

# CAPÍTULO 2 - USINAGEM CONVENCIONAL

## USINAGEM PARA ENGENHARIA

A.C. ARAUJO <sup>a</sup>, A.L. MOUGO <sup>b</sup> E F.O. CAMPOS <sup>c</sup>.

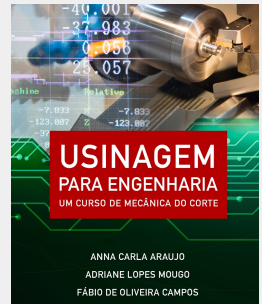
<sup>a</sup> araujo@insa-toulouse.fr, INSA-Toulouse, Institute Clément Ader, França

<sup>b</sup> adriane.mougo@cefet-rj.br, CEFET/RJ, Rio de Janeiro, Brasil

<sup>c</sup> fabio.campos@cefet-rj.br, CEFET/RJ, Rio de Janeiro, Brasil

## SLIDES PROPOSTOS

SETEMBRO DE 2020



## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL

### Cinemática da usinagem

A cinemática dos movimentos efetuados pela máquina-ferramenta e a geometria da ferramenta determinam a forma geométrica gerada na peça. Usualmente, considera-se o movimento da ferramenta como se a peça estivesse estacionária.

A **superfície usinada** é formada de acordo com a posição da ferramenta em relação à peça e com o movimento relativo da ferramenta em relação à **superfície de trabalho**, a superfície da peça que será removida pela usinagem. É chamada de **superfície transitória** aquela que é gerada pela ferramenta mas que será usinada novamente na próxima passagem de uma aresta de corte.

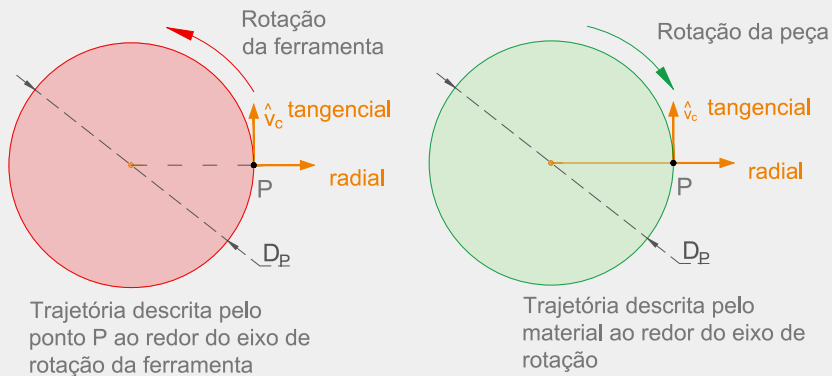
A norma ABNT/ISO 3002 define a nomenclatura de usinagem e inclui direções, movimentos e velocidades do processo de usinagem convencional

## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL

### Movimentos e direções de usinagem

- Movimento ativo de corte
- Movimento passivo de usinagem
- Movimento de corte
- Movimento de avanço
- Movimento efetivo de corte
- Ponto de referência **P** da aresta de corte
- Direção de corte  $\hat{v}_c$
- Direção de avanço  $\hat{v}_f$
- Direção efetiva de corte  $\hat{v}_e$

## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL



**Figura 1:** Vetor unitário da direção de corte [Araujo, Mougo e Campos 2020]

## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL

O vetor **velocidade de corte**  $\vec{V}_c$  está orientado segundo a direção de corte e tem módulo  $V_c$ , usualmente expresso em  $m/min$ . O vetor **velocidade de avanço**  $\vec{V}_f$  está orientado segundo a direção de avanço e tem módulo usualmente expresso em  $mm/min$ , com valor bem menor que a velocidade de corte. O vetor **velocidade efetiva de corte**  $\vec{V}_e$  é a soma vetorial:

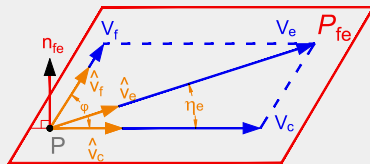
$$\vec{V}_e = \vec{V}_c + \vec{V}_f \quad \longrightarrow \quad \hat{v}_e = \frac{\vec{V}_c + \vec{V}_f}{\|\vec{V}_c + \vec{V}_f\|} \quad (1)$$

O ângulo entre a velocidade de corte e de avanço é o **ângulo da direção de avanço**  $\varphi$  e o ângulo entre a velocidade efetiva de corte e a velocidade de corte é o **ângulo da velocidade efetiva de corte**  $\eta_e$ .

## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL

A velocidade de rotação  $N$  (rpm) é calculada em função do módulo da velocidade de corte  $\vec{V}_c$  desejada, considerando a distância  $R_P$  (mm) do ponto de referência **P** ao eixo de rotação ( $D_P = 2 R_P$ ):

$$N(\text{rpm}) = \frac{V_c(\text{mm/min})}{2\pi R_P(\text{mm})} = \frac{1000 V_c(\text{m/min})}{\pi D_P(\text{mm})} \quad (2)$$



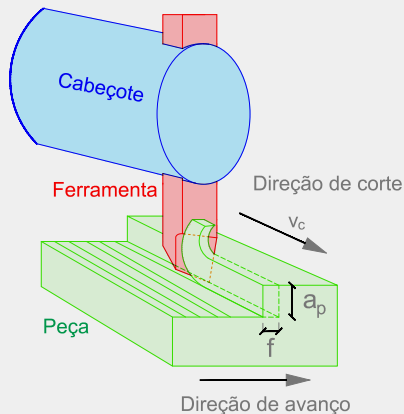
**Figura 2:** Plano de trabalho efetivo  $P_{fe}$  [Araujo, Mougo e Campos 2020]

## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL

### Avanço e profundidade de corte

- O percurso de avanço, ou simplesmente **avanço**  $f$  é o comprimento percorrido pelo ponto de referência P para remover uma nova parcela de material (mm). É medida na direção de avanço sobre a trajetória percorrida pela ferramenta. Em processos rotativos, a remoção é contínua e o avanço é medido a cada rotação (mm/rot).
- No caso de ferramentas rotativas é usual fazer referência ao avanço por rotação chamado de **avanço por aresta** ou avanço por dente,  $f_z$  (mm/dente).
- A **profundidade de corte**  $a_p$  é a profundidade de penetração da aresta de corte, relacionada com a posição relativa entre o ponto de referência da ferramenta e a superfície de trabalho. É medida sempre na direção do vetor normal ao plano de trabalho  $\hat{n}_{fe}$ .

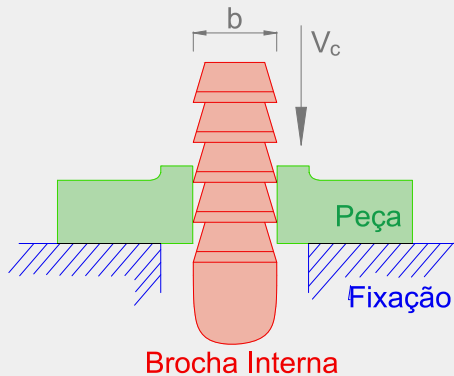
## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL



**Figura 3:** Processo de aplainamento [Araujo, Mougo e Campos 2020]



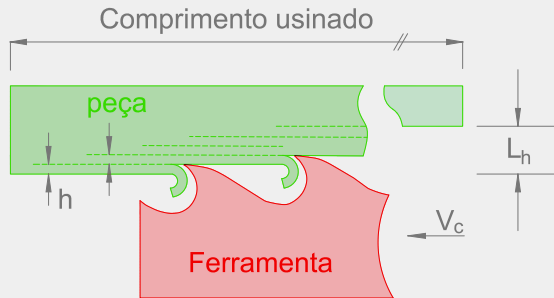
## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL



**Figura 4:** Processo de brochamento [Araujo, Mougo e Campos 2020]

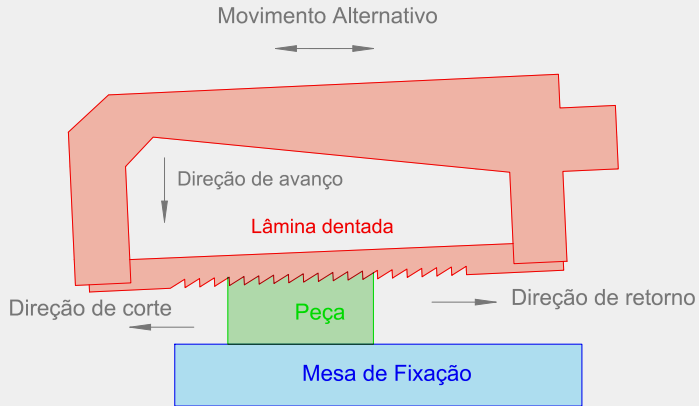
## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL

O volume de material usinado é:  $\mathcal{V}_u = L_u L_h b$ .



