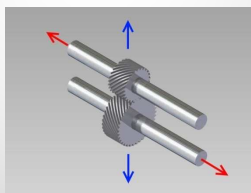
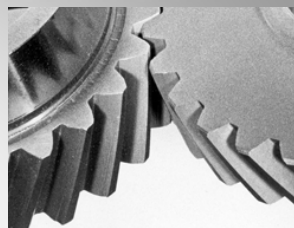
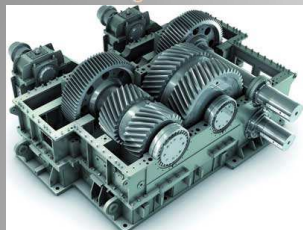


## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais



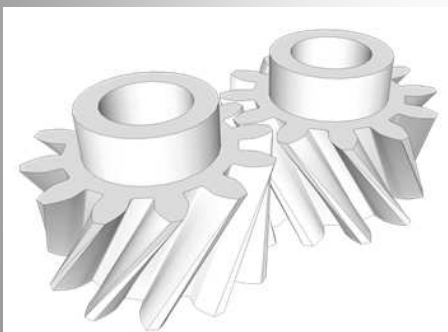
Elementos de Máquinas  
J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Introdução

Engrenagens helicoidais podem ser formadas por eixos paralelos ou eixos intersectantes e reversos.



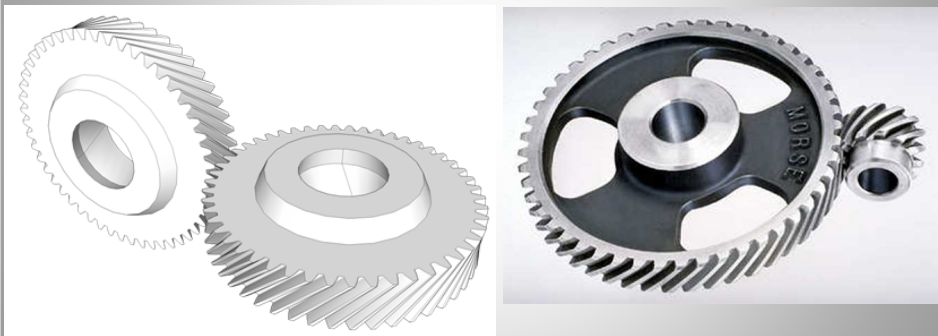
Elementos de Máquinas  
J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Introdução

Engrenagens helicoidais podem ser formadas por eixos paralelos ou eixos intersectantes e reversos.



Elementos de Máquinas  
J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca

UFPR 100  
ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Introdução

Os dentes inclinados fazem com que a transmissão seja mais suave e silenciosa do que no caso das engrenagens de dentes retos.



Elementos de Máquinas  
J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca

UFPR 100  
ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Introdução

Uma engrenagem helicoidal, quando comparada com uma cilíndrica de dentes retos com material e dimensões equivalentes, possibilita uma transmissão de potência cerca de 20% maior.

Motivo: percurso ao longo da diagonal para o caso das helicoidais.

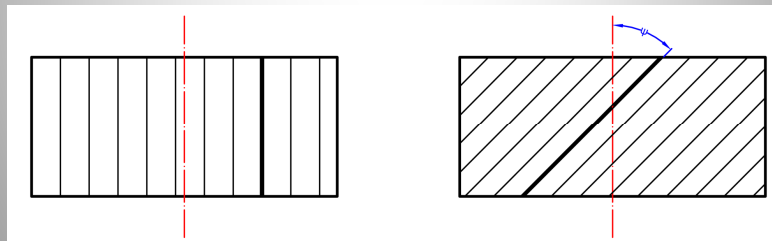


Fig. 12.1

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



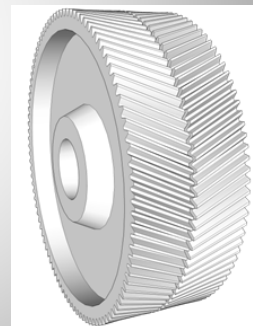
ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Introdução

Como principal desvantagem das engrenagens helicoidais considera-se a presença da componente axial de esforço decorrente da condição tridimensional do esforço resultante (esforço normal) atuante sobre o dente da engrenagem.

Solução alternativa: engrenagens helicoidais “espinhas de peixe”.



Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Helicoidal Espinha de Peixe

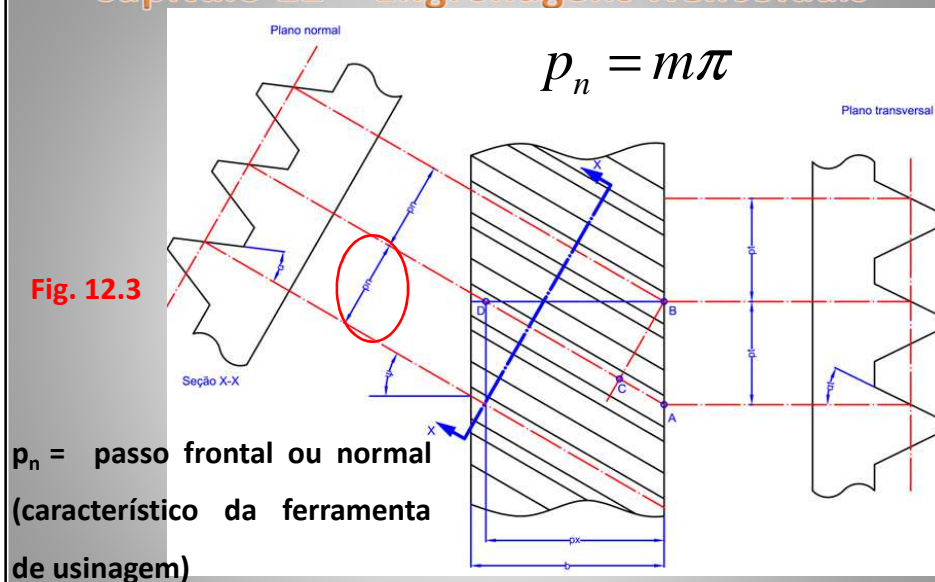


Elementos de Máquinas  
J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca

UFPR 100  
ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

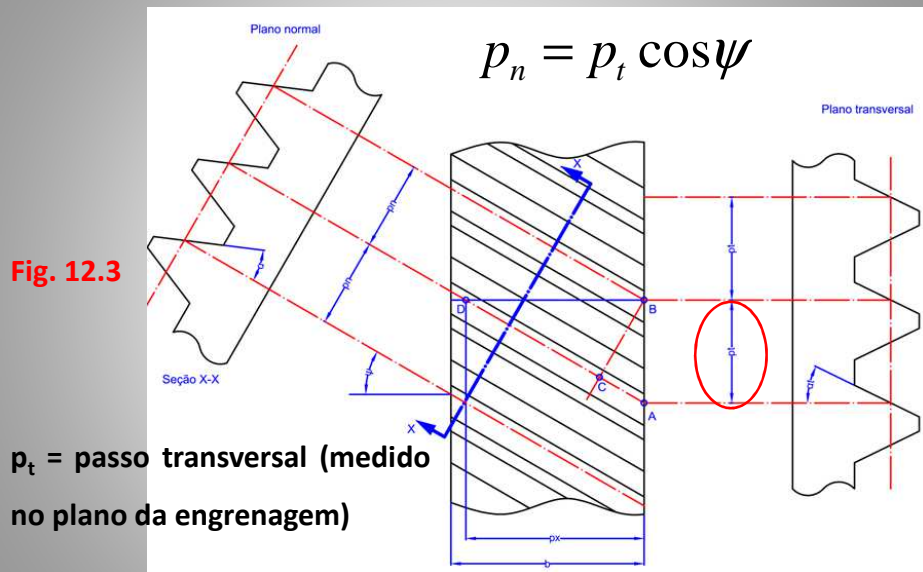
Fig. 12.3



Elementos de Máquinas  
J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca

UFPR 100  
ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais



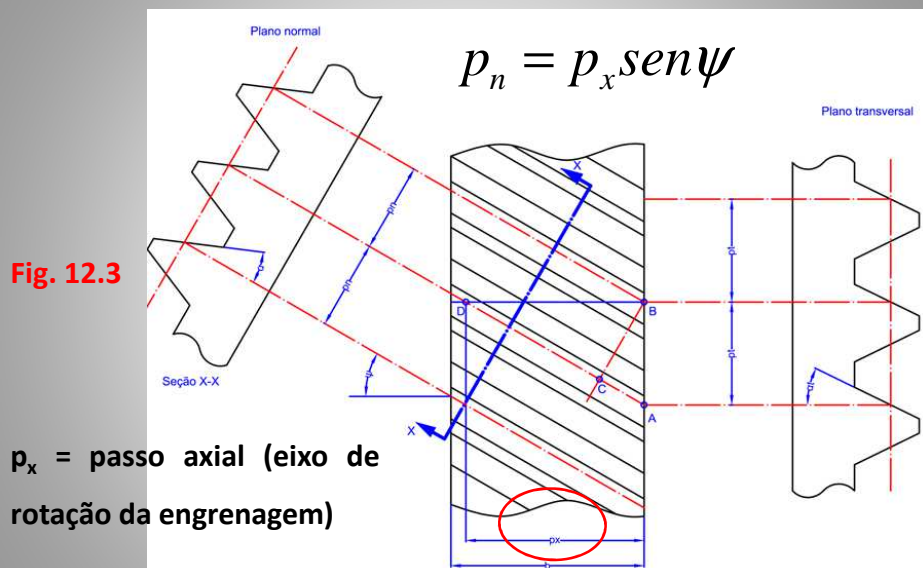
Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais



Elementos de Máquinas

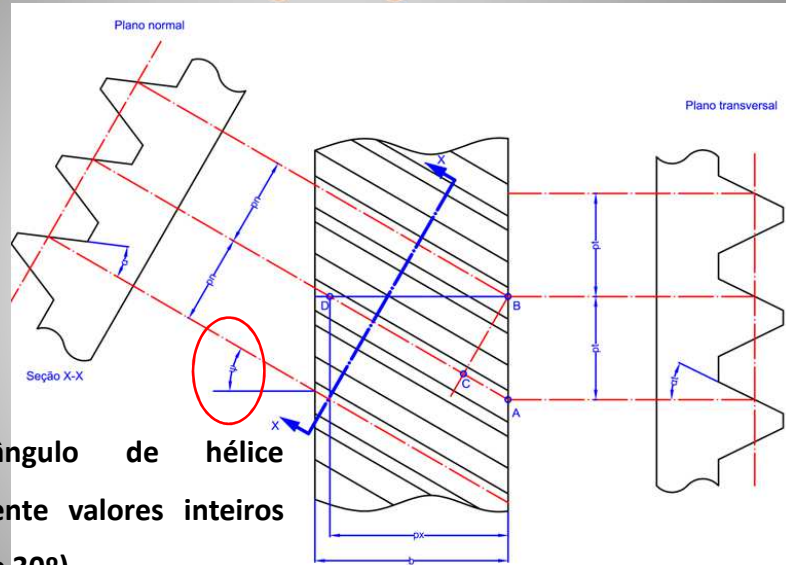
J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER



## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais



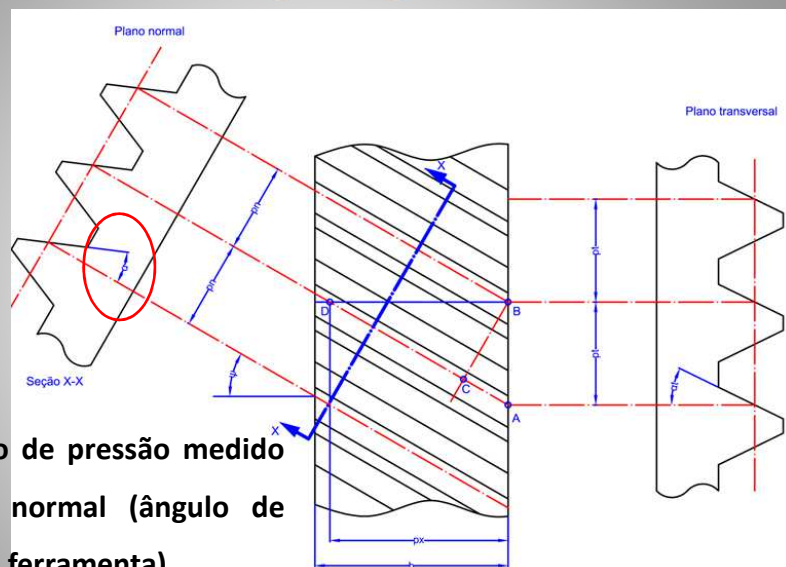
**Fig. 12.3**

$\psi$  = ângulo de hélice  
(normalmente valores inteiros  
entre 10° e 30°)

Elementos de Máquinas  
J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca

UFPR 100  
ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais



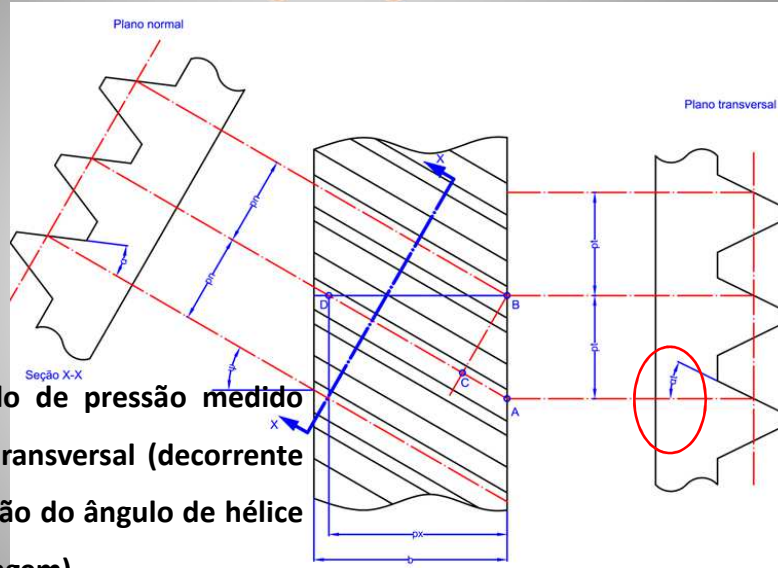
**Fig. 12.3**

$\alpha$  = ângulo de pressão medido  
no plano normal (ângulo de  
pressão da ferramenta)

Elementos de Máquinas  
J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca

UFPR 100  
ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais



**Fig. 12.3**

$\alpha_t$  = ângulo de pressão medido no plano transversal (decorrente da inclinação do ângulo de hélice da engrenagem)

Elementos de Máquinas

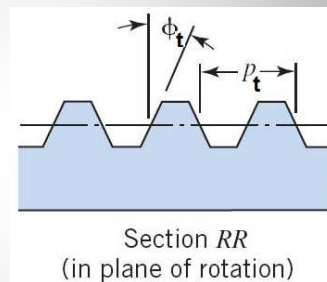
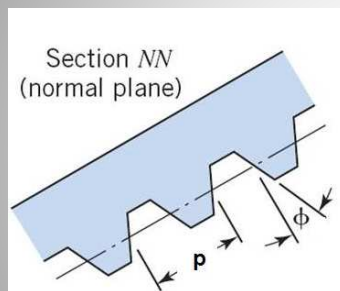
J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Relação entre os ângulos de pressão



$$\cos \psi = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_t}$$

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Interferência

O fenômeno da interferência também encontra-se presente no caso das engrenagens helicoidais.

Dessa forma, para o caso do pinhão determina-se o número mínimo de dentes para não haver interferência, quando em contato com uma determinada coroa, mediante a equação:

$$z_1^2 + 2z_1z_2 = \frac{4k \cos \psi (z_2 + k \cos \psi)}{\sin^2 \alpha_t}$$

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Interferência

Para o caso da coroa, o cálculo deve considerar o número máximo de dentes que poderá engrenar sem interferência, com um determinado pinhão mediante a adaptação da equação anterior em função do número de dentes da coroa:

$$z_2 = \frac{z_1^2 \sin^2 \alpha_t - 4k^2 \cos^2 \psi}{4k \cos \psi - 2z_1 \sin^2 \alpha_t}$$

Por fim, para o caso de pinhão com cremalheira:  $z_1 = \frac{2k \cos \psi}{\sin^2 \alpha_t}$



## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Esforços atuantes

$$F_R = F_T \cdot \text{tg} \alpha_t$$

$$F_A = F_T \cdot \text{tg} \psi$$

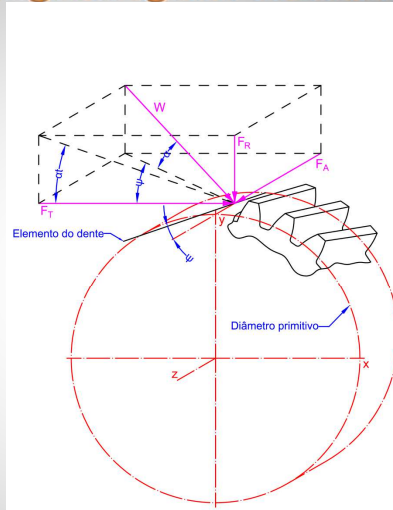


Fig. 12.4

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Esforços atuantes - convenção

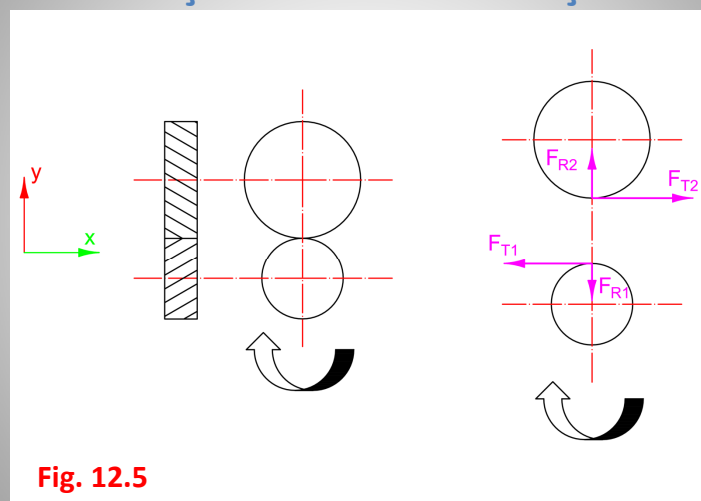


Fig. 12.5

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Esforços atuantes - convenção

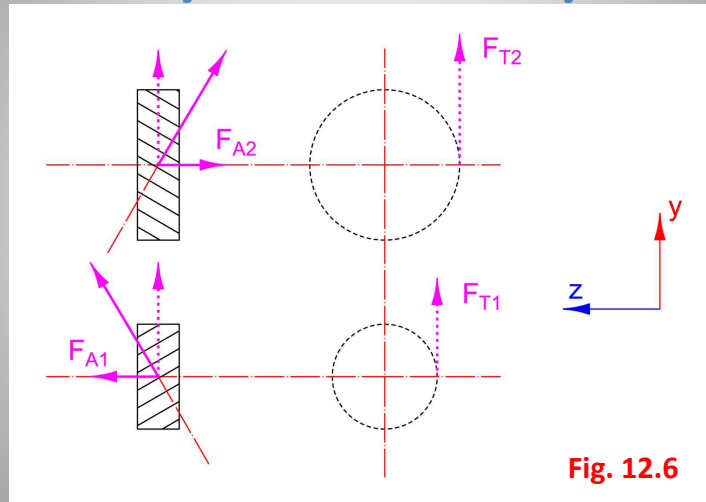


Fig. 12.6

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Critério da Resistência – Equação de Lewis** - caso não se disponha do módulo da engrenagem no início do projeto, a equação de *Lewis* poderá ser utilizada no contexto da definição preliminar deste parâmetro. Assim:

$$\sigma = \frac{K_o F_T}{b Y m_t} = \frac{K_o F_T \cos \psi}{b Y m} \leq \frac{\sigma_{esc}}{CS}$$

$Y$  = fator de forma de *Lewis* (tabelado).

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

Relação largura x passo axial:

$$b \geq 2p_x$$

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

Critério da Resistência – Equação AGMA -

$$\sigma_{AGMA} = K_o F_T K_V K_s \frac{1}{bm_t} \frac{K_m K_B}{J}$$

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

#### Fator de sobrecarga (serviço):

Tabela 11.5 Fator sobrecarga ou de serviço –  $K_o$  (Adaptado a partir de Juvinall.)

Fonte de potência (tipo de acionamento)	Equipamento acionado		
	cargas uniformes	choques moderados	choques intensos
acionamento uniforme	1,00	1,25	1,75
acionamento leve	1,25	1,50	2,00
acionamento médio	1,50	1,75	2,25

$$\sigma_{AGMA} = K_o F_T K_v K_s \frac{1}{b m_t} \frac{K_m K_B}{J}$$

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

#### Fator de velocidade (dinâmico):

$$K_v = \left( \frac{A + \sqrt{200v}}{A} \right)^B$$

$$B = 0,25(12 - Q_v)^{2/3}$$

$$A = 50 + 56(1 - B)$$

$v$  = velocidade tangencial (em m/s);

$Q_v$  = número de qualidade AGMA.

