

5- Tensão Admissível à Fadiga

Fatores modificadores do limite de endurance

*

- *Material*: composição, variabilidade.
- *Manufatura*: método, tratamento térmico, corrosão de piezo-ciclofricção, condição de superfície, concentração de tensão.
- *Ambiente*: corrosão, temperatura, estado de tensão, tempo de relaxação.
- *Projeto*: tamanho, forma, vida, estado de tensão, concentração de tensão, velocidade.

FATORES DE MARIN

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

k_a = fator de modificação de condição de superfície

k_b = fator de modificação de tamanho

k_c = fator de modificação de carga

k_d = fator de modificação de temperatura

k_e = fator de confiabilidade¹⁴

k_f = fator de modificação por efeitos variados

S'_e = limite de endurance de espécime de teste da viga rotativa

S_e = limite de endurance no local crítico de uma peça de máquina na geometria e condição de uso

FATOR DE MODIFICAÇÃO DE CONDIÇÃO DE SUPERFÍCIE (k_a)

$$k_a = aS_{ut}^b$$

Tabela 6-2

Parâmetros para o fator de modificação de superfície de Marin, Equação (6-19).

Acabamento superficial	Fator a S_{ut} , MPa	Expoente b
Retificado	1,58	-0,085
Usinado ou laminado a frio	4,51	-0,265
Laminado a quente	57,7	-0,718
Forjado	272	-0,995

Extraído de C. J. Noll e C. Lipson, "Allowable Working Stresses", *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3, n. 2, 1946, p. 29. Reproduzido por O. J. Horger (ed.) in *Metals Engineering Design ASME Handbook*, Nova York: McGraw-Hill. Copyright © 1953 by The McGraw-Hill Companies, Inc. Reimpresso com autorização.

FATOR DE TAMANHO (k_b)

- Kugel : Diâmetro maior (maior volume de material) implica maior probabilidade de falha por fadiga.
- Von Philip : Material perto da LN ($\sigma \cong 0$) "descarrega" trabalho das fibras externas $\Rightarrow \sigma_{\max}$ real é menor que teórico. Para diâmetros grandes este efeito é pequeno.

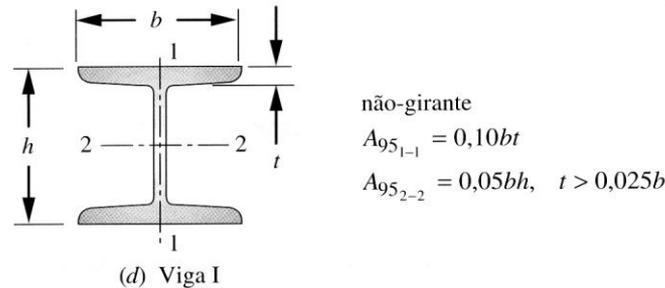
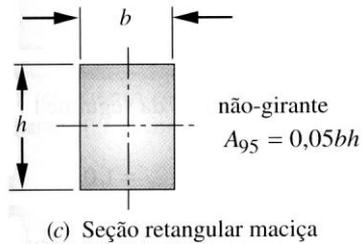
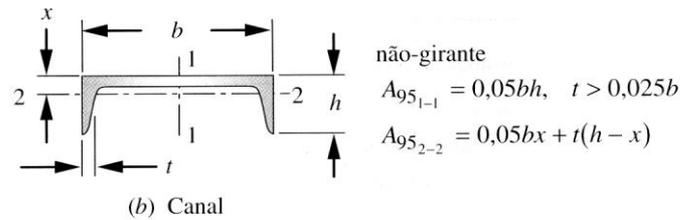
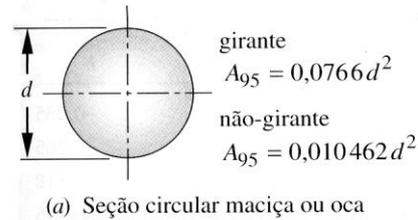
Para flexão e torção:

$$k_b = \begin{cases} (d/7,62)^{-0,107} = 1,24d^{-0,107} & 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1,51d^{-0,157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \\ \mathbf{0,6} & d > 250 \text{ mm} \end{cases}$$