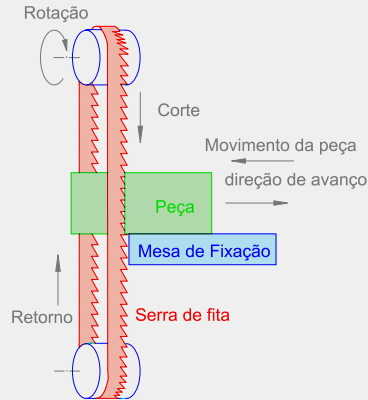
**Figura 5:** Processo de brochamento [Araujo, Mougo e Campos 2020]

## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL



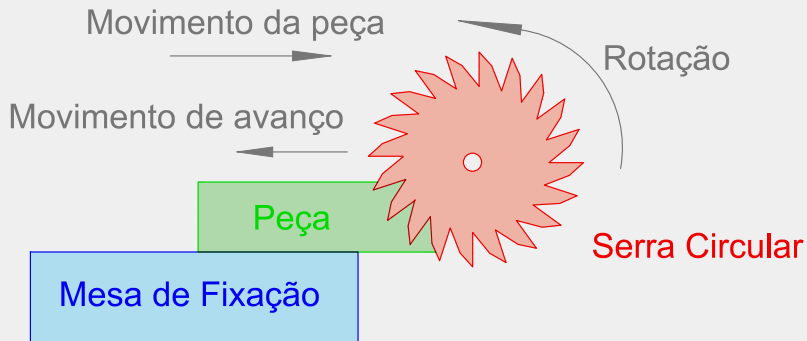
**Figura 6:** Serra alternativa [Araujo, Mougo e Campos 2020]

## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL



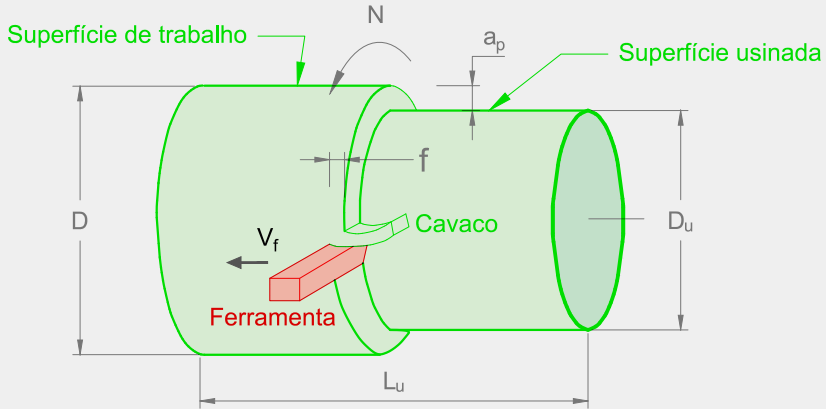
**Figura 7:** Serra de fita [Araujo, Mougo e Campos 2020]

## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL



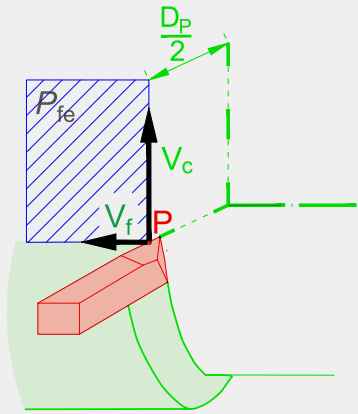
**Figura 8:** Serra circular [Araujo, Mougo e Campos 2020]

# CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL



**Figura 9:** Torneamento cilíndrico externo [Araujo, Mougo e Campos 2020]

# CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL



**Figura 10:** Torneamento cilíndrico externo [Araujo, Mougo e Campos 2020]

## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL

### Torneamento

$$a_p(\text{mm}) = \frac{D - D_u}{2} \quad (3)$$

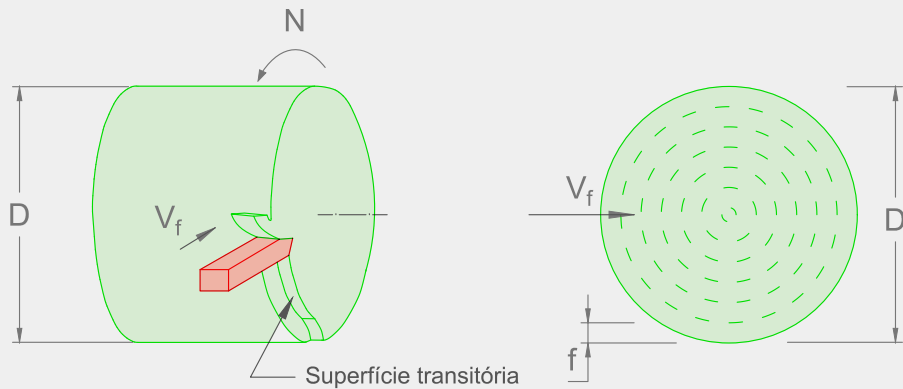
$$V_f(\text{mm/min}) = f(\text{mm/rot}) N(\text{rpm}) \quad (4)$$

$$t_c(\text{min}) = \frac{L_u(\text{mm})}{V_f(\text{mm/min})} \quad (5)$$

$$\mathcal{V}_u(\text{mm}^3) \approx a_p \pi D L_u \quad (6)$$

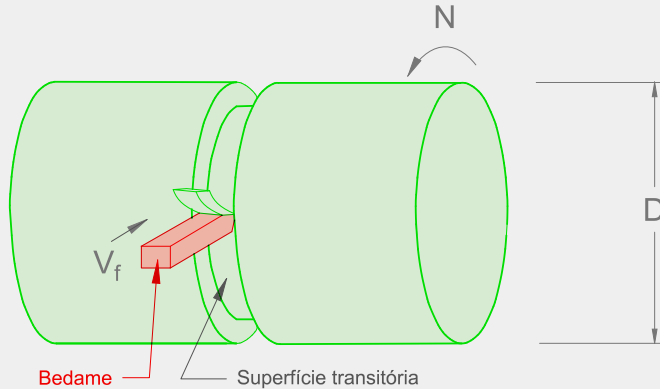


## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL



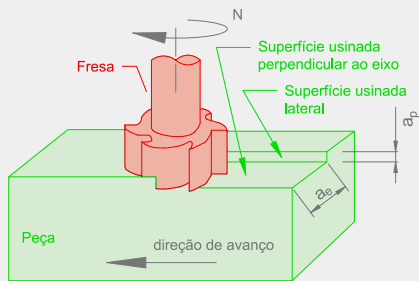
**Figura 11:** Faceamento [Araujo, Mougo e Campos 2020]

## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL

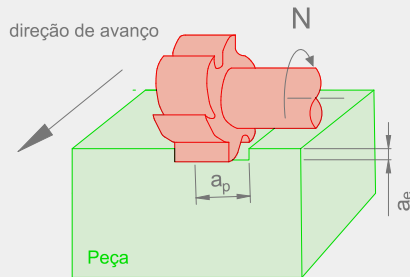


**Figura 12:** Sangramento [Araujo, Mougó e Campos 2020]

## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL



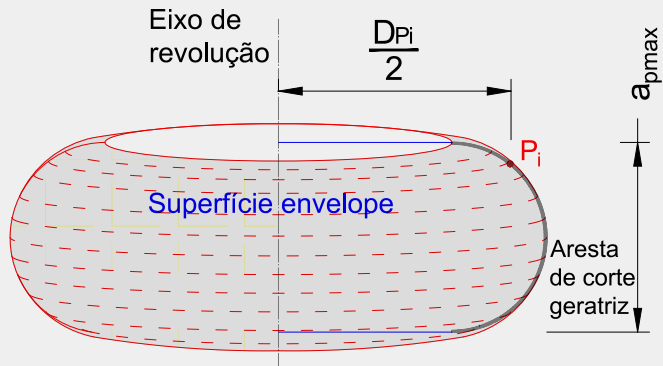
(a) Fresamento frontal



(b) Fresamento tangencial

**Figura 13:** [Araujo, Mougo e Campos 2020]

## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL



**Figura 14:** Envelope de uma fresa [Araujo, Mougo e Campos 2020]

## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL

### Fresamento

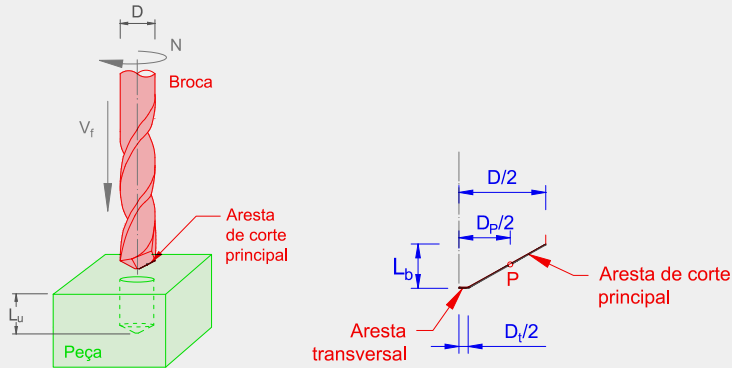
$$FD[\text{Hz}] = \frac{N}{60 z} \quad (7)$$

$$V_f(\text{mm/min}) = f_z[\text{mm/dente}] z[\text{dentes}] N[\text{rpm}] \quad (8)$$

$$t_c(\text{min}) = \frac{L_u}{V_f} = \frac{L_u}{f_z z N} = \frac{L_p + D/2}{f_z z N} \quad (9)$$

$$\mathcal{V}_u = a_p a_e L_p \quad (10)$$

# CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL



(a) Geometria da furação

(b) Aresta de corte

**Figura 15:** Processo de furação [Araujo, Mougó e Campos 2020]

## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL

### Furação helicoidal

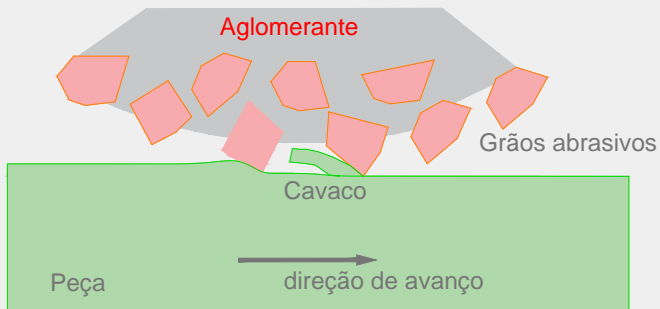
$$V_f(\text{mm/min}) = f N = z f_z N = 2 f_z N \quad (11)$$

$$t_c = \frac{L_u}{V_f} = \frac{L_u}{2 f_z N} \quad (12)$$

$$V_u \approx \frac{L_u \pi D^2}{4} \quad (13)$$

$$a_p = \frac{D}{2} \quad (14)$$

## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL



**Figura 16:** Processo de retificação [Araujo, Mougo e Campos 2020]



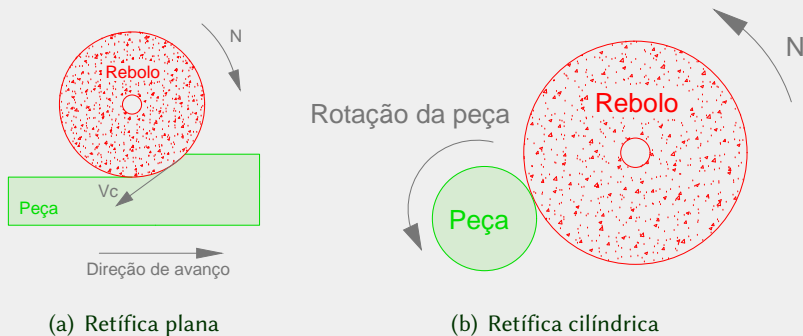
## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL

### Usinagem convencional por abrasão

A usinagem por abrasão consiste na remoção de material pela ação dos diversos grãos abrasivos que são deslocados com pressão e velocidade sobre a peça a ser usinada.

- Retificação
- Brunimento
- Lapidação
- Dressagem
- Superacabamento, polimento e espelhamento

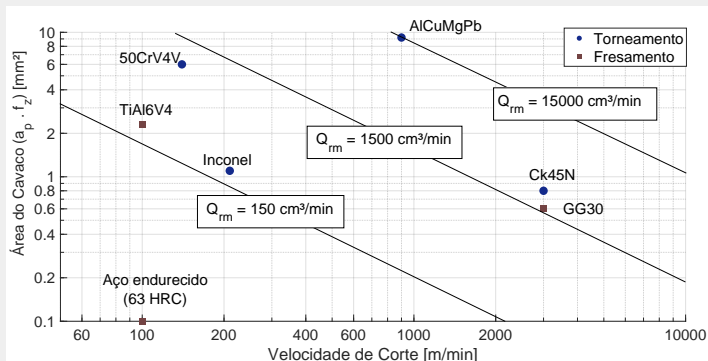
## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL



**Figura 17:** Processo de retificação [Araujo, Mougo e Campos 2020]

## CAP. 2 - USINAGEM CONVENCIONAL

$$Q_{rm}(mm^3/min) = \frac{V_u}{t_c} = V_f L_u \quad (15)$$



**Figura 18:** Taxas de remoção de cavaco de diversas operações [Grzesik 2016]<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GRZESIK, W. - Advanced Machining Processes of Metallic Materials - Theory, Modelling and Applications; Elsevier, 2016.