$$\sigma_{AGMA} = K_o F_T K_v K_s \frac{1}{b m_t} \frac{K_m K_B}{J}$$

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Fator de tamanho:**

$$K_s = 1,192 \left( \frac{b\sqrt{Y}}{P_t} \right)^{0,0525}$$

$$\sigma_{AGMA} = K_o F_T K_V K_s \frac{1}{bm_t} \frac{K_m K_B}{J}$$

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Fator de borda:**

$$\sigma_{AGMA} = K_o F_T K_V K_s \frac{1}{bm_t} \frac{K_m K_B}{J}$$

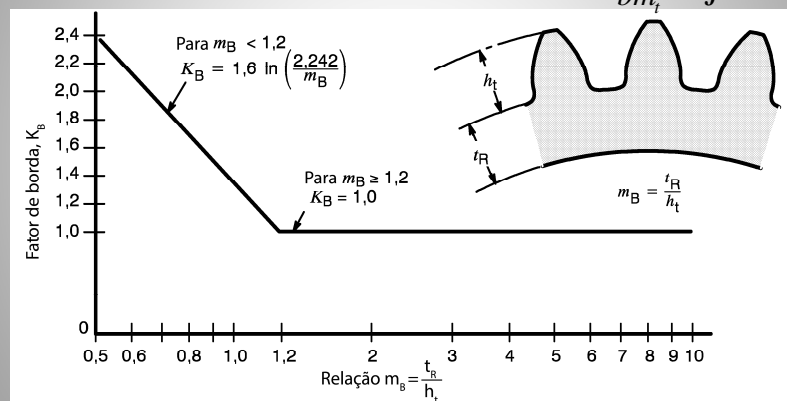


Fig. 11.10

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

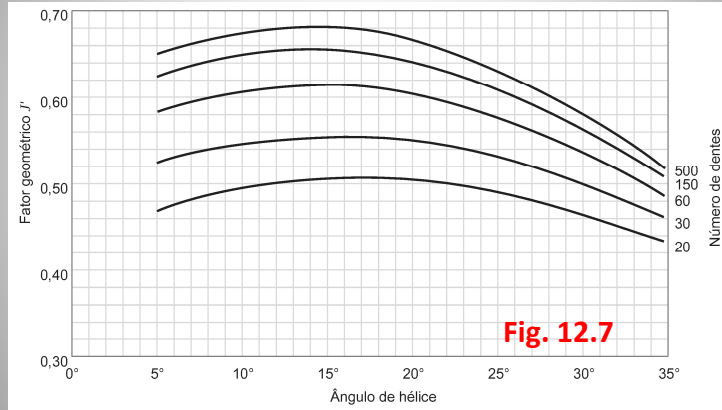


## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Fator geométrico (J):**

$$\sigma_{AGMA} = K_o F_T K_v K_s \frac{1}{b m_t} \frac{K_m K_B}{J}$$



**Fig. 12.7**

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca

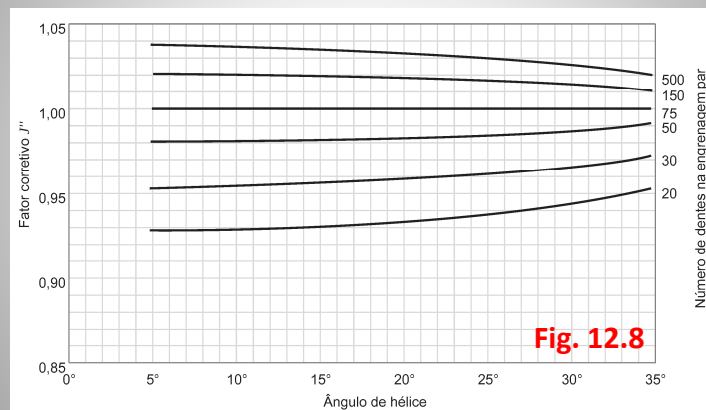


ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Fator geométrico (J) - correção:**



**Fig. 12.8**

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

#### Fator de distribuição de carga:

Tabela 11.6 Fator de distribuição de carga –  $K_m$  (Adaptado a partir de Santos Jr.)

Características da montagem do sistema	Largura da engrenagem (mm)		
	0 a 50,0	até 150	até 225
Montagens precisas, pequena folga nos mancais, deflexões mínimas e engrenagens de precisão	1,3	1,4	1,5
Média precisão, tanto na montagem quanto nas próprias engrenagens	1,6	1,7	1,8
Pouca precisão, tanto na montagem quanto nas próprias engrenagens	acima de 2,2		

$$\sigma_{AGMA} = K_o F_T K_V K_s \frac{1}{b m_t} \frac{K_m K_B}{J}$$

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

#### Critério da Resistência – Fadiga de flexão -

$$CS_F = \frac{S_t Y_N}{Y_\theta Y_Z \sigma_{AGMA}} \geq 1,5$$

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Tensão admissível de flexão AGMA:**

$$CS_F = \frac{S_t Y_N}{Y_\theta Y_Z \sigma_{AGMA}} \geq 1,5$$

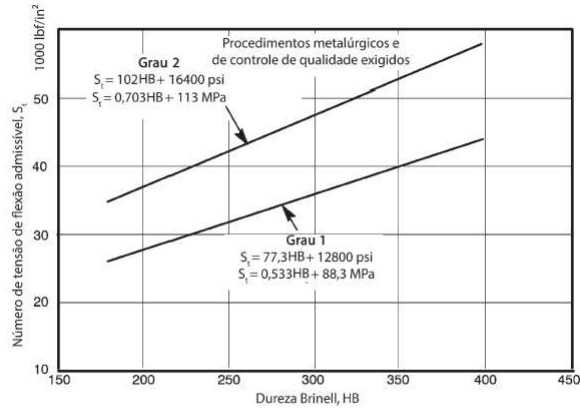


FIGURA 11.12 Tensão admissível de flexão AGMA para aços endurecidos por completo – St. Extracted from AGMA Standard ANSI/AGMA 2001-DO4, Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth, with permission of the publisher, the American Gear Manufacturers Association, 1001 North Fairfax Street, 5th Floor, Alexandria, Virginia 22314.

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Tensão admissível de flexão AGMA:**

$$CS_F = \frac{S_t Y_N}{Y_\theta Y_Z \sigma_{AGMA}} \geq 1,5$$

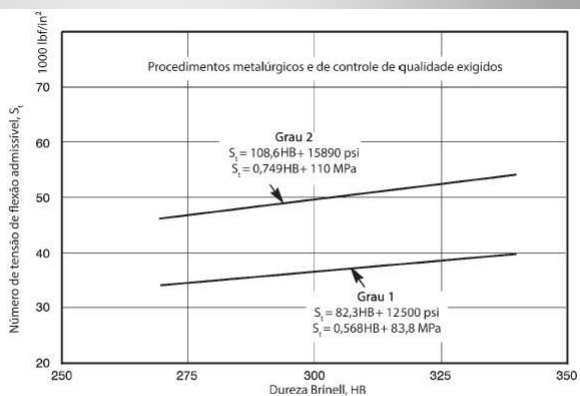


FIGURA 11.13 Tensão admissível de flexão AGMA para aços endurecidos por nitretação – St. Extracted from AGMA Standard ANSI/AGMA 2001-DO4, Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth, with permission of the publisher, the American Gear Manufacturers Association, 1001 North Fairfax Street, 5th Floor, Alexandria, Virginia 22314.

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Tensão admissível de flexão AGMA:**

$$CS_F = \frac{S_t Y_N}{Y_\theta Y_Z \sigma_{AGMA}} \geq 1,5$$

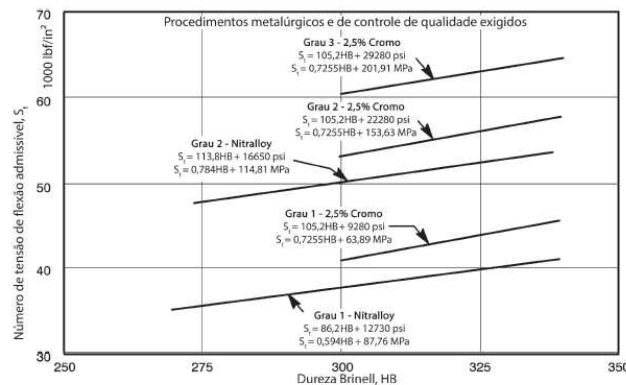


FIGURA 11.14 Tensão admissível de flexão AGMA para aços nitretados – St. Extracted from AGMA Standard ANSI/AGMA 2001-D04, Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth, with permission of the publisher, the American Gear Manufacturers Association, 1001 North Fairfax Street, 5th Floor, Alexandria, Virginia 22314.

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Tensão admissível de flexão AGMA:**

$$CS_F = \frac{S_t Y_N}{Y_\theta Y_Z \sigma_{AGMA}} \geq 1,5$$

Tabela 11.7 Tensão admissível de flexão AGMA para aços carbono - S<sub>t</sub>. (Extracted from AGMA Standard ANSI/AGMA 2001-D04, Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth, with permission of the publisher, the American Gear Manufacturers Association, 1001 North Fairfax Street, 5th Floor, Alexandria, Virginia 22314)

Designação do material	Tratamento térmico	Dureza superficial mínima	Tensão admissível de flexão AGMA (lbf/in <sup>2</sup> )		
			Grau 1	Grau 2	Grau 3
Aço carbono	endurecido por completo	(a)	(a)	(a)	–
	endurecido por chama/indução – padrão de dureza tipo A	(e)	45000	55000	–
	endurecido por chama/indução – padrão de dureza tipo B	(e)	22000	22000	–
	carbonetado e endurecido	(f)	55000	65000 a 70000	75000
Aço para nitretação (c)	nitretado	83,5 HR 15N	(b)	(b)	–
	nitretado	87,5 HR 15N	(d)	(d)	(d)

a) consultar Figura 11.12;  
 b) consultar Figura 11.13;  
 c) nitralloy 134M, nitralloy N e 2,5% cromo;  
 d) consultar Figura 11.14;  
 e) conforme Tabela 8 da ANSI/AGMA 2001-D04;  
 f) conforme Tabela 9 da ANSI/AGMA 2001-D04.

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Tensão admissível de flexão AGMA:**

$$CS_F = \frac{S_t Y_N}{Y_\theta Y_Z \sigma_{AGMA}} \geq 1,5$$

Tabela 11.8 Tensão admissível de flexão AGMA para ferros fundidos e bronzes- S<sub>t</sub>. (Extracted from AGMA Standard ANSI/AGMA 2001-D04, Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth, with permission of the publisher, the American Gear Manufacturers Association, 1001 North Fairfax Street, 5th Floor, Alexandria, Virginia 22314)

Material	Designação do material	Tratamento térmico	Dureza superficial mínima	Tensão admissível de contato AGMA (lbf/in <sup>2</sup> )
Ferro fundido	Classe 20	como fundido	-	5000
cinzento - ASTM A48	Classe 30	como fundido	174HB	8500
	Classe 40	como fundido	201HB	13000
	Grau 60-40-18	recozido	140HB	22000 a 33000
Ferro fundido dúctil - ASTM A536	Grau 80-55-06	temperado/ revenido	179HB	22000 a 33000
	Grau 100-70-03	temperado/ revenido	229HB	27000 a 40000
	Grau 120-90-02	temperado/ revenido	269HB	31000 a 44000
Bronze	-	fundido em areia	(a)	5700
	ASTM B-148 liga 954	tratado termicamente	(b)	23600

a) resistência à tração mínima de 40000 psi;  
b) resistência à tração mínima de 90000 psi.

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



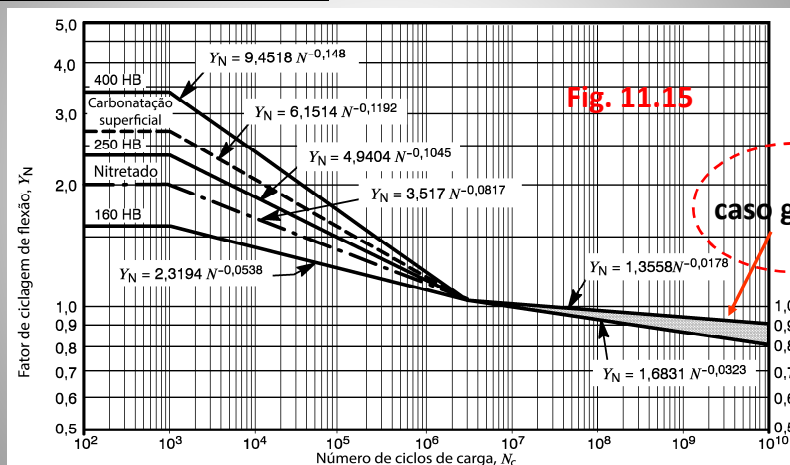
ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Fator de ciclos ou de ciclagem:**

$$CS_F = \frac{S_t Y_N}{Y_\theta Y_Z \sigma_{AGMA}} \geq 1,5$$



Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER



## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

#### Fator de temperatura:

$$Y_{\theta} = 1 \quad \rightarrow \theta \leq 120^{\circ} C$$

$$Y_{\theta} = \frac{273 + \theta}{393} \quad \rightarrow \theta > 120^{\circ} C$$

$$CS_F = \frac{S_t Y_N}{Y_{\theta} Y_Z \sigma_{AGMA}} \geq 1,5$$

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

#### Fator de confiabilidade:

$$Y_Z = 0,658 - 0,0759 \ln(1 - R) \quad \rightarrow 0,5 < R < 0,99$$

$$Y_Z = 0,5 - 0,109 \ln(1 - R) \quad \rightarrow 0,99 < R < 0,9999$$

$$CS_F = \frac{S_t Y_N}{Y_{\theta} Y_Z \sigma_{AGMA}} \geq 1,5$$

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

Critério da Pressão – Equação AGMA -

$$\sigma_C = C_p \sqrt{K_o F_T K_v K_s \frac{K_m}{bdp_1 I}}$$

Elementos de Máquinas  
J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

Coeficiente elástico:

$$C_p = 10^{-3} \sqrt{\frac{1}{\pi \left[ \frac{(1-\nu_1^2)}{E_1} + \frac{(1-\nu_2^2)}{E_2} \right]}} \quad (\sqrt{\text{MPa}})$$

$$\sigma_C = C_p \sqrt{K_o F_T K_v K_s \frac{K_m}{bdp_1 I}}$$

Elementos de Máquinas  
J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Fator geométrico para resistência à formação de cavidades:**

$$I = \frac{\cos \alpha_t \operatorname{sen} \alpha_t}{2m_N} \frac{i}{i+1}$$

$$m_N = \frac{p_N}{0,95Z} \quad Z = \sqrt{r_{c1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{c2}^2 - r_{b2}^2} - (r_{p2} + r_{p1}) \operatorname{sen} \alpha_t$$

$m_N$  = razão de divisão de carga;

$Z$  = comprimento do segmento de ação;

$r_c$  = raio de cabeça;

$r_b$  = raio de base;

$r_p$  = raio primitivo.

$$\sigma_C = C_p \sqrt{K_o F_T K_V K_s \frac{K_m}{bd p_1 I}}$$

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Critério da Pressão – Fadiga de contato -**

$$CS_C = \frac{S_C Z_N C_H}{Y_\theta Y_Z \sigma_C} \geq 1,0$$

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Tensão admissível de contato AGMA:**

$$CS_C = \frac{S_C Z_N C_H}{Y_\theta Y_Z \sigma_C} \geq 1,0$$

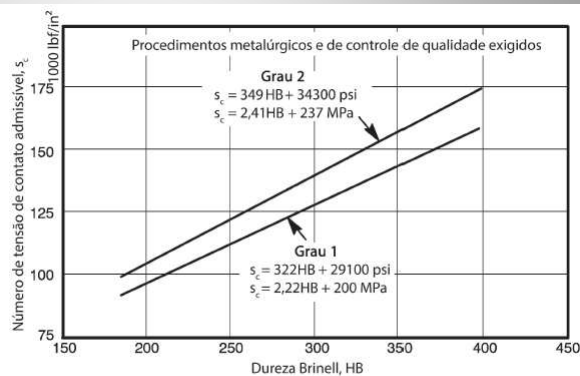


FIGURA 11.16 Tensão admissível de contato AGMA para aços endurecidos por completo –  $S_C$ . Extracted from AGMA Standard ANSI/AGMA 2001-D04, Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth, with permission of the publisher, the American Gear Manufacturers Association, 1001 North Fairfax Street, 5th Floor, Alexandria, Virginia 22314.

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Tensão admissível de contato AGMA:**

$$CS_C = \frac{S_C Z_N C_H}{Y_\theta Y_Z \sigma_C} \geq 1,0$$

Tabela 11.9 Tensão admissível de contato AGMA para aços carbono –  $S_C$ . (Extracted from AGMA Standard ANSI/AGMA 2001-D04, Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth, with permission of the publisher, the American Gear Manufacturers Association, 1001 North Fairfax Street, 5th Floor, Alexandria, Virginia 22314)

Designação do material	Tratamento térmico	Dureza superficial mínima	Tensão admissível de flexão AGMA (lbf/in <sup>2</sup> )		
			Grau 1	Grau 2	Grau 3
Aço carbono	endurecido por completo	(a)	(a)	(a)	–
	endurecido por chama/indução	50 HRC	170000	190000	–
	endurecido por chama/indução	54 HRC	175000	195000	–
	carbonetado e endurecido	(b)	180000	225000	275000
	nitretado	83,5 HR 15N	150000	163000	175000
	nitretado	84,5 HR 15N	155000	168000	180000
2,5% de cromo	nitretado	87,5 HR 15N	155000	172000	189000
Nitralloy 135M	nitretado	90,0 HR 15N	170000	183000	195000
Nitralloy N	nitretado	90,0 HR 15N	172000	188000	205000

a) consultar Figura 11.16;  
b) conforme Tabela 9 da ANSI/AGMA 2001-D04.

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

#### Tensão admissível de contato AGMA:

$$CS_C = \frac{S_C Z_N C_H}{Y_\theta Y_Z \sigma_C} \geq 1,0$$

Tabela 11.9 Tensão admissível de contato AGMA para aços carbono –  $S_C$ . (Extracted from AGMA Standard ANSI/AGMA 2001-D04, Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth, with permission of the publisher, the American Gear Manufacturers Association, 1001 North Fairfax Street, 5th Floor, Alexandria, Virginia 22314)

Designação do material	Tratamento térmico	Dureza superficial mínima	Tensão admissível de flexão AGMA (lbf/in <sup>2</sup> )		
			Grau 1	Grau 2	Grau 3
Aço carbono	endurecido por completo	(a)	(a)	(a)	–
	endurecido por chama/indução	50 HRC	170000	190000	–
	endurecido por chama/indução	54 HRC	175000	195000	–
	carbonetado e endurecido	(b)	180000	225000	275000
	nitretado	83,5 HR 15N	150000	163000	175000
	nitretado	84,5 HR 15N	155000	168000	180000
2,5% de cromo	nitretado	87,5 HR 15N	155000	172000	189000
Nitralloy 135M	nitretado	90,0 HR 15N	170000	183000	195000
Nitralloy N	nitretado	90,0 HR 15N	172000	188000	205000

a) consultar Figura 11.16;  
b) conforme Tabela 9 da ANSI/AGMA 2001-D04.

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

#### Tensão admissível de contato AGMA:

$$CS_C = \frac{S_C Z_N C_H}{Y_\theta Y_Z \sigma_C} \geq 1,0$$

Tabela 11.10 Tensão admissível de contato AGMA para ferros fundidos e bronzes –  $S_C$ . (Extracted from AGMA Standard ANSI/AGMA 2001-D04, Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth, with permission of the publisher, the American Gear Manufacturers Association, 1001 North Fairfax Street, 5th Floor, Alexandria, Virginia 22314)

Material	Designação do material	Tratamento térmico	Dureza superficial mínima	Tensão admissível de contato AGMA (lbf/in <sup>2</sup> )
Ferro fundido cinzento - ASTM A48	Classe 20	como fundido	–	50000 a 60000
	Classe 30	como fundido	174	65000 a 75000
	Classe 40	como fundido	201	75000 a 85000
Ferro fundido dúctil - ASTM A536	Grau 60-40-18	recozido	140	77000 a 92000
	Grau 80-55-06	temperado/ revenido	179	77000 a 92000
	Grau 100-70-03	temperado/ revenido	229	92000 a 112000
	Grau 120-90-02	temperado/ revenido	269	103000 a 126000
Bronze	–	fundido em areia	(a)	30000
	ASTM B-148 liga 954	tratado termicamente	(b)	65000

a) resistência à tração mínima de 40000 psi;  
b) resistência à tração mínima de 90000 psi.

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



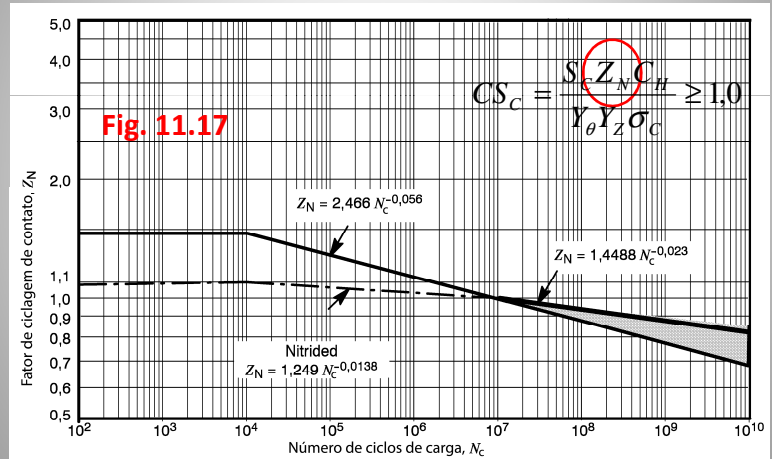
ELSEVIER



## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Fator de ciclos (ciclagem):**



Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

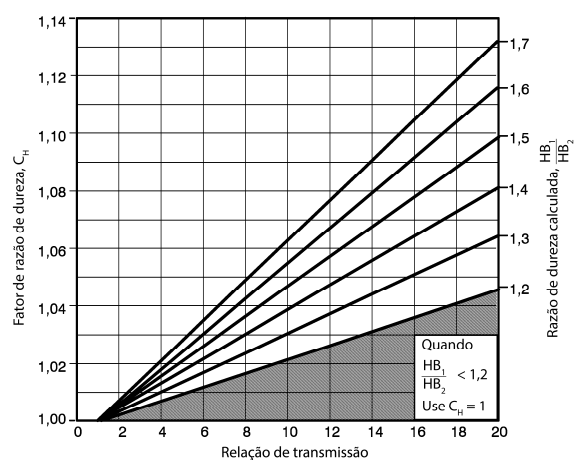
## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Dimensionamento

**Fator de razão de dureza para a resistência à formação de cavidades:**

$$CS_C = \frac{S_C Z_N C_H}{Y_\theta Y_Z \sigma_C} \geq 1,0$$

**Fig. 11.18**



Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER

## Capítulo 12 – Engrenagens Helicoidais

### Referências bibliográficas

**ANSI/AGMA 2001-D04** – *Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth*, American National Standard.

**AGMA Standard ANSI/AGMA 2001-D04** – *Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth*, with permission of the publisher, the American Gear Manufacturers Association, 1001 North Fairfax Street, 5th Floor, Alexandria, Virginia 22314.

**Budynas RG, Nisbett JK.** *Shigley's – Mechanical Engineering Design*. 8a ed. McGraw Hill; 2008.

**Budynas RG, e Nisbett JK.** *Elementos de Máquinas de Shigley*. 8a ed. AMGH Editora Ltda; 2011.

**Faires VM.** *Elementos Orgânicos de Máquinas Elementos Orgânicos de Máquinas, Vol 2* Rio de Janeiro, RJ : Livros Técnicos e Científicos – LTC; 1971.

**Hamrock BJ , Schmid SR.** *Fundamentals of Machine Elements*. 2ª ed. McGraw Hill; 2004.

**Norton, R.L.,** *Projeto de Máquinas – Uma abordagem integrada*, 4ª ed., Editora Bookman, 2013.

Elementos de Máquinas

J.C. Almeida, R. Barbieri, K. Fonseca



ELSEVIER