile**
- **Rc - Mean Height of Profile Elements**
- **Rz(JIS) - Max Height of Profile**
- **R3tm - R3tm - No Standard**
- **R3y - R3y - No Standard**
- **R3z - R3z - Daimler-Benz**
- **Rm - Maximum Profile Valley Depth**
- **Rmax - Rmax - DIN 4768**
- **Rp - Max Profile Peak Height - Pre 1997**
- **Rpm - Max Profile Peak Height - Pre 1997**
- **Rti - Rti - No Standard - Pre 1997**
- **Rtm - Rtm - No Standard - Pre 1997**
- **Rv - Max Profile Valley Depth - Pre 1997**
- **Ry - Max Height of Profile - ISO4287-1984**
- **Ry - Ry - No Standard - Pre 1984**
- **Rz(DIN) - Max Height of Profile**
- **Rz(ISO) - Max Height of Profile - ISO4287-1984**
- **Rz - Max Height of Profile - Pre 1984**

Parâmetros - Espaçamento

- **Sm - Mean Width of Profile Elements - Pre 1997**
- **RSm - Mean Width of Profile Elements - Post 1997**
- **S - Mean Spacing of Local Peaks - Pre 1997**
- **RS - Mean Spacing of Local Peaks - Post 1997**
- **HSC - High Spot Count - Pre 1997**
- **RHSC - High Spot Count - Post 1997**
- **Pc - Peak Count - Pre 1997**
- **RPc - Peak Count - Post 1997**
- **D - Profile Peak Density - Pre 1997**

Parâmetros Híbridos

- **Delta a - Arithmetic Mean Slope - Pre 1997**
- **R Delta a (Rda)- Arithmetic Mean Slope - Post 1997**
- **Delta q - Root Mean Square Slope - Pre 1997**
- **R Delta q (Rdq) - Root Mean Square Slope - Post 1997**
- **Lambda a - Arithmetic Mean Wavelength - Pre 1997**
- **R Lambda a (Rla)- Arithmetic Mean Wavelength - Post 1997**
- **Lambda q - Root Mean Square Wavelength - Pre 1997**
- **R Lambda q (Rlq)- Root Mean Square Wavelength - Post 1997**
- **Lo - Developed Profile Length - Post 1984 - ISO**
- **Rlo - Developed Profile Length - Post 1997 & Lo Pre 1997**
- **Rfd - Fractal Dimension - No Standard**
- **Vo - Volumetric Parameter**

Parâmetros - Curvas

- **Htp - Profile Section Height Difference - Pre 1997**
- **Rdc (R Delta c) - Profile Section Height Difference - Post 1997**
- **Rmr - Relative Material Ratio - Post 1997**
- **Rmr(c) - Material Ratio - Post 1997**
- **tp - Material Ratio - 1984 to 1997**
- **tp% - Material Ratio - Pre 1997**
- **ACV(t) - Autocovariance Function**
- **PSD(f) - Power Spectral Density**

Parâmetros – Série Rk

- **Rk - Core Roughness**
- **Rpk - Reduced Peak Height**
- **Rvk - Reduced Valley Depth**
- **Mr1 - Material Component
Mr1**
- **Mr2 - Material Component
Mr2**
- **A1 - Peak Area**
- **A2 - Valley Area**

5 – Parâmetros

Ra

R_a : Rugosidade Média

CLA (UK) : Center Line Average

AA (USA) : Arithmetic Average

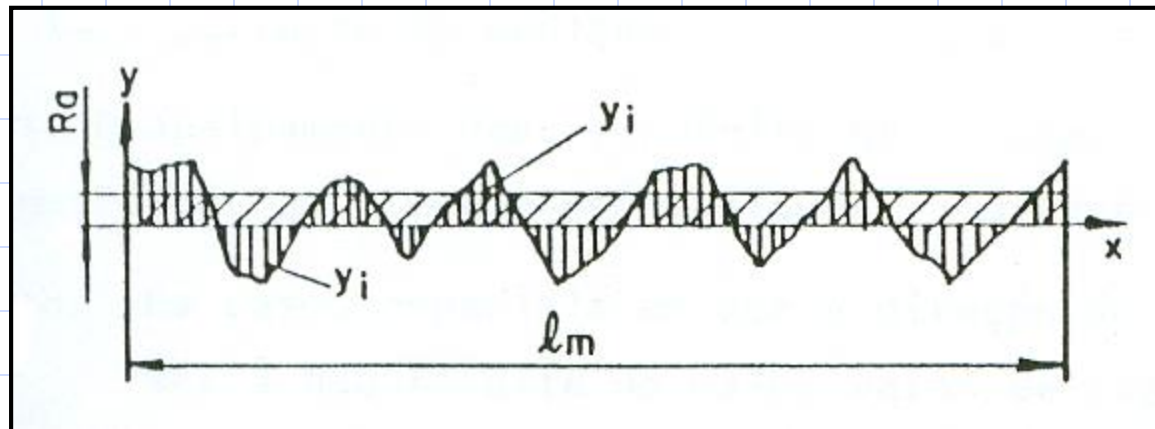
Média aritmética dos valores absolutos de afastamento dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição (l_m)

$$R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |y(x)| dx$$
$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