Para carregamento axial:

$$k_b = 1$$

Para eixo não rotativo ou não circular:



$$d_{equiv} = \sqrt{\frac{A_{95}}{0,0766}}$$

No lugar de d, use d_{equiv}

FATOR DE CARREGAMENTO (k_c)

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexão} \\ 0,85 & \text{axial} \\ 0,59 & \text{torção} \end{cases}$$

FATOR DE TEMPERATURA (k_d)

a) Quando se conhece S_{RT}

Tabela 6-4

Efeito da temperatura de operação na resistência à tração do aço. *
 (S_T = resistência à tração na temperatura de operação;
 S_{RT} = resistência à tração à temperatura ambiente, $0,099 \leq \hat{\sigma} \leq 0,110$.)

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}
20	1,000
50	1,010
100	1,020
150	1,025
200	1,020
250	1,000
300	0,975
350	0,943
400	0,900
450	0,843
500	0,768
550	0,672
600	0,549

* Fonte de dados: Figura 2-9.

b) Quando se conhece S'_e

$$k_d = 0,9877 + 0,6507(10^{-3})T_C - 0,3414(10^{-5})T_C^2 \\ + 0,5621(10^{-8})T_C^3 - 6,246(10^{-12})T_C^4$$

FATOR DE CONFIABILIDADE (k_e)

