

⇒ Continuação para a verif. do proj. de elemento  
de máquinas III (1ª sem/2020) (06/05/2020)

⊗ O programa de engrenagens deve utilizar-se  
para cada par (subconj. de engrenamento com  
eixo/mancais/arranjo)

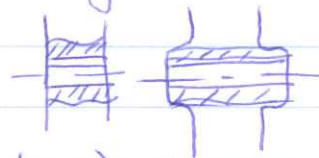
↳ Par de entrada  $n_1; N_1$  (Potência nominal)  
↳ rotor do motor

↳ Par 1: estágio  $n_1; N_1$  (redução em base de  
3% perda por estáb)  
⋮  
vem da rota?  $i_1, \dots, i_n$

↳ Par n estágio (in)  
(catálogo cinemático)

↳ uso dos cat. se referem aos vultos de resistência  
de flexão no pé dente e contab superficial.

⇒ Obs. sobre largura do dente e larg. da chaveta



⊗ Precist. usualmente  
eng. (com tab.)  
no catálogo da chaveta  
pode-se estender a largura

Lista de descrição dos parâmetros do  
 Programa para dimensionamento de ECD/H  
 (Método de Lewis/Steute modificado) Elementos III

$r_f$ (raio no pé do dente)	[mm] (entada)
$d_b$ (diâmetro de base)	[mm] (calculado)
$d_e$ (diâmetro externo)	[mm] ( " )
$d_r$ (diâmetro de raiz)	[mm] ( " )
$E_c$ (módulo de elasticidade de engrenamento)	[GPa] ( " )
$l$ (largura nominal dos dentes)	[mm]
$E_s$ (Lubrificação de eng. frontal) ou transversal	[mm]
$v$ (velocidade tangencial)	[m/s] ( " )

geometria cinemática

$m_t, Q$  (fator tangencial médio);  $Q^*$  (fator tangencial efetivo)  
 [N.m] [N]

$l_e$  (largura efetiva) [mm]

$L_0$  para efeito de carregamento (dente)

$L_0 \rightarrow$  coef. de sobrecarga (lubrificação entre partícula e carga de trabalho).

$\mu$  (constante de rigidez de flexão, para aços e materiais ferrosos) - [N/mm]

$$L_0 K(\mu) = 5 \cdot 10^6 \text{ N/mm}$$

$\chi$  (cilindricidade do "blank") [mm/mm]

$K_e$  (coef. de distribuição de carga) [.]

$K_f$  (coef. de distribuição (concentração) no pé do dente) [.]

$K_a$  (fator de aplicação de carga) [.]

$C_v$  (fator de velocidade) [.]

$L_{ft}$  (fator de vida) [.]

verificação da tensão de flexão a lâmina

Tabela 2.18. Coeficientes de correção,  $\gamma_p$  e  $\gamma_{fl}$ .

Ângulo de hélice	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
$\gamma_p$	1,0	1,11	1,22	1,31	1,40	1,47	1,54	1,60	1,66	1,71
$\gamma_{fl}$	1,0	1,20	1,28	1,30	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27

#### D. Método de Trier

O Método de Trier [20] foi muito utilizado no projeto de caixa de velocidades. Este uso intenso justifica-se pela sua formulação simples que permite o cálculo manual com uso de calculadora ou mesmo com o uso de régua de cálculo, o que ocorreu por muitos anos. Aliada a esta simplicidade o método produzia resultados confiáveis nesta área de aplicação.

Este método veio ser posteriormente substituído por outros mais completos, porém agora através do uso de computadores.

O equacionamento proposto por Trier permite o dimensionamento de engrenagens cilíndricas retas e helicoidais. Necessita-se inicialmente adotar um módulo normal e calcular a geometria básica e velocidade tangencial no diâmetro primitivo do par de engrenagens para, a seguir, verificar a resistência à flexão no pé do dente e a resistência à pressão superficial no flanco do dente.

#### Verificação da tensão à flexão no pé do dente

As Eqs 2.33 e 2.34 permitem comparar a tensão de flexão no pé do dente de uma engrenagem de geometria já conhecida com as tensões admissíveis dos materiais disponíveis (Tab. 2.21):

Tabela 2.23. Fator de aplicação da transmissão,  $K_a^{\dagger}$ .

MAQUINA MOTORA	MAQUINA ACIONADA		
	uniforme	choques moderados	choques severos
uniforme	1,00	1,25	1,75
choques pequenos	1,10	1,35	1,80
choques médios	1,25	1,50	1,85

(\*) se a vida humana estiver em risco (ex. elevadores), o valor de  $K_a$  deverá ser multiplicado por 2.

Tabela 2.24. Tensão de flexão admissível no pé do dente,  $\sigma_{tada}$ , e pressão superficial admissível no flanco do dente,  $\sigma_{cada}$ .

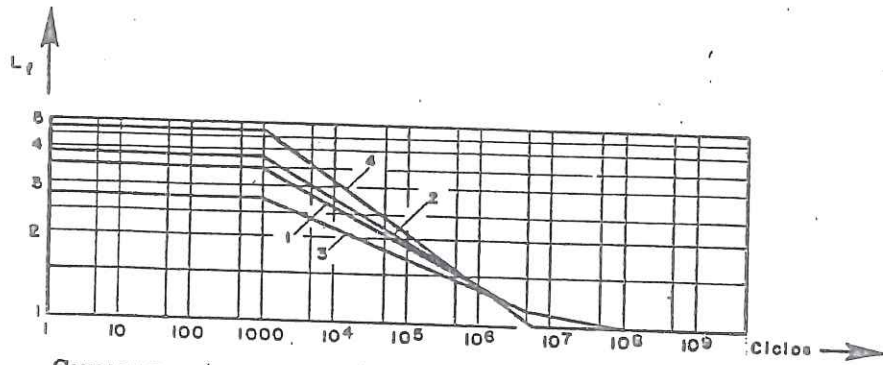
Material	Dureza Brinell	Tensão de flexão $\sigma_{tada}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Pressão superficial $\sigma_{cada}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
FoFo	160-200	350	3.500
FoFo nodular	210-245	500	4.200
Aço	160-200	1.400	4.200
Aço	210-245	1.550	4.900
Aço beneficiado	311-353	2.250	7.000
Aço temperado	455-525	2.500	11.200
Aço cementado	615-706	3.900	14.000

Tabela 2.25. Fator de vida,  $L_{fc}$ , para pressão superficial no flanco do dente.

Número de ciclos	Fator de vida $L_{fc}$
$10^3$	1,40
$10^5$	1,40
$10^6$	1,25
$10^7$	1,10
$10^8$	1,00
$10^9$	0,90

### 2.3.3. NORMAS TÉCNICAS

Os métodos de dimensionamento de engrenagens mais



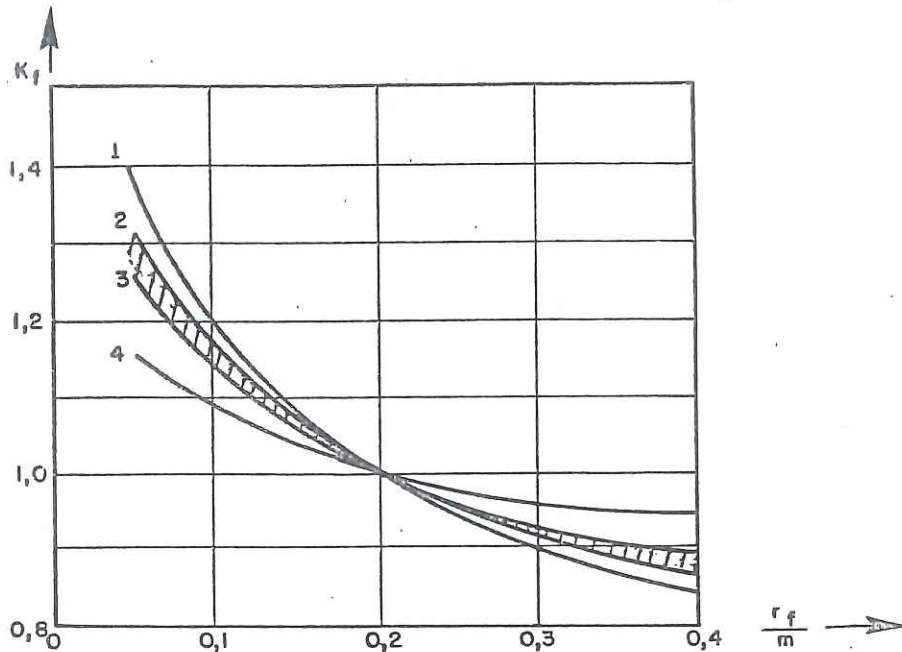
Curvas: 1 - aço dureza Brinell 210 a 245  
 2 - aço dureza Brinell 302 a 351  
 3 - aço cementado Rockwell 58 a 63  
 4 - aço de todas as durezas

Figura 2.9. Fator de vida,  $L_f$ , para verificação da resistência no pé do dente.