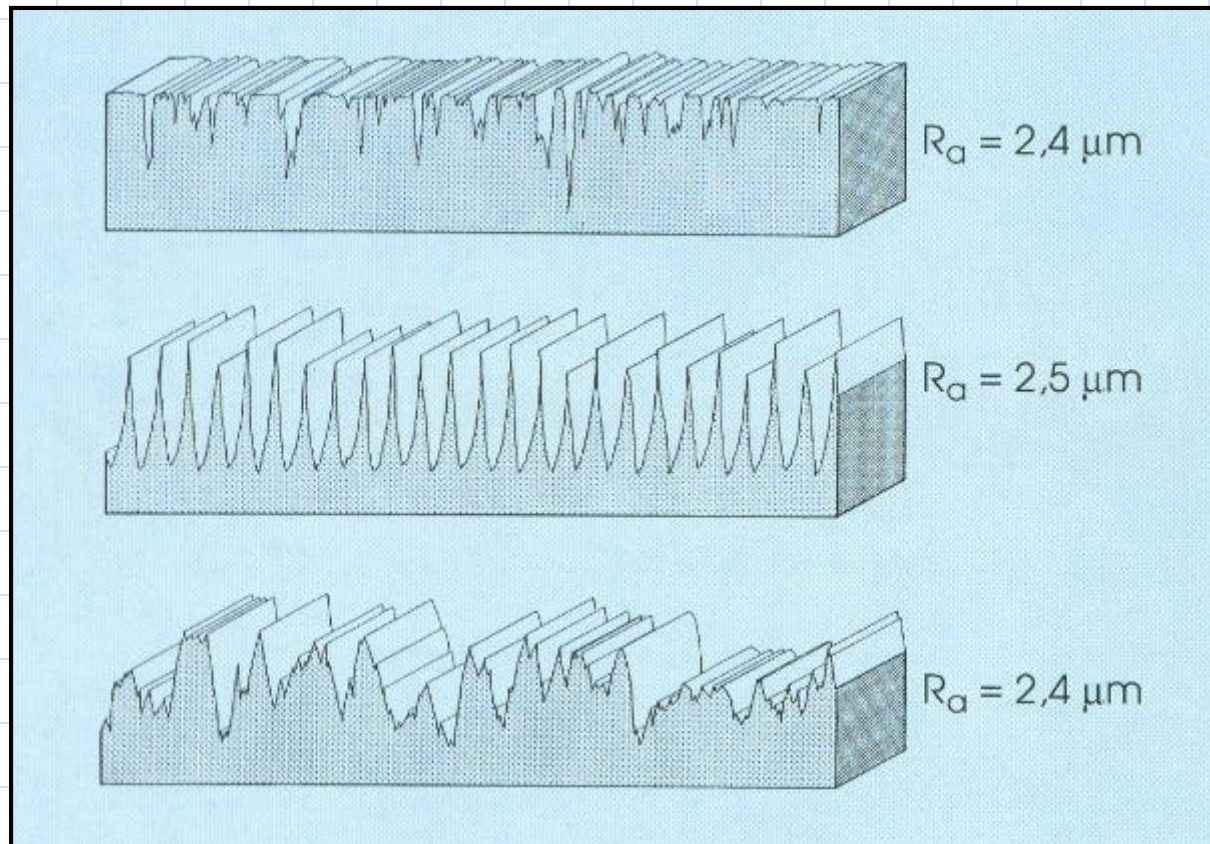
Ra - ISO 4287 - 1997

CLA - BSI 1134 – UK 1961

AA - ASA B46.1 – USA 1955

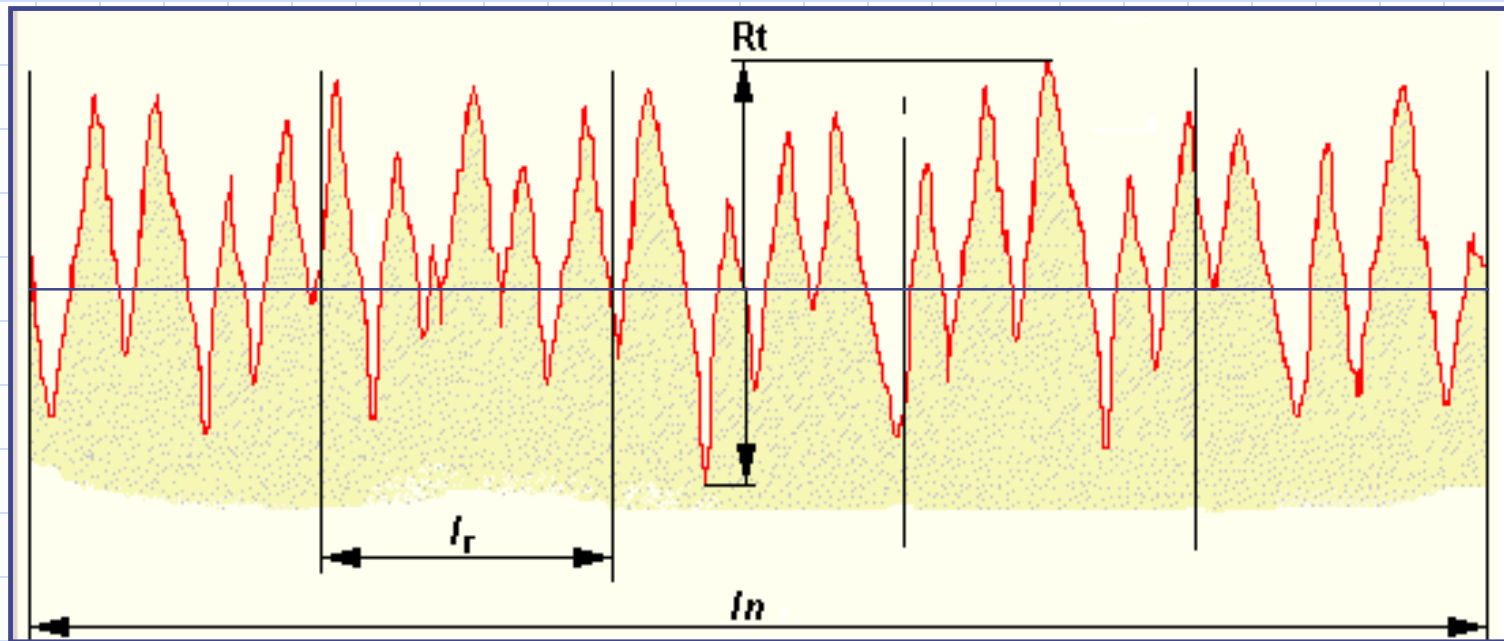


Ra - Limitações



5 – Parâmetros R_t

- R_t :**
- Altura total do perfil
 - Máxima altura pico-vale do perfil no comprimento de medição