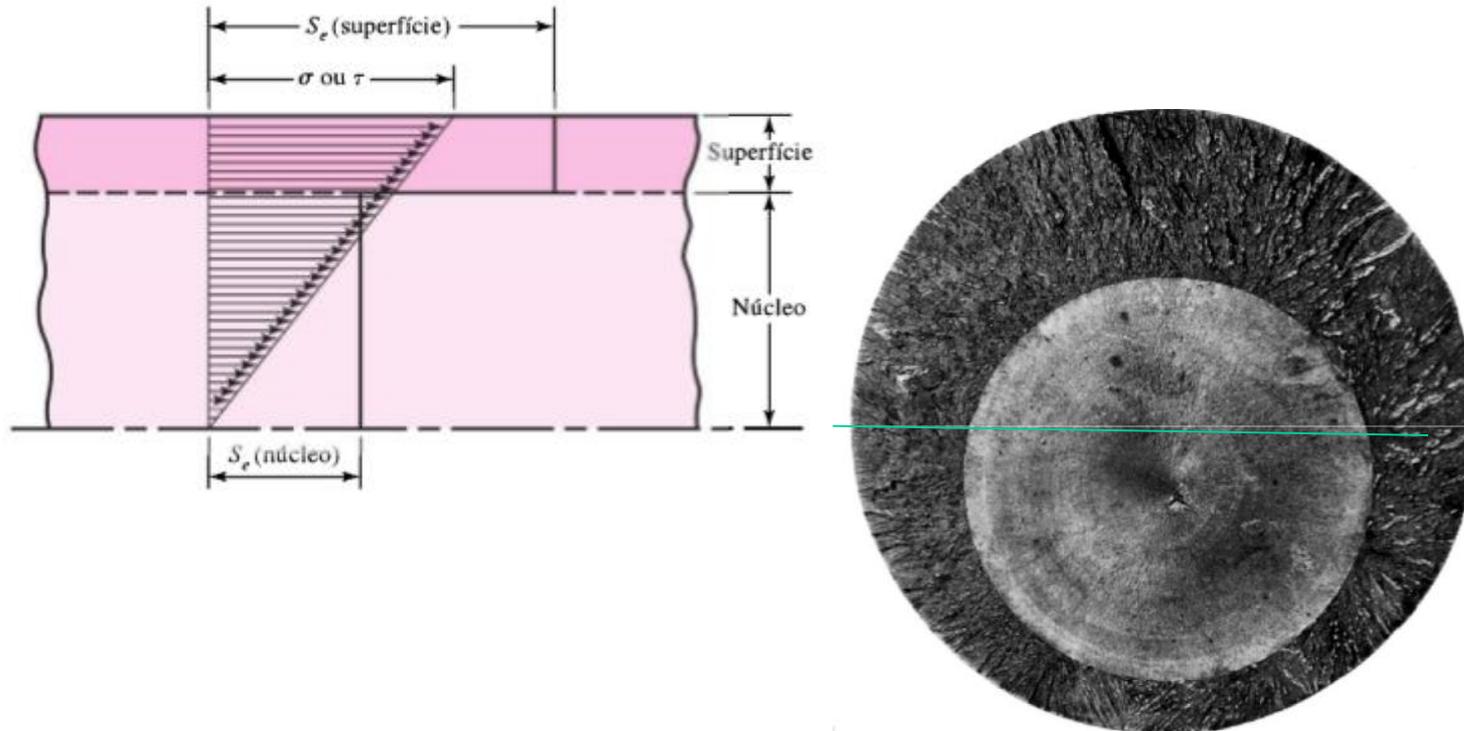
$$k_e = 1 - 0,08z_a$$

Tabela 6-5

Fatores de confiabilidade k_e correspondentes a 8% de desvio padrão do limite de endurance.

Confiabilidade, %	Variante de transformação z_a	Fator de confiabilidade k_e
50	0	1,000
90	1,288	0,897
95	1,645	0,868
99	2,326	0,814
99,9	3,091	0,753
99,99	3,719	0,702
99,999	4,265	0,659
99,9999	4,753	0,620

FATOR DE EFEITOS DIVERSOS (k_f)



Corrosão, cromação, niquelação, recobrimento com cádmio, pulverização de metal e *fretting*

FATOR DE CONCENTRAÇÃO DE TENSÃO E SENSIBILIDADE AO ENTALHE

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad \text{ou} \quad K_{fs} = 1 + q_{\text{cisalhamento}}(K_{ts} - 1)$$

K_f – Fator de concentração de tensão à fadiga

K_t – Fator de concentração de tensão estático (**TAB. A-13**)

q – Sensibilidade ao entalhe (Fig 6-20 ou 6-21)

Na dúvida use $K_f = K_t$

Figura 6-20

Cartas de sensibilidade ao entalhe de aços e ligas de alumínio forjado UNS A92024-T submetidas à flexão reversa ou cargas axiais reversas. Para raios de entalhe maiores, utilize os valores de q correspondentes à ordenada $r = 0,16$ in (4 mm).

(Extraído de George Sines e J. L. Waisman (eds.), Metal Fatigue, McGraw-Hill, New York.

Copyright © 1969, The McGraw-Hill Companies, Inc. Reimpresso com permissão.)