Tabela 2.22. Fator de Lewis,  $Y_t$ , para vários sist. de dentes.

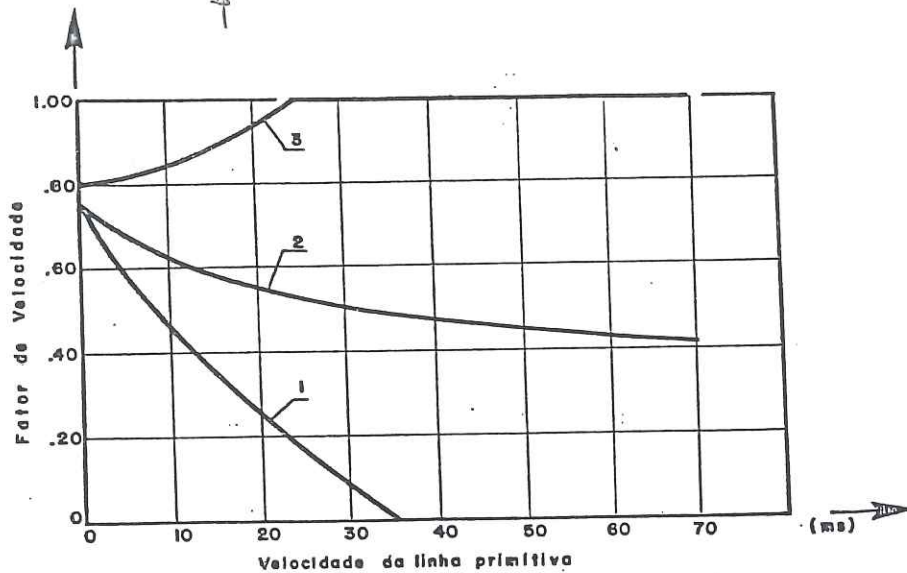
Fator de Lewis, $Y_t$				
Z	14,5° composto e involuta	20° alt. total	engr. menor 20° alt. total	20° rebaixado
5	-	-	0,320	-
6	-	-	0,301	-
7	-	-	0,282	-
8	-	-	0,264	-
9	-	-	0,264	-
10	-	-	0,264	-
11	-	-	0,264	-
12	0,211	0,245	0,264	0,312
13	0,223	0,261	0,270	0,324
14	0,236	0,277	0,277	0,340
15	0,245	0,290	-	0,350
16	0,254	0,296	-	0,362
17	0,264	0,303	-	0,368
18	0,270	0,309	-	0,378
19	0,277	0,314	-	0,388
20	0,283	0,322	-	0,394
21	0,289	0,328	-	0,400
22	0,292	0,331	-	0,406
24	0,299	0,337	-	0,416
26	0,308	0,346	-	0,425
28	0,314	0,353	-	0,432
30	0,318	0,359	-	0,438
34	0,327	0,371	-	0,447
38	0,333	0,384	-	0,457
43	0,340	0,397	-	0,463
50	0,346	0,409	-	0,476
60	0,355	0,422	-	0,485
75	0,361	0,435	-	0,497
100	0,367	0,447	-	0,507
150	0,374	0,460	-	0,520
300	0,383	0,472	-	0,535
∞	0,390	0,485	-	0,552

$\epsilon_t$  - (.) - grau de recobrimento total;



Curvas: 1 - aço beneficiado  
 2 a 3 - aço cementado  
 4 - St 60 não beneficiado

Figura 2.7. Coeficiente de concentração de tensões no pé do dente,  $K_f$



Curvas: 1 - engrenagens retas de boa precisão comercial  
 2 - engrenagens helicoidais de média qualidade  
 3 - engrenagens retas e helicoidais de grande precisão; alta velocidade ou alta carga.