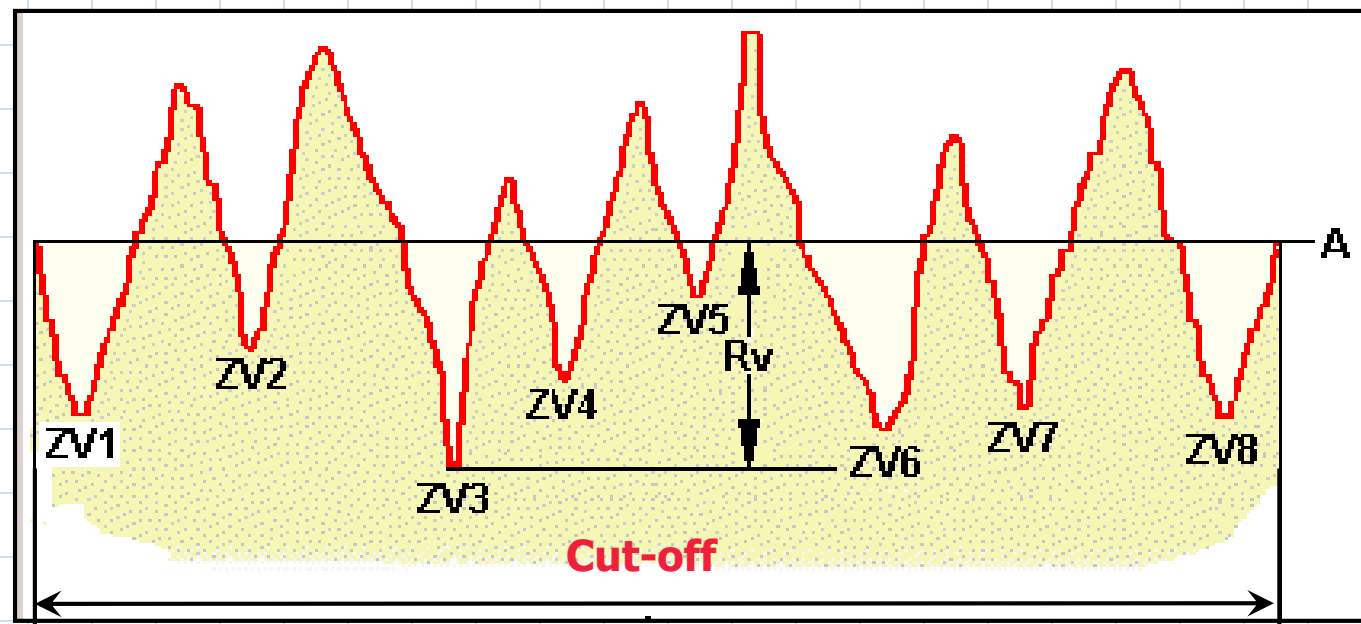


5 – Parâmetros

R_v

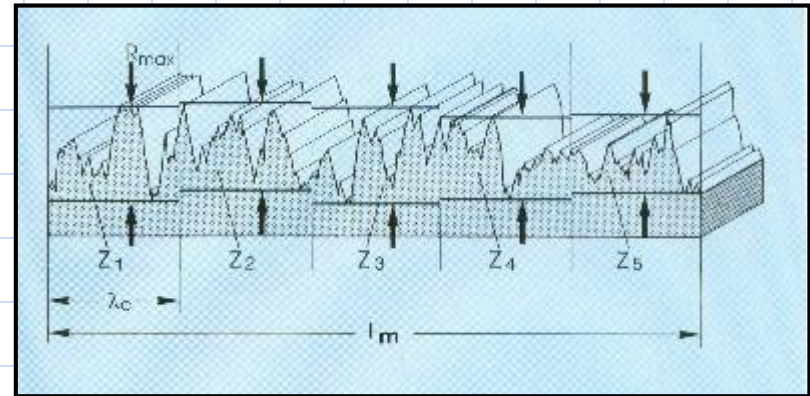
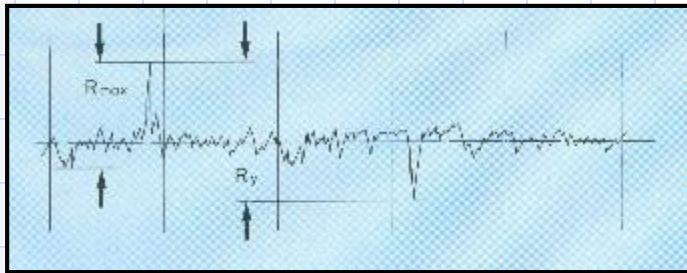
R_v :

- Máxima profundidade de vale

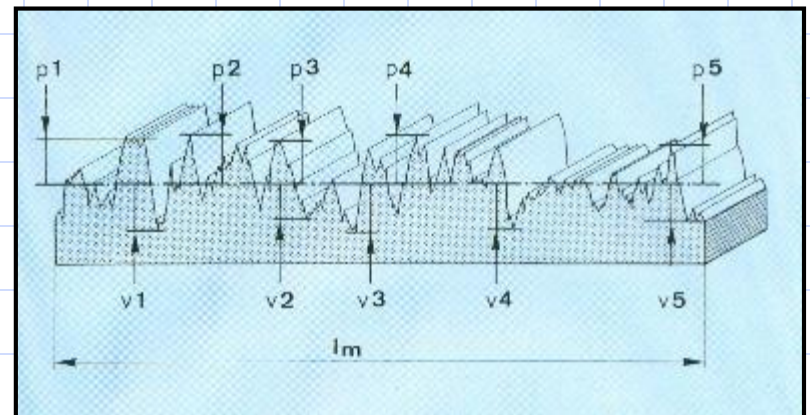


5 – Parâmetros

$R_{\max}$ ($R_{y\max}$): Altura Média Pico-Vale



R_z (R_{tm}): Altura Média Pico-Vale

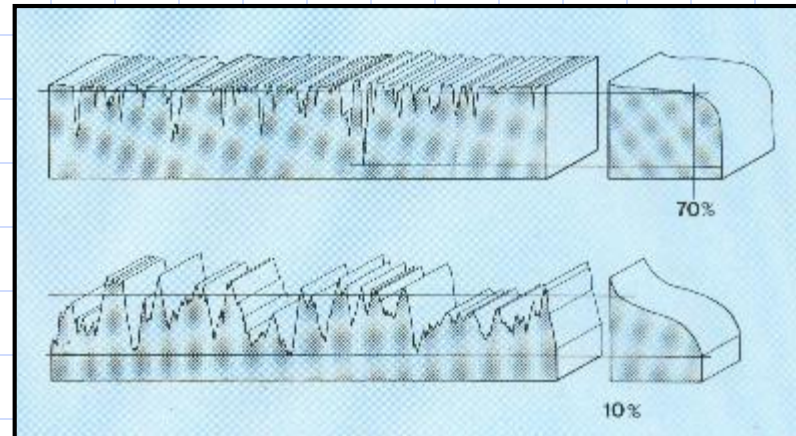
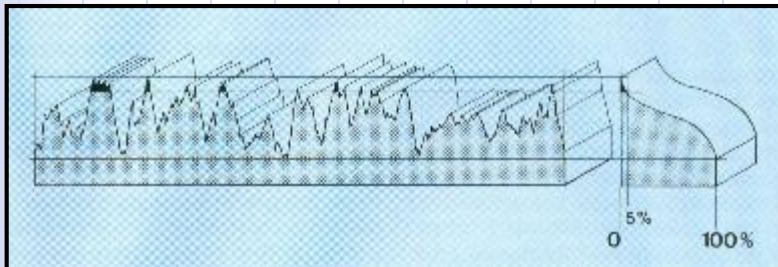
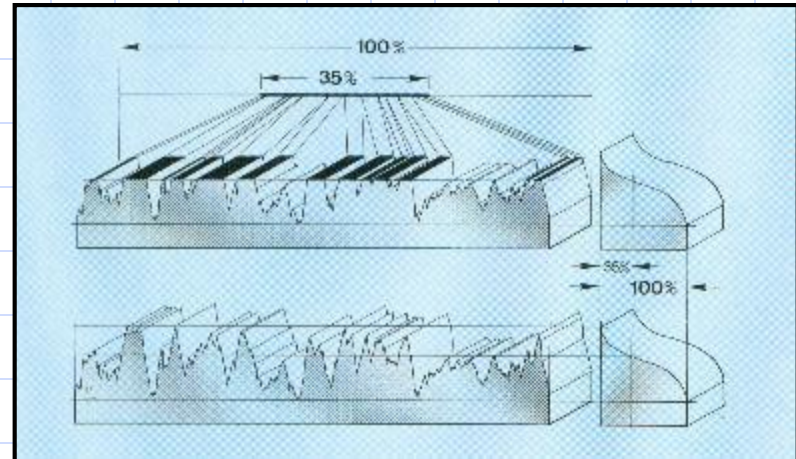


