

Usinagem é termo empregado a um grupo de processos cuja função é produzir formas (superfícies) o mais próximo possível do ideal sem provocar alterações das propriedades do material usinado.

ENTRETANTO...

DESVIOS ACONTECEM

- ✦ Na superfície : desvios geométricos (macro e micro)
- ✦ Na subsuperfície: microestrutura e propriedades físico-mecânicas

DESVIOS MACROGEOMÉTRICOS

Forma, orientação, posição e batimento (NBR 6409)

| Característica tolerada | | Símbolo | Item |
|-------------------------|-------------------------------|---|----------|
| Forma | Retitude | — | 5.9.1 |
| | Planeza |  | 5.9.2 |
| | Circularidade |  | 5.9.3 |
| | Cilindricidade |  | 5.9.4 |
| | Perfil de linha qualquer |  | 5.9.5 |
| | Perfil de superfície qualquer |  | 5.9.6 |
| Orientação | Paralelismo |  | 5.9.7 |
| | Perpendicularidade |  | 5.9.8 |
| | Inclinação |  | 5.9.9 |
| Posição | Posição |  | 5.9.10 |
| | Concentricidade |  | 5.9.11 |
| | Coaxialidade |  | 5.9.12 |
| | Simetria |  | 5.9.13 |
| Batimento | Circular |  | 5.9.14.1 |
| | Total |  | 5.9.14.2 |

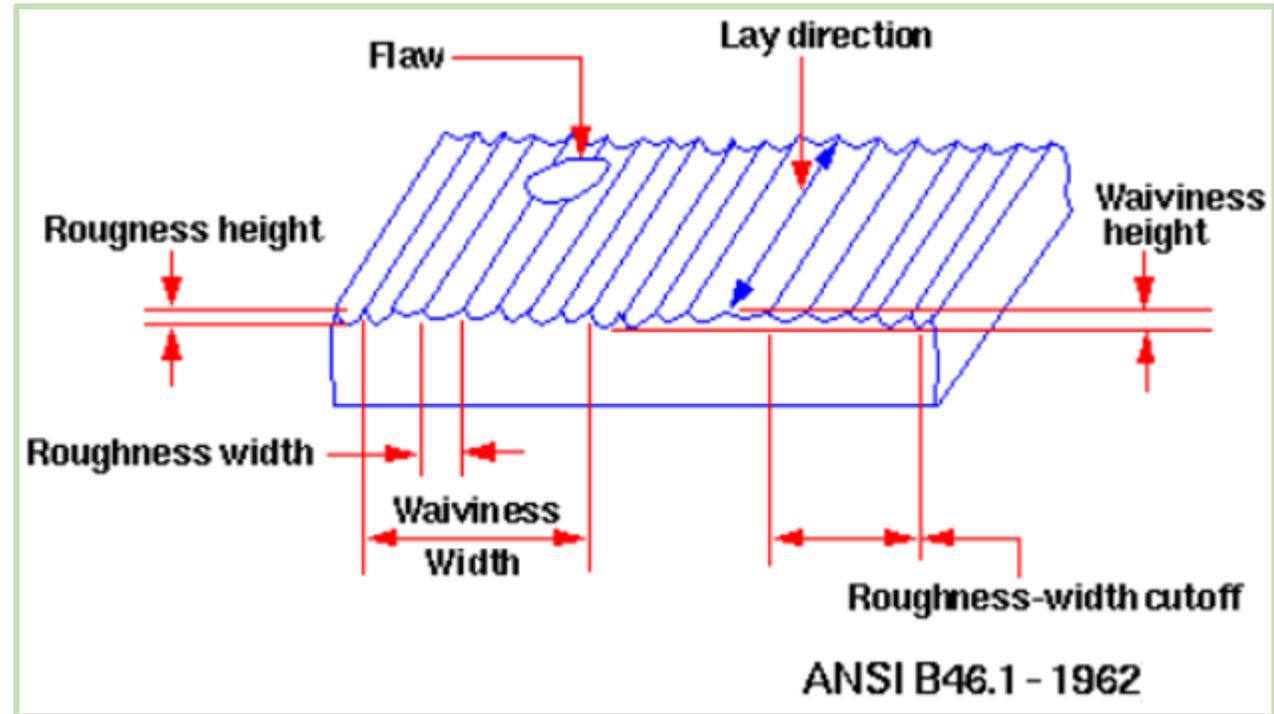
DESVIOS MICROGEOMÉTRICOS

textura

Ondulações

Rugosidade

Falhas (riscos, porosidades, resíduos da aresta postiça ou do cavaco)

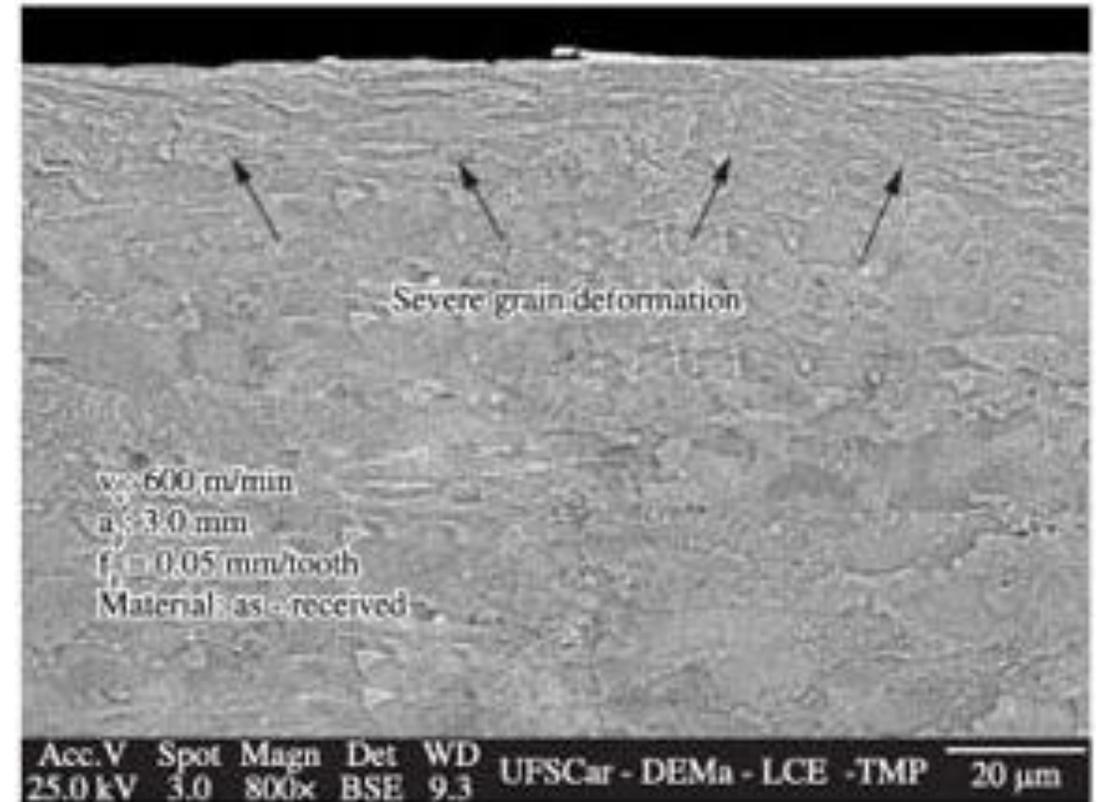
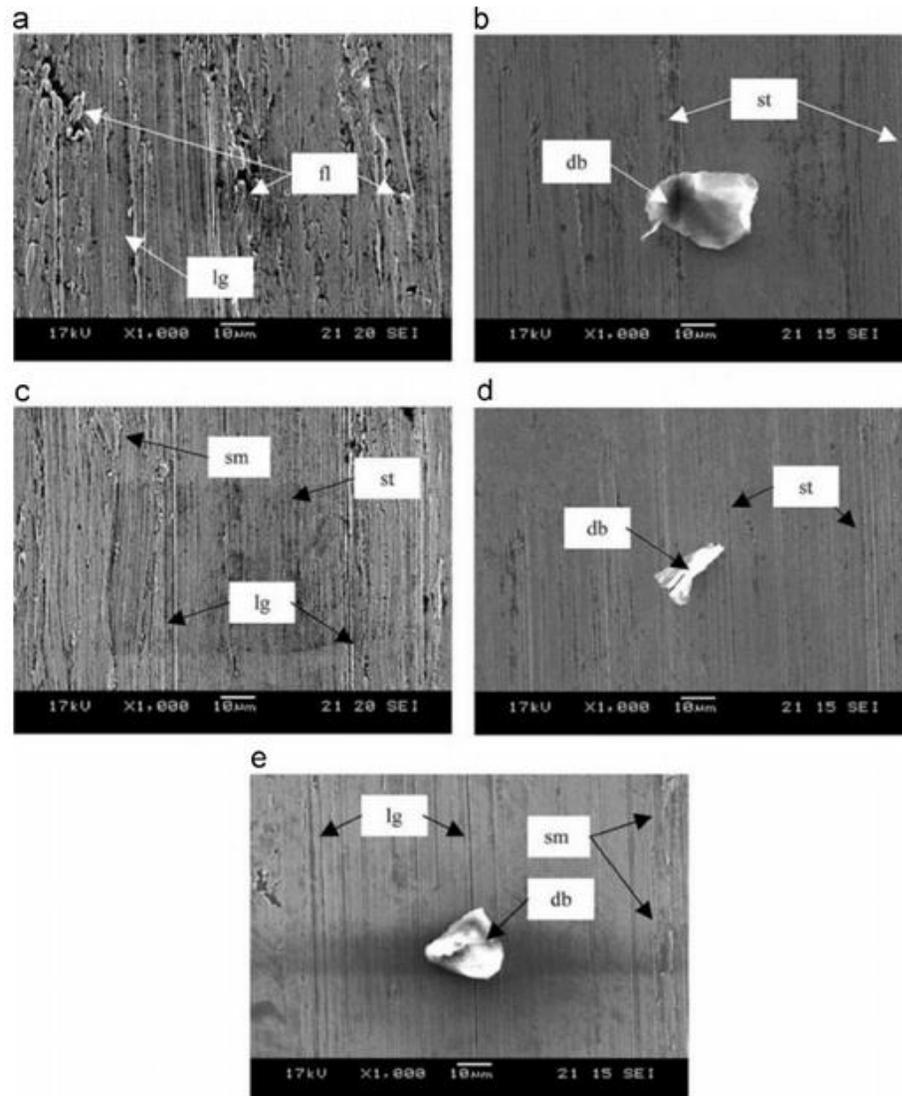


ALTERAÇÕES NA SUBSUPERFÍCIE

ALTERAÇÕES MECÂNICAS-METALÚRGICAS

- Deformações plásticas
- Trincas
- Recristalização
- Transformação de fase
- Tensões residuais

Deformações plásticas



Fonte: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392011005000094>

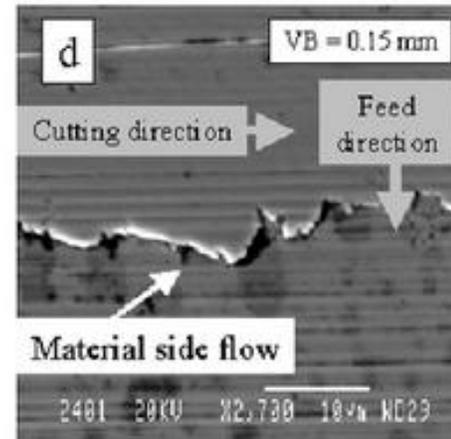
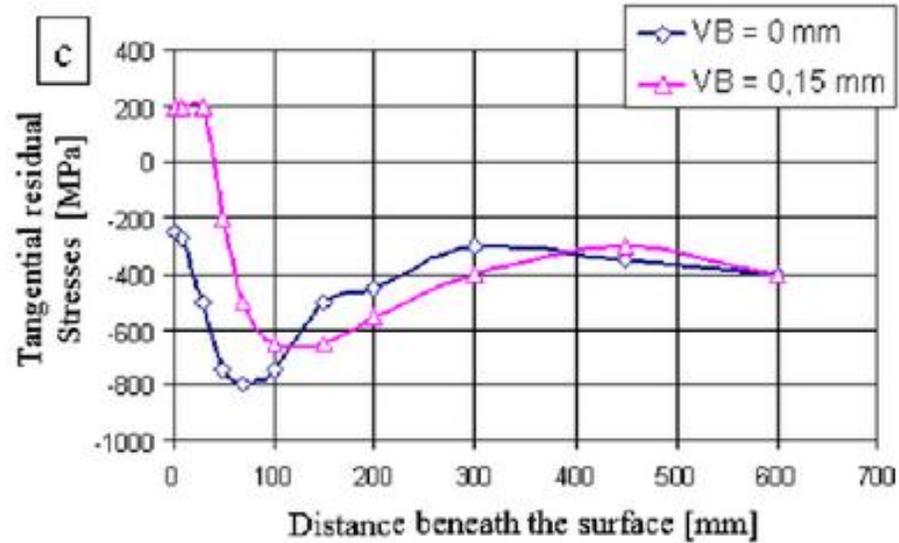
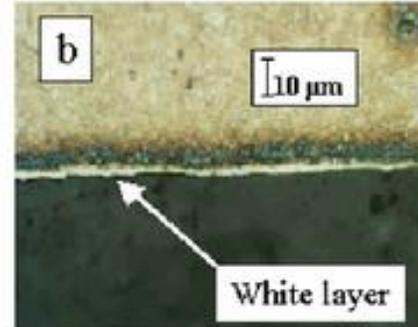
Fig. 3. SEM pictures of the machined surface during face turning of Inconel 718 at V_c of 60 m/min, f of 0.10 mm/rev and a_p of 0.5 mm produced at distances (a) 5 mm, (b) 10 mm, (c) 15 mm, (d) 20 mm, and (e) 25 mm from the periphery on the X-axis (fl, flash; lg, long grooves; sm, smeared material; mf, microfracture; db, metal debris; st, streak) [22].

Tensões residuais

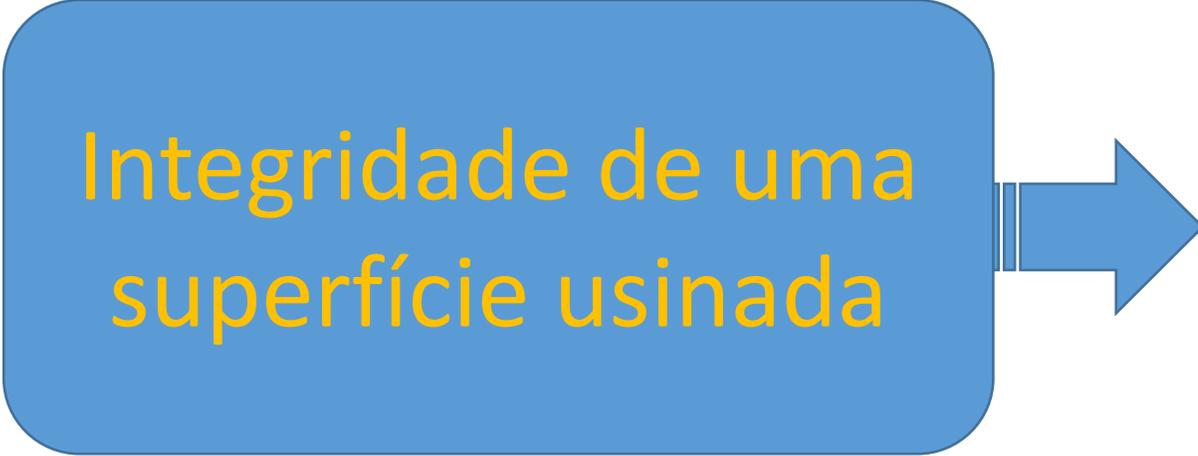
a



Cutting conditions in hard turning :
Tool : TNMG160408 S
 $V_c = 100$ m/min, $a_p = 0.15$ mm, $f = 0.06$ mm/rev



Integridade de uma
superfície usinada



São desvios permanentes na
textura e na camada
subsuperficial após a execução
da usinagem

Importância da Rugosidade

Boa correlação com os parâmetros de corte adotados, em especial o avanço e o raio de ponta da ferramenta , o que facilita o seu controle

- Predizer o comportamento do Componente usinado

- qualidade de deslizamento;
- resistência ao desgaste;
- possibilidade de ajuste do acoplamento forçado;
- resistência oferecida pela superfície ao escoamento de fluidos e lubrificantes;
- qualidade de aderência que a estrutura oferece às camadas protetoras;
- resistência à corrosão e à fadiga;
- vedação;
- aparência.

CARACTERIZAÇÃO DA RUGOSIDADE: PARÂMETROS DE AMPLITUDE

R_a, R_q Rugosidade média

DIN 4762, DIN 4768, ISO 4287/1

Rugosidade média R_a é o valor médio aritmético de todos os desvios do perfil de rugosidade da linha média dentro do comprimento de medição " l_m ".

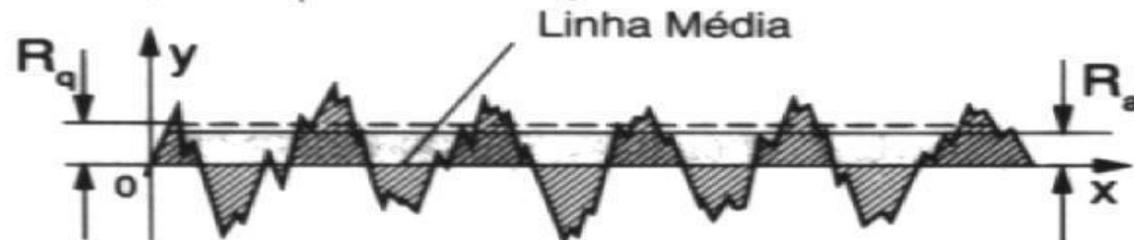
$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

Rugosidade média R_q (DIN 4762/1 E) é o valor médio quadrático de todos os desvios do perfil de rugosidade " R " da reta média dentro do comprimento de medição " l_m ".

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx}$$

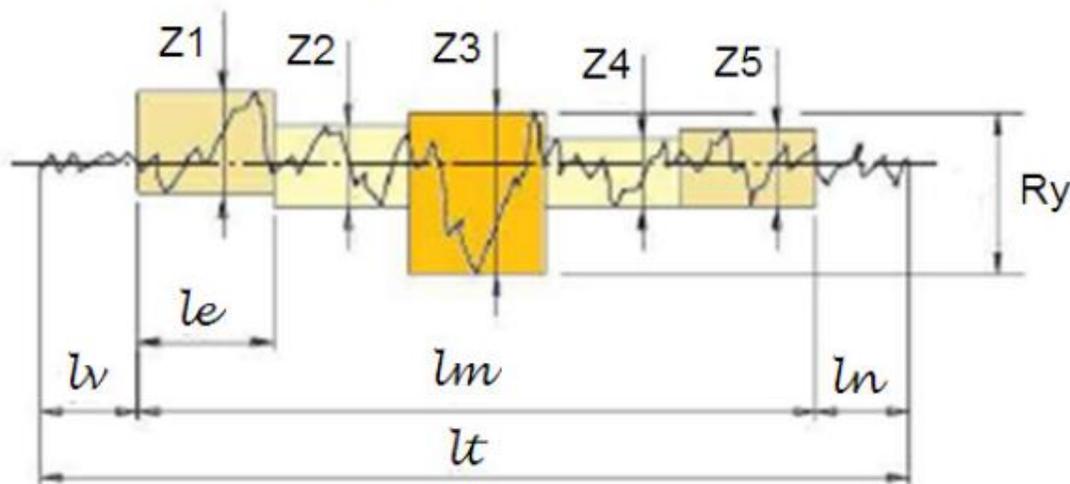
$y(x)$ = desvios do perfil de rugosidade.

OBS: para R_a utiliza-se também as denominações AA e CLA, para R_q a denominação RMS.



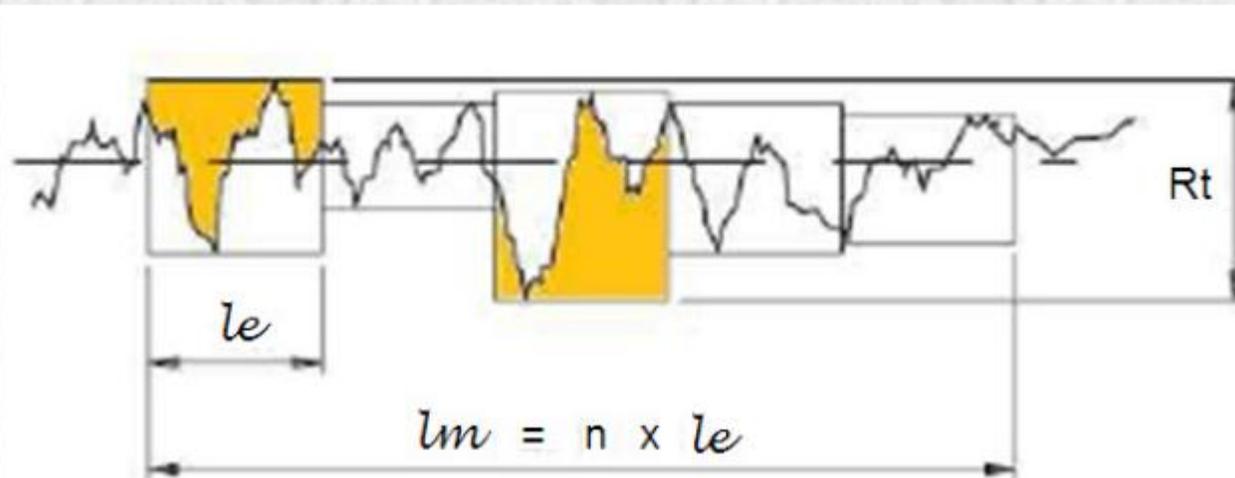
Ry – Rugosidade máxima (atual Rt)

- Definido como o maior valor das rugosidades parciais (Z_i) que se apresenta no percurso de medição (l_m).
- Ex.: na figura abaixo, o maior valor parcial é o Z_3 , que está localizado no 3º cut-off, igual a R_y .
- Obs. NBR 4287 (2002) alterou símbolo para R_t



Rt ou Rmax = Rugosidade Total (atual Rz)

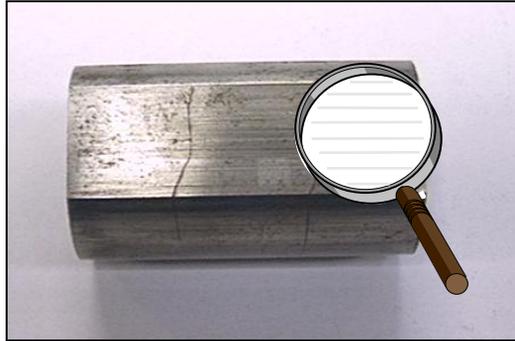
Corresponde à distância vertical entre o pico mais alto e o vale mais profundo no comprimento de avaliação (l_m), independente dos valores de rugosidade parcial (Z_i).



Métodos de Medição & Instrumentação

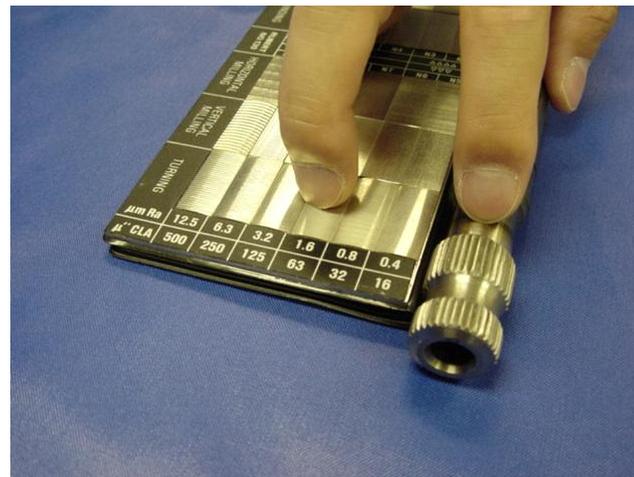
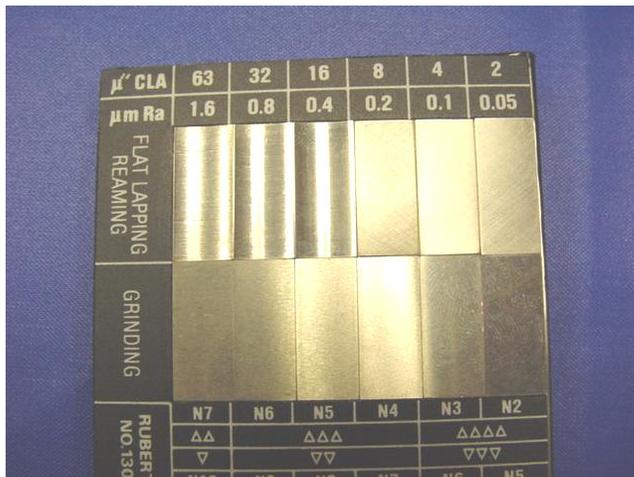
Métodos de Medição

- **Inspeção Visual inicial**



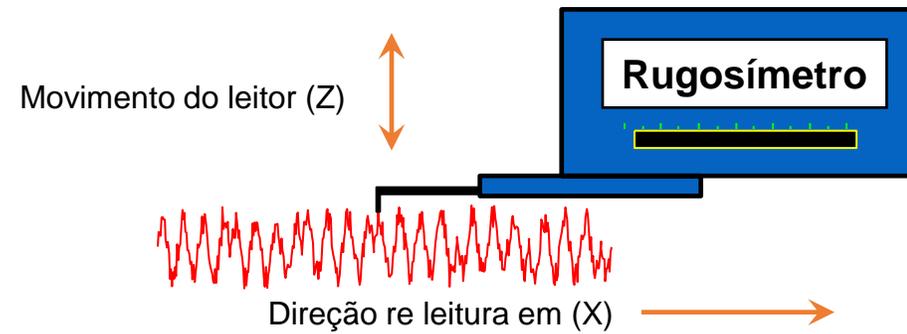
- Direção e posição da rugosidade
- Marcas do processo
- Defeitos / Riscos

- **Gabaritos de comparação**

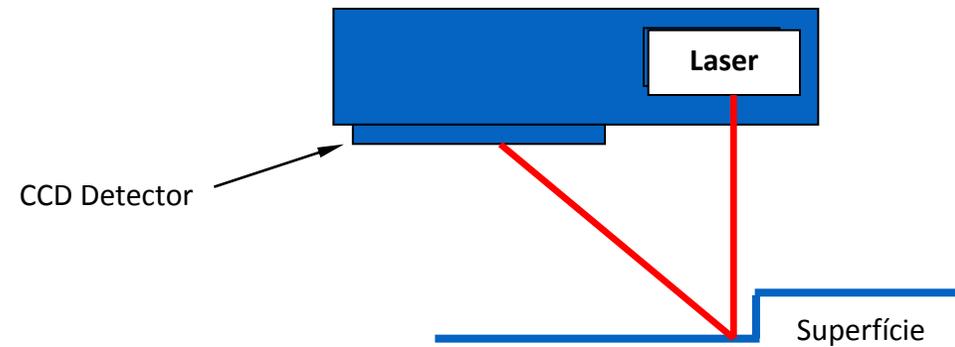


Métodos de Medição & Instrumentação

- **Métodos de contato**

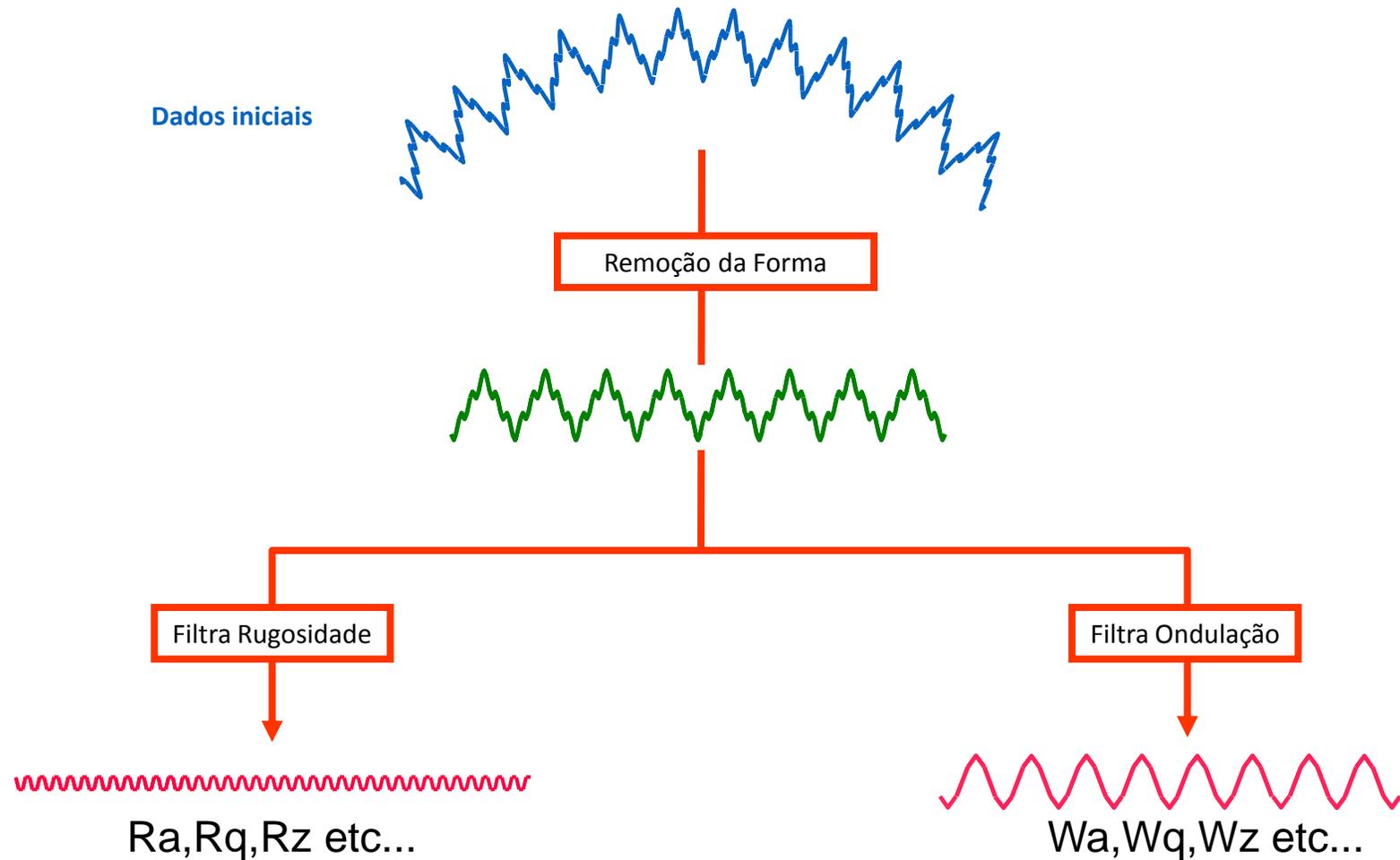


- **Métodos sem contato**



Filtros

Rugosidade, Ondulação e Forma



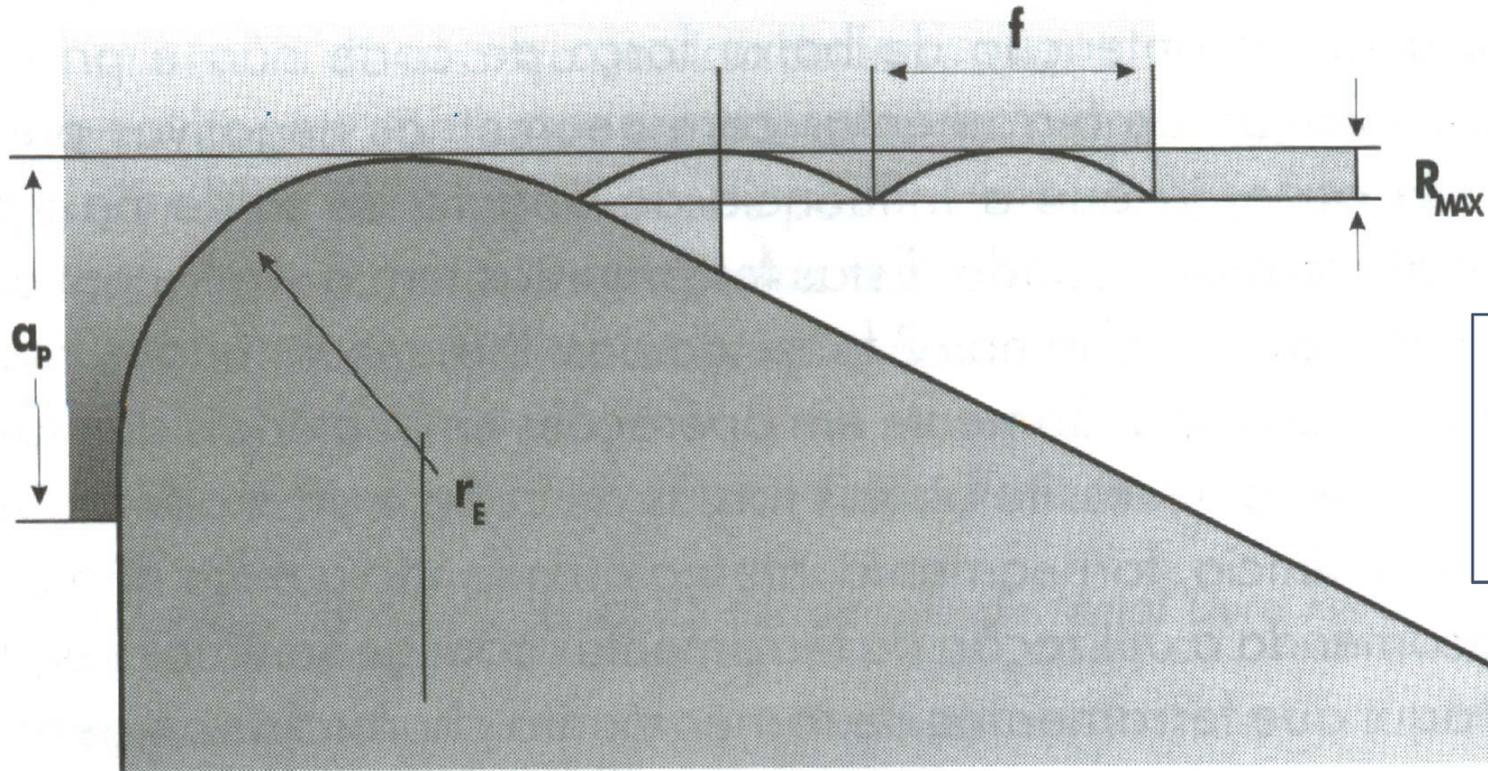
Filtros

Escolhendo o Valor de (Cut-off) Para o Filtro Correto

| Cut-off Recomendados (ISO 4288-1996) | | | | |
|--|------------------------------|----------------|----------------|--|
| Perfis periódicos | Perfis não periódicos | | Cut-off | Comprimento Amostra/ Comprimento Medido |
| Distância do Espaçamento RSm (mm) | Rz (µm) | Ra (µm) | λC (mm) | λC (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 |

Obs. A menos que esteja indicado em projeto a tabela pode ser usada.

RUGOSIDADE NO TORNEAMENTO



$$R_{\max} = R_z > 1000 \frac{f^2}{8r_\epsilon}$$

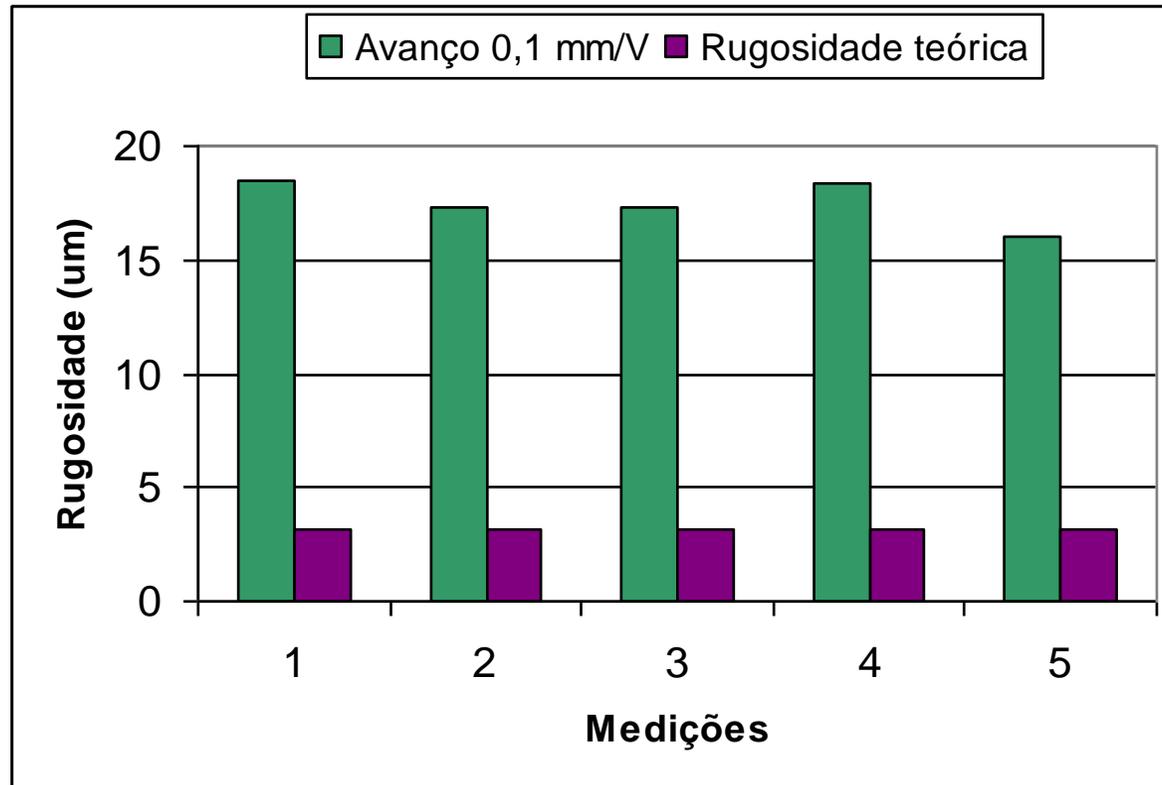
Influência do raio de ponta na rugosidade

Fonte: Coppini, N. L. et al.

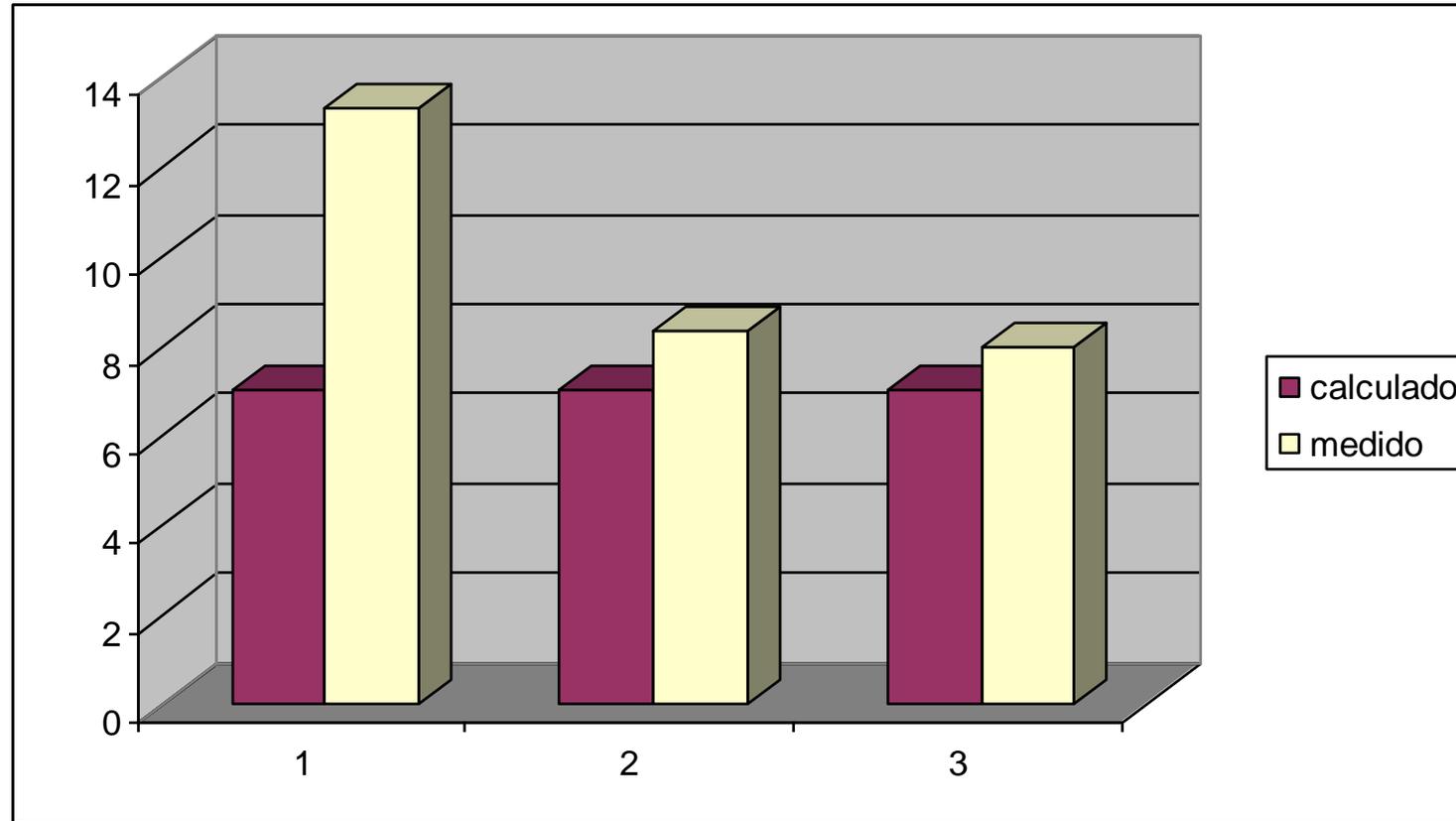
RZ – rugosidade máxima medida com rugosímetro [μm]

f – avanço [mm]

r_ϵ – raio de ponta [mm]



Comparação entre a rugosidade ($R_{\text{máx}}$) medida e a teórica no Torneamento de corpos de prova de ferro fundido cinzento (FC-200) Ferramenta de metal duro (PTG NR 2525-16 – TNMG160404-KF) $V_c = 140$ m/min e $a_p = 0,5$ mm. Trabalho realizado pelos alunos A. S. Holderbaum, C. H. Borsato, C. Poteropski, E. Y. Kuwabara e Casagrande em 1999



Comparação entre a rugosidade ($R_{m\acute{a}x}$) medida e a teórica no Torneamento de corpos de prova de alumínio (6351)
Ferramenta de metal duro (PTG NR 2525-16 – TNMG160404-KF)
 $V_c = 140$ m/min e $a_p = 0,5$ mm. Trabalho realizado pelos alunos
F. L. Luz, A. W. Emerson e A. L. Jacobs em 2001