Figura 2.8. Fator de velocidade,  $C_v$

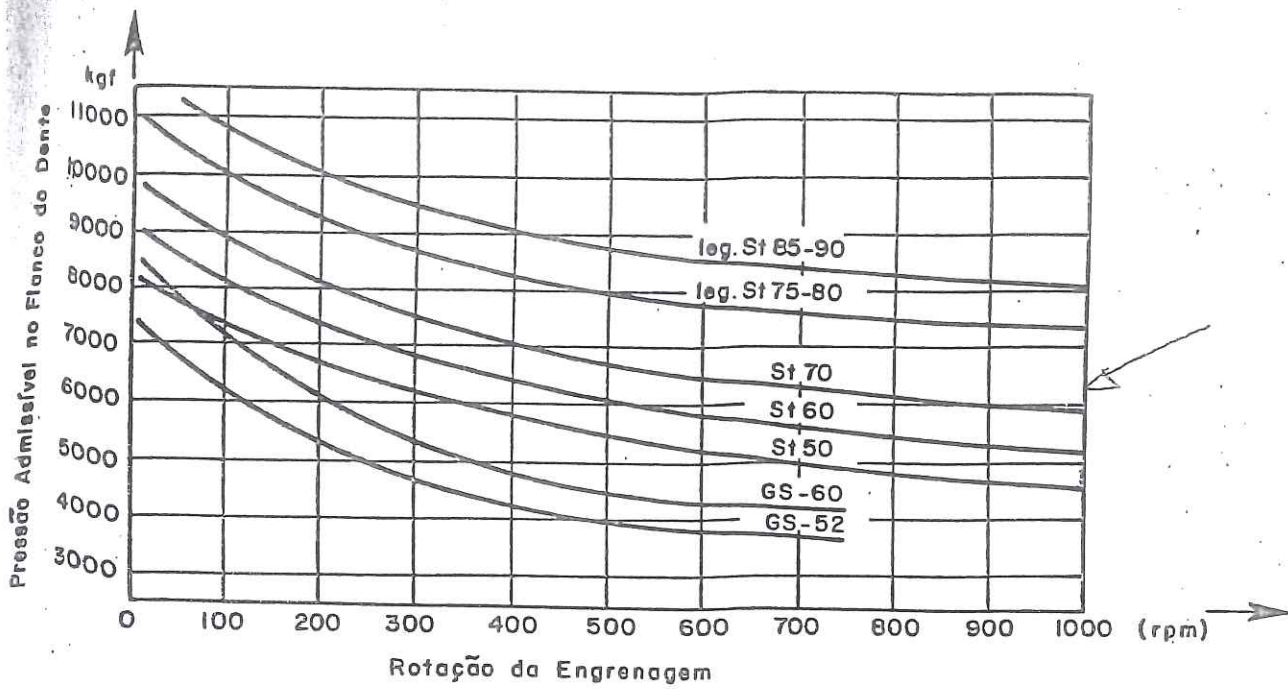


Figura 2.6. Pressão específica admissível no flanco do dente em função da rotação da engrenagem.

Tabela 2.16. Coeficiente geométrico, q, para dentes retos com ângulo de pressão 20°.

Engrenagem externa																			
Z	10	11	12	13	14	15	16	17	18	21	24	28	34	40	50	65	80	100	∞
z	52	49	46	44	41	39	38	36	35	33	32	31	30	29	28	27	26	25	25

Engrenagem interna									
Z	∞	200	100	70	50	38	30	24	20
q	25	24	23	22	21	20	19	18	17

Tabela 2.17. Tensão admissível,  $\sigma_{adm}$ .

Material	$\sigma_{adm}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
Co fundido $\sigma_r = 52$ kgf/mm <sup>2</sup>	900
Co fundido $\sigma_r = 60$ kgf/mm <sup>2</sup>	1000
Co carbono St 50.11	1000
Co carbono St 60.11	1200
Co carbono St 70.11	1350
Co liga $\sigma_r = 75$ a 80 kgf/mm <sup>2</sup>	1550
Co liga $\sigma_r = 85$ a 95 kgf/mm <sup>2</sup>	1700