5 – Parâmetros

Curva de Abbot-Firestone

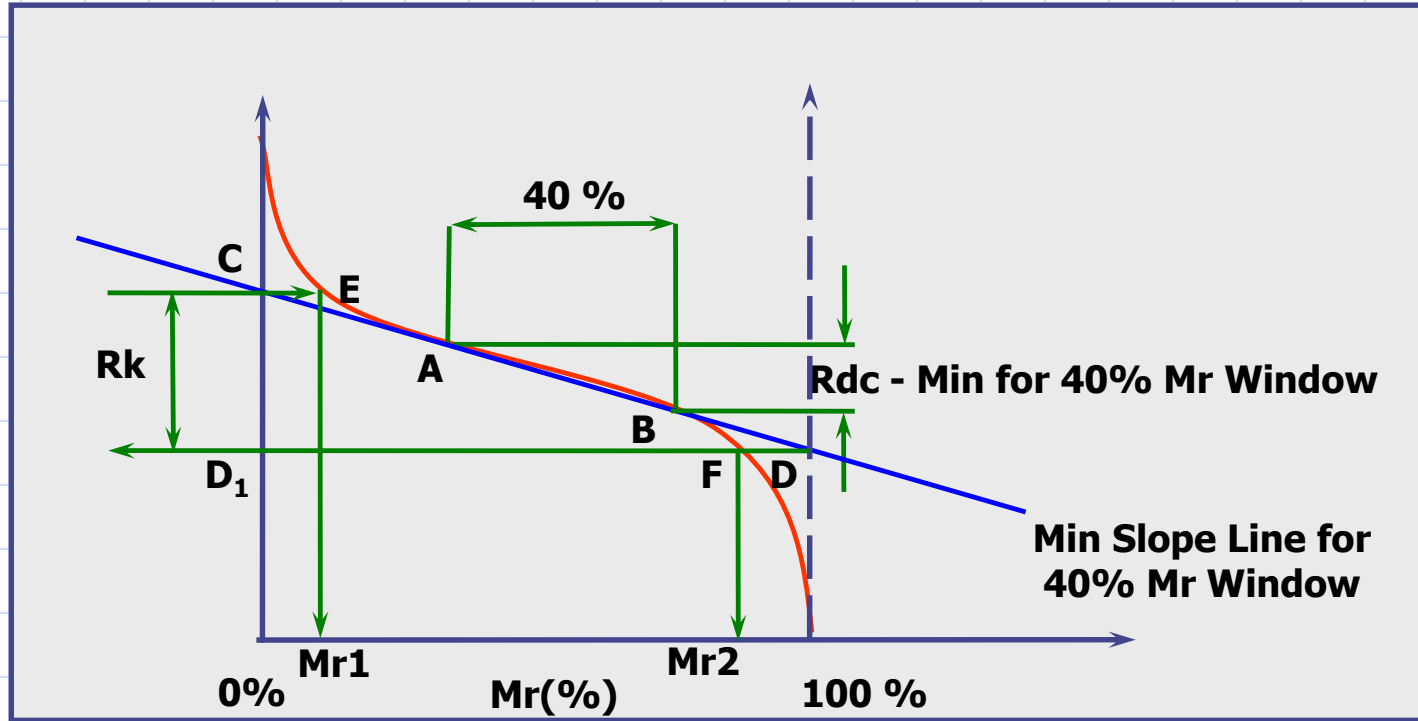
**Coeficiente de
preenchimento**

Curva MR (Material Ratio)



Série Rk:

Utilização na indústria automotiva



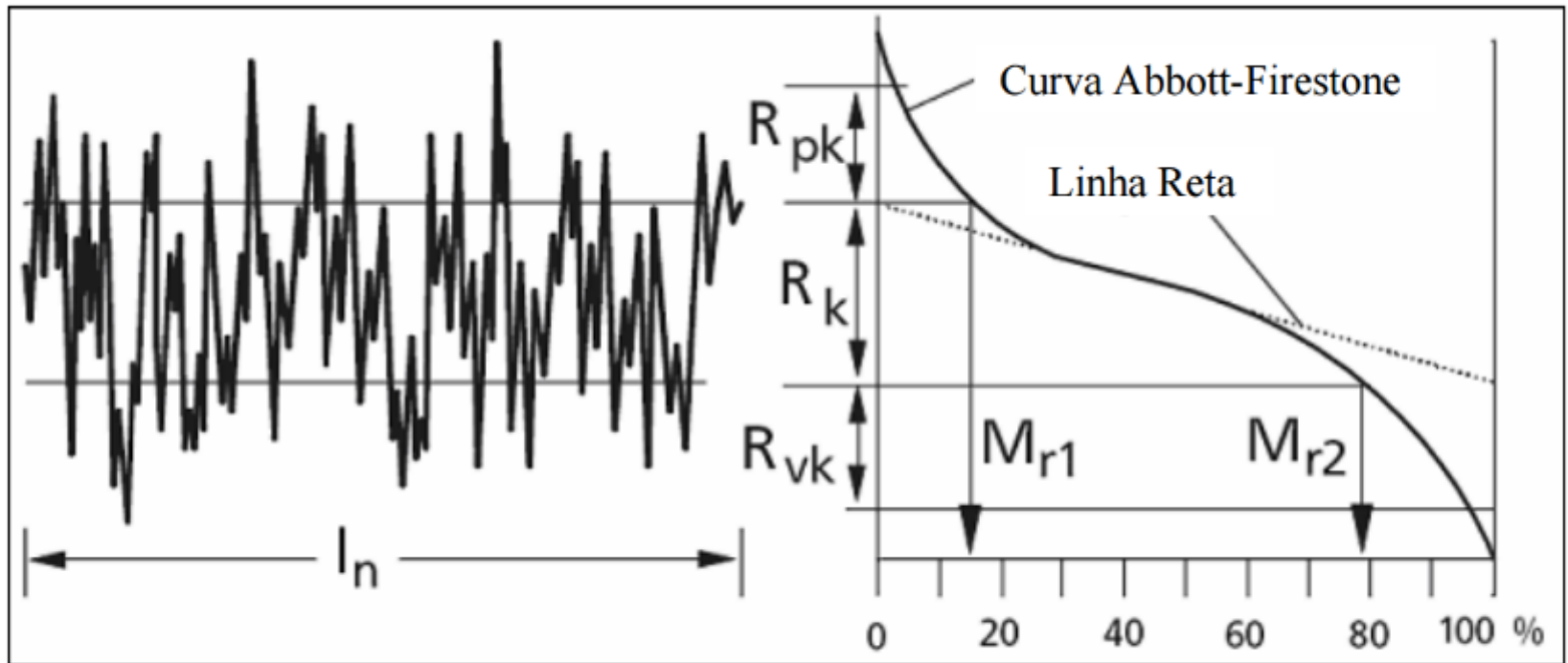
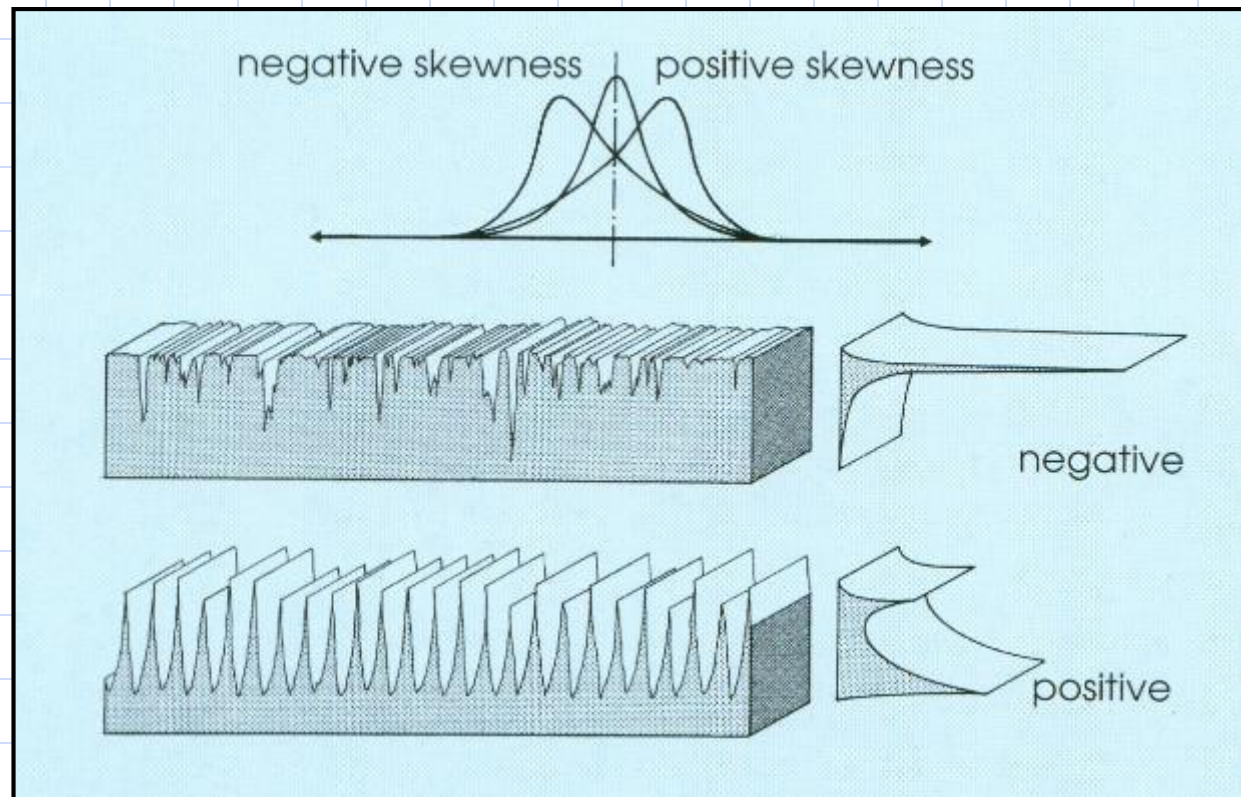


Figura 16: Demonstração da Curva de Abbott-Firestone, (MAHR, 1999).

Onde: R_{pk} representa a quantidade de superfície que será desgastada durante a carga inicial; R_k identifica a quantidade de superfície que suportará a maior parte da carga; R_{vk} é a quantidade de superfície que absorverá a maior parte de lubrificante; $Mr1$ é a relação de material que conecta R_{pk} e R_k ; e $Mr2$ é a relação que conecta R_k e R_{vk} . Os parâmetros R_k , R_{pk} , R_{vk} , $Mr1$, $Mr2$ são determinados conforme normas DIN EN ISO 13565 1 e 2. Para o cálculo dos parâmetros R_k , a curva se aproxima de uma linha retilínea Curva Abbott-Firestone Linha Reta que a secciona em três zonas de rugosidade parcial. A primeira zona (R_{pk}) é a região dos picos, a região central (R_k) é denominada coração e a região inferior é chamada região dos vales (R_{vk}), (MAHR, 1999). A Figura 17 apresenta uma das curvas de Abbott-Firestone obtidas durante os ensaios e os parâmetros obtidos pelo software analisador

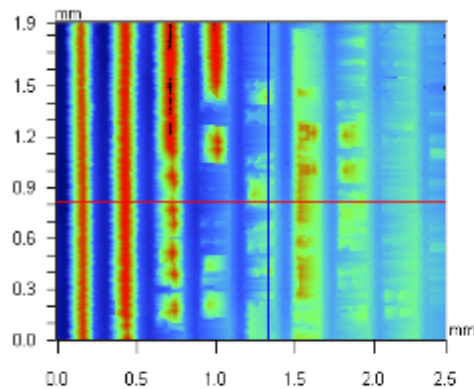
5 – Parâmetros

Sk : Skewness



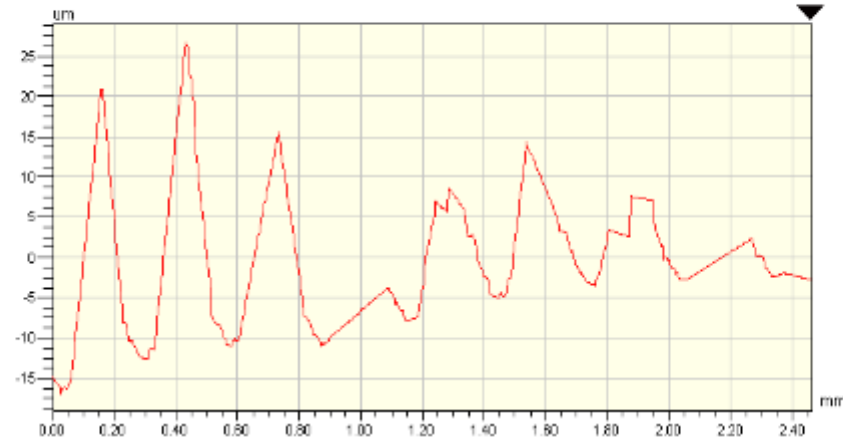
2D

Exemplo (Optical Surface Profiler (Wyko NT1100))



X	1.33	-	-	mm
Y	0.81	-	-	mm
Ht	5.86	-	-	um
Dist	-	-	-	mm
Angle	-	-	-	°

X Profile



Rq	7.96 um
Ra	6.20 um
Rt	43.64 um
Rp	26.74 um
Rv	-16.90 um

Angle	4.90 mrad
Curve	-0.37 m
Terms	None
Avg Ht	-0.21 um
Area	-509.07 um2

Y Profile



Rq	3.22 um
Ra	2.57 um
Rt	15.40 um
Rp	11.13 um
Rv	-4.27 um

Angle	-2.83 mrad
Curve	-0.16 m
Terms	None

Exemplo (Optical Surface Profiler (Wyko NT1100))



Mag: 2.5 X

Mode: VSI

Surface Data

Date: 05/05/2017

Time: 11:50:15

Surface Statistics:

Ra: 6.19 μm

Rq: 8.40 μm

Rz: 45.71 μm

Rt: 45.99 μm

Set-up Parameters:

Size: 736 X 480

Sampling: 3.34 μm

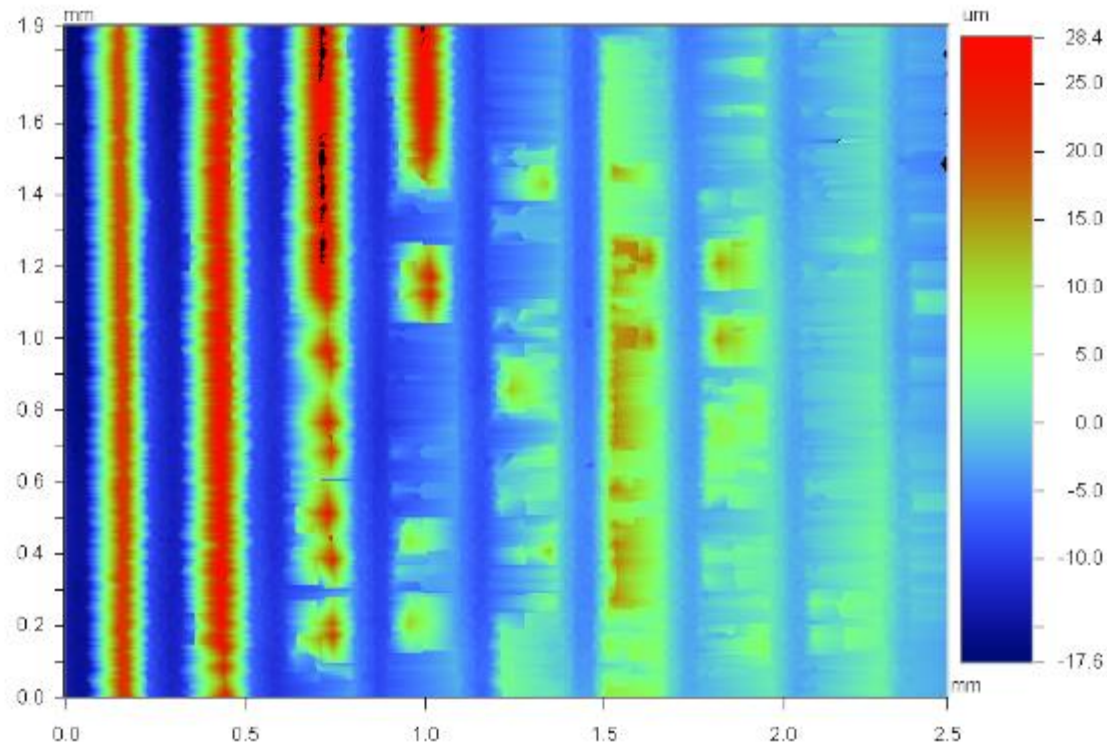
Processed Options:

Terms Removed:

Tilt

Filtering:

None



2D

Exemplo (Optical Surface Profiler (Wyko NT1100))



3-Dimensional Interactive Display

Date: 05/05/2017

Time: 11:50:15

Surface Stats:

Ra: 6.19 μm

Rq: 8.40 μm

Rt: 45.99 μm

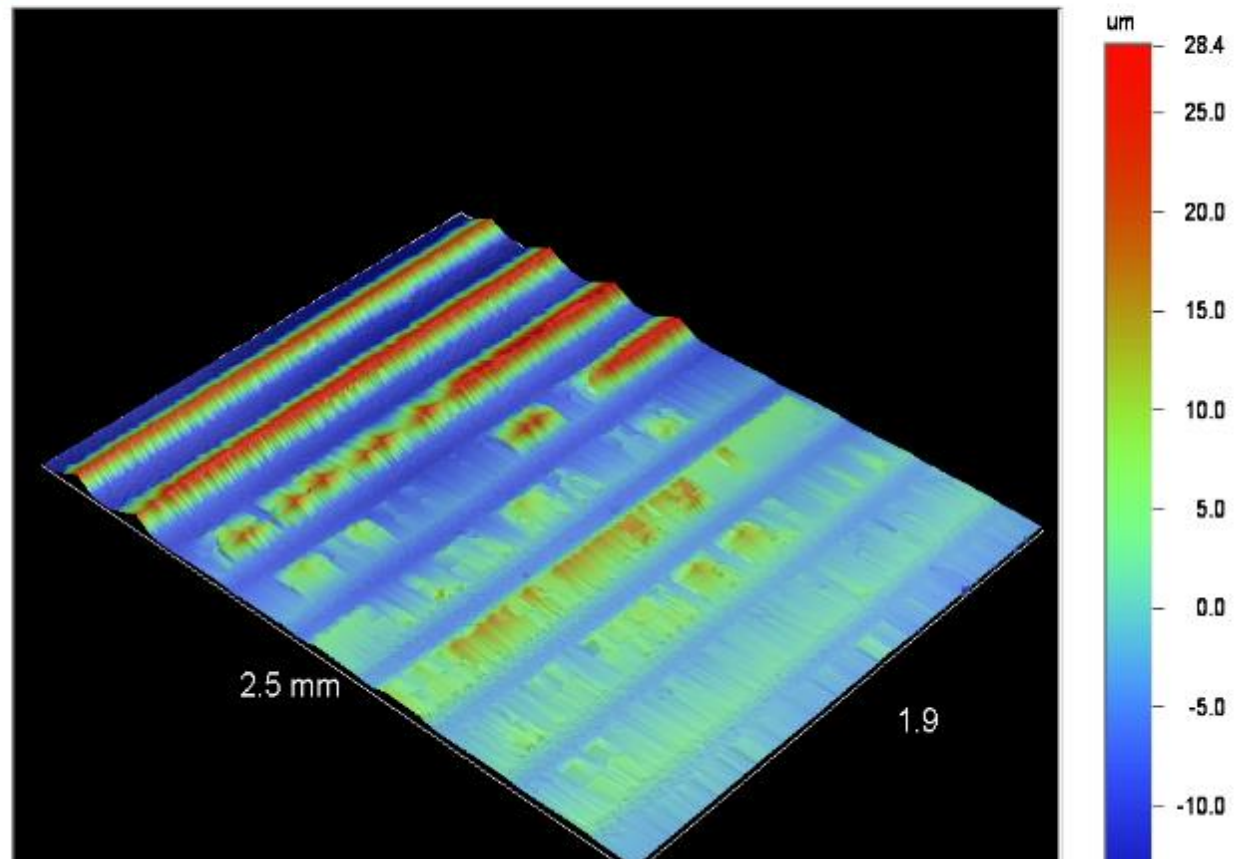
Measurement Info:

Magnification: 2.51

Measurement Mode: VSI

Sampling: 3.34 μm

Array Size: 736 X 480



Exemplo (Optical Surface Profiler (Wyko NT1100))



Mag: 2.5 X

Mode: VSI

Date: 05/05/2017

Time: 11:50:15

Statistics:

tp1: 0.0 %

tp2: 100.0 %

Htp: 45.99 um

Mr1: 17.79 %

Mr2: 86.14 %

RK: 14588.00 nm

Rpk: 15948.63 nm

Rvk: 6238.86 nm

V1: 1.42 um

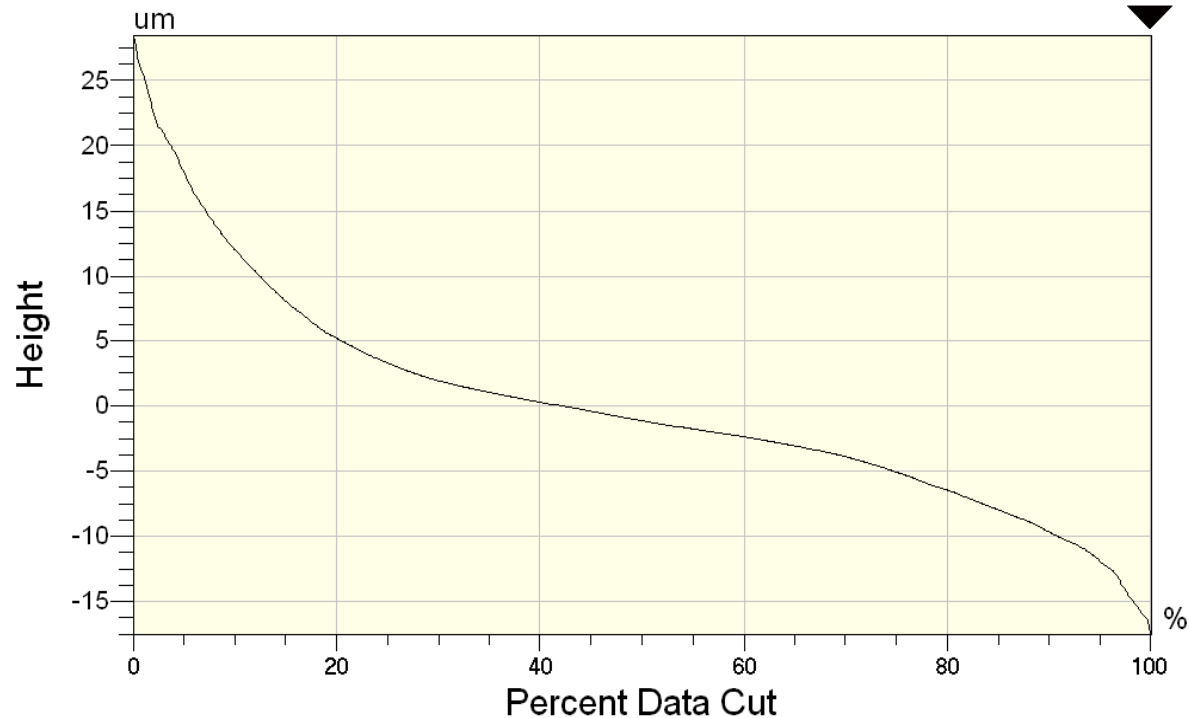
V2: 432.36 nm

Ra: 6.19 um

Rq: 8.40 um

Rz: 45.71 um

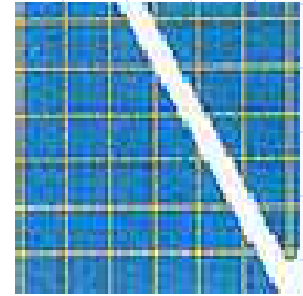
Bearing Ratio



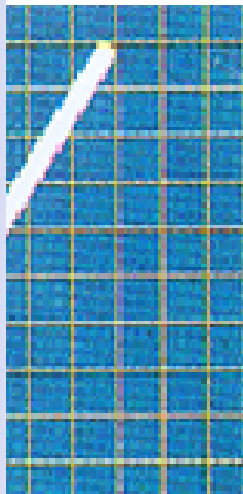
Title:

Simbologia

**Quando a
remoção de
material é
exigida**



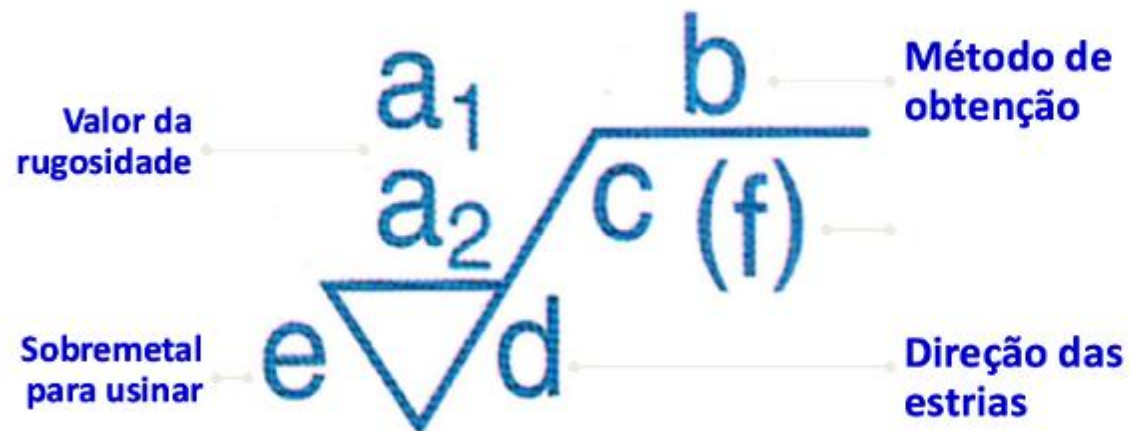
**Quando a
remoção de
material não
é permitida**



**Quando for
necessária a
indicação de**



Simbologia



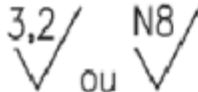
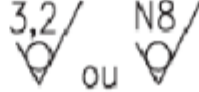
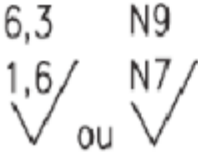
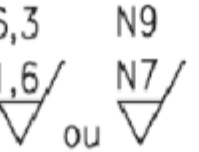
Simbologia: Norma ABNT - NBR 8404/1984

A Norma ABNT - NBR 8404 fixa os símbolos e indicações complementares para a identificação do estado de superfície em desenhos técnicos.

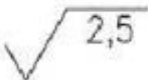
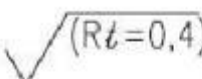
QUADRO 1: SÍMBOLO SEM INDICAÇÃO	
SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Símbolo básico; só pode ser usado quando seu significado for complementado por uma indicação.
	Caracteriza uma superfície usinada, sem mais detalhes.
	Caracteriza uma superfície na qual a remoção de material não é permitida e indica que a superfície deve permanecer no estado resultante de um processo de fabricação anterior, mesmo se ela tiver sido obtida por usinagem.

Simbologia

QUADRO 2: SÍMBOLOS COM INDICAÇÃO DA CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DA RUGOSIDADE, RA

SÍMBOLO			SIGNIFICADO
A remoção do material é:			
facultativa	exigida	não permitida	
			Superfície com rugosidade de valor máximo Ra = 3,2mm.
			Superfície com rugosidade de valor máximo Ra = 6,3mm e mínimo Ra = 1,6mm.

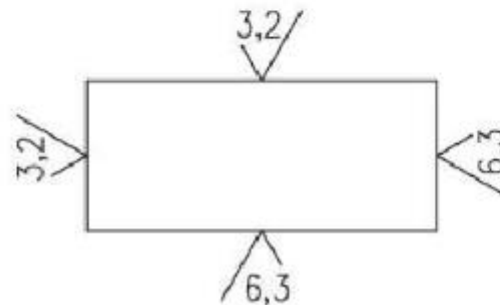
QUADRO 3: SÍMBOLOS COM INDICAÇÕES COMPLEMENTARES

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Processo de fabricação: fresar.
	Comprimento de amostragem <i>cut off</i> = 2,5 mm.
	Direção das estrias: perpendicular ao plano; projeção da vista.
	Sobremetal para usinagem = 2mm.
	Indicação (entre parênteses) de um outro parâmetro de rugosidade diferente de Ra, por exemplo, Rt = 0,4 mm.

QUADRO 4: SÍMBOLOS PARA INDICAÇÕES SIMPLIFICADAS	
SÍMBOLO	SIGNIFICADO
✓	Uma indicação complementar explica o significado do símbolo.
Y ✓ Z ✓	Uma indicação complementar explica o significado dos símbolos.

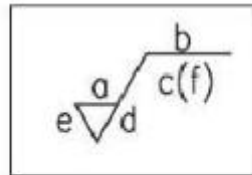
Indicação nos desenhos

Os símbolos e inscrições devem estar orientados de maneira que possam ser lidos tanto com o desenho na posição normal como pelo lado direito.



Indicações do estado de superfície no símbolo

Cada uma das indicações do estado de superfície é disposta em relação ao símbolo.



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

b = método de fabricação, tratamento ou revestimento

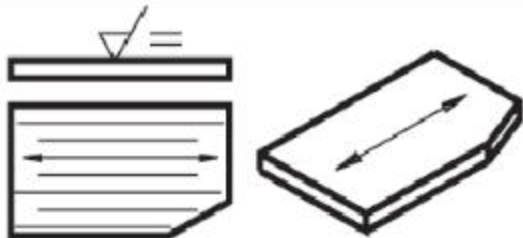
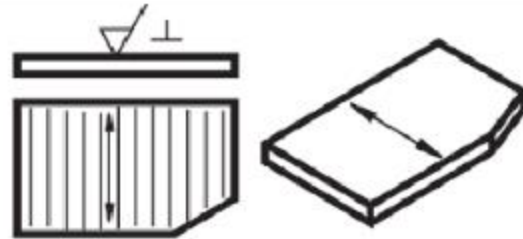
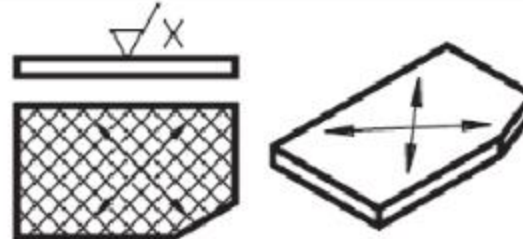
c = comprimento de amostra, em milímetro (*cut off*)

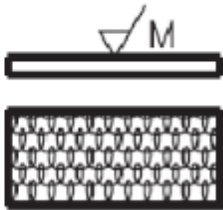
d = direção de estrias

e = sobremetal para usinagem, em milímetro

f = outros parâmetros de rugosidade (entre parênteses)

QUADRO 5: SÍMBOLO PARA DIREÇÃO DAS ESTRIAS

SÍMBOLO	INTERPRETAÇÃO	
=	Paralela ao plano de projeção da vista sobre o qual o símbolo é aplicado.	
^	Perpendicular ao plano de projeção da vista sobre o qual o símbolo é aplicado.	
X	Cruzadas em duas direções oblíquas em relação ao plano de projeção da vista sobre o qual o símbolo é aplicado.	

M	Muitas direções.	
C	Aproximadamente central em relação ao ponto médio da superfície ao qual o símbolo é referido.	
R	Aproximadamente radial em relação ao ponto médio da superfície ao qual o símbolo é referido.	

5 – Parâmetros Tolerâncias

Maximum allowable total height R_t (R_{max}) in micrometres.													
Nominal diameter steps (mm)	ISO tolerance grades												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1-3	1	1.6	2.5	4	6.3	10	16	25	40	63	100		
3-6	1	1.6	2.5	4	6.3	10	16	25	40	63	100		
6-10	1.6	2.5	4	6.3	10	16	25	40	63	100	160		
10-18	1.6	2.5	4	6.3	10	16	25	40	63	100	160		
18-30	2.5	4	6.3	10	16	25	40	63	100	160	250		
30-50	2.5	4	6.3	10	16	25	40	63	100	160	250		
50-80	2.5	4	6.3	10	16	25	40	63	100	160	250		
80-120	4	6.3	10	16	25	40	63	100	160	250	250		
120-180	4	6.3	10	16	25	40	63	100	160	250	250		
180-250	4	6.3	10	16	25	40	63	100	160	250	250		
250-315	6.3	10	16	25	40	63	100	160	250	250	250		
315-400	6.3	10	16	25	40	63	100	160	250	250	250		
400-500	6.3	10	16	25	40	63	100	160	250	250	250		
500-630			16	25	40	63	100	160	250	250	250	250	250
630-800			16	25	40	63	100	160	250	250	250	250	250
800-1000			25	40	63	100	160	250	250	250	250	250	250
1000-1250			25	40	63	100	160	250	250	250	250	250	250
1250-1600			25	40	63	100	160	250	250	250	250	250	250
1600-2000			40	63	100	160	250	250	250	250	250	250	250
2000-2500			40	63	100	160	250	250	250	250	250	250	250
2500-3150			40	63	100	160	250	250	250	250	250	250	250
3150-4000			63	100	160	250	250	250	250	250	250	250	250
4000-5000			63	100	160	250	250	250	250	250	250	250	250
5000-6300			63	100	160	250	250	250	250	250	250	250	250
6300-8000			100	160	250	250	250	250	250	250	250	250	250
8000-10 000			100	160	250	250	250	250	250	250	250	250	250