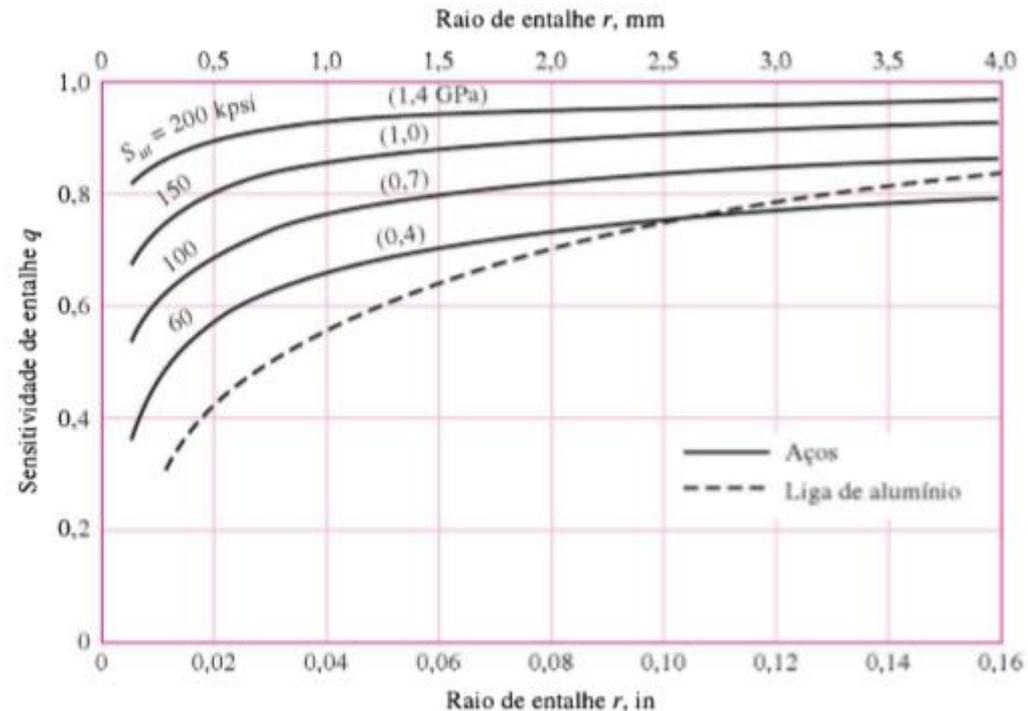
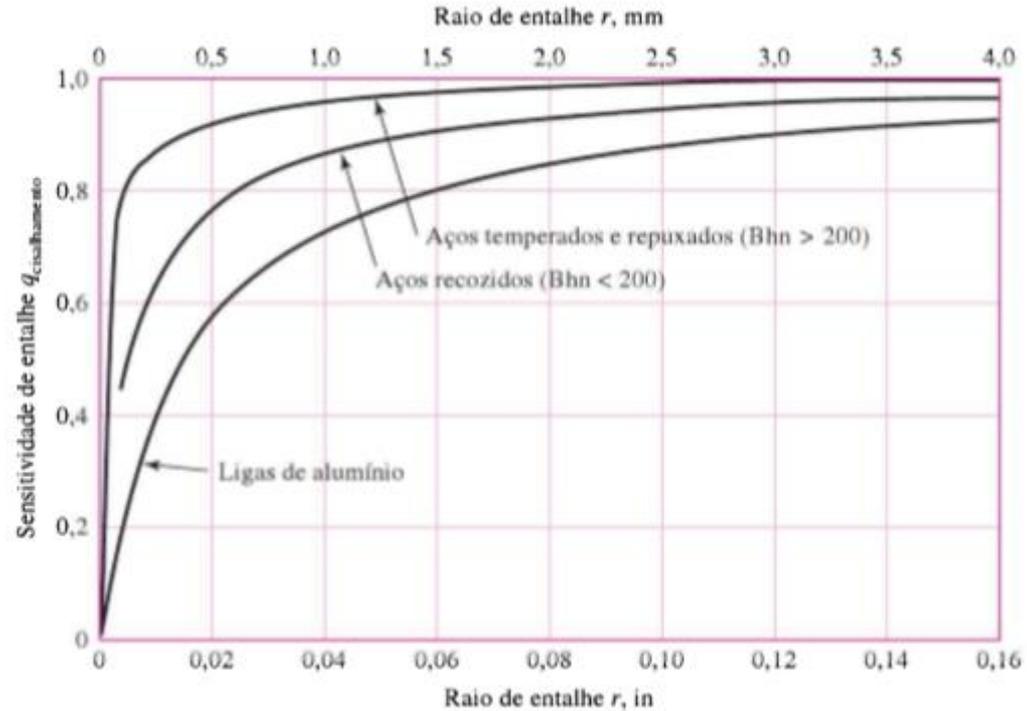


Figura 6-21

Curvas de sensibilidade ao entalhe para materiais em torção reversa. Para raios grandes de entalhe, use valores de $q_{\text{cisalhamento}}$ correspondente a $r = 0,16$ in (4 mm).



Como obter K_f

a) obter K_f por ensaios diretos

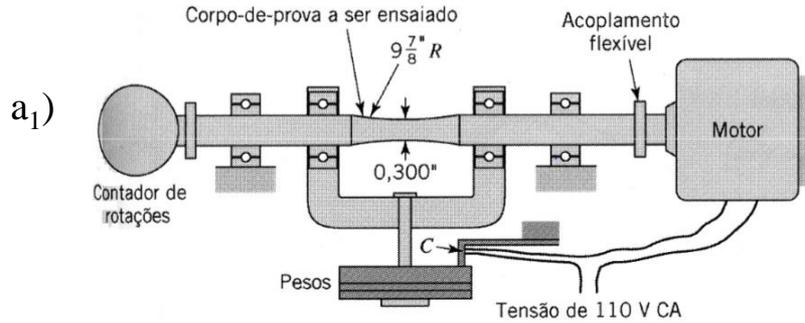


Diagrama SN $\rightarrow S'_e$ sem entalhe

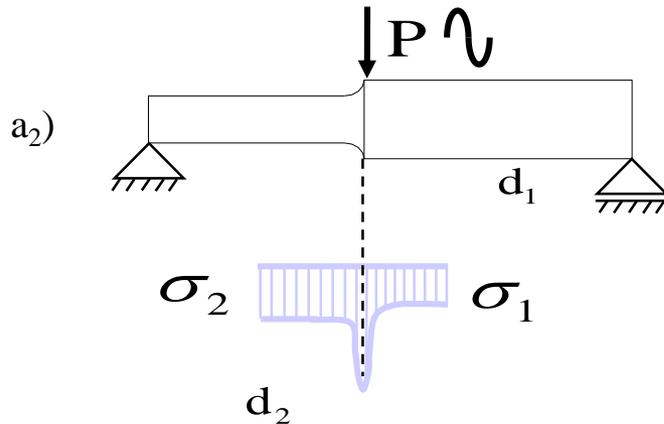


Diagrama SN $\rightarrow S'_e$ com entalhe

$$K_f = \frac{S'_e \text{ sem entalhe}}{S'_e \text{ com entalhe}}$$

b) obter K_t por gráficos disponíveis

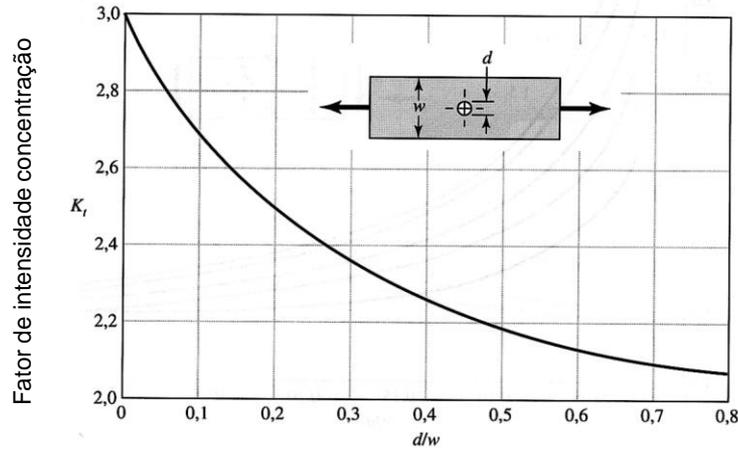


Figura 1 - Fator de concentração de tensão para uma barra retangular sujeita à tração ou compressão com um furo transversal

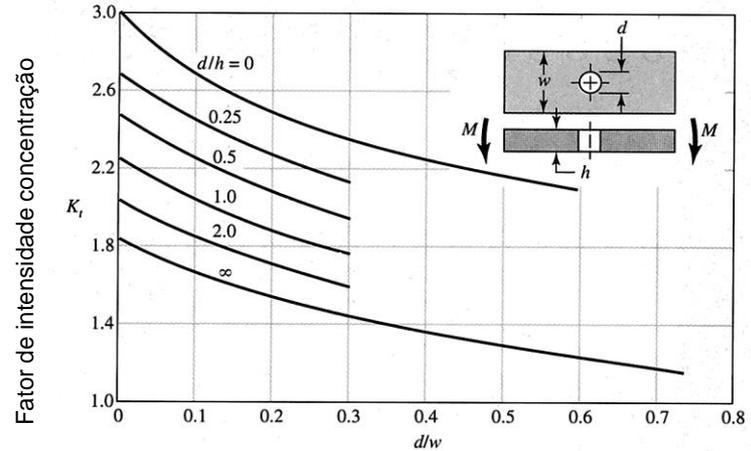


Figura 2 - Fator de concentração de tensão para uma barra retangular sujeita à flexão com um furo transversal

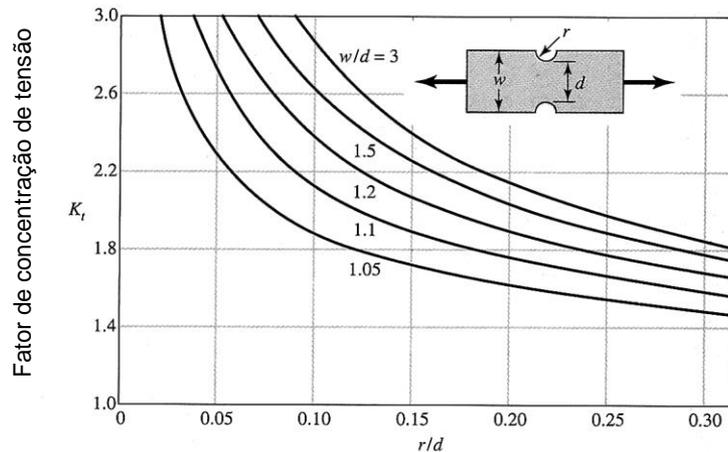


Figura 3 - Fator de concentração de tensão para uma barra com entalhes, sujeita a tração e compressão

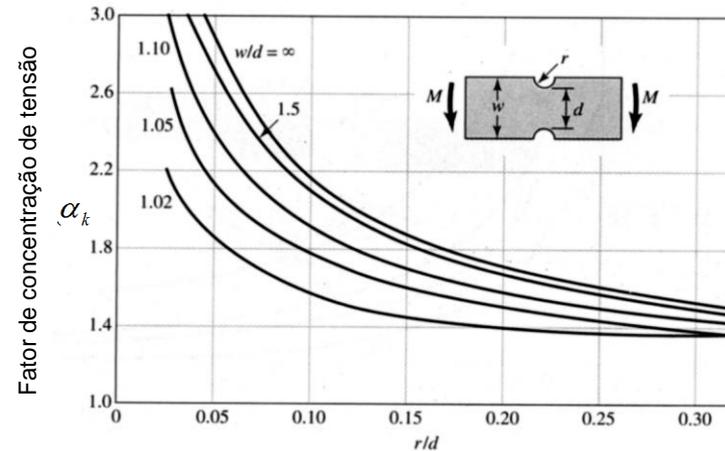


Figura 4 - Fator de concentração de tensão para uma barra retangular sujeita à flexão

Fonte: Shigley, J. E. et al. *Mechanical Engineering Design*. 7th ed. 2004 (appud Peterson, R.E. *Design Factors for Stress Concentration*, Parts 1 to 5 *Machine Design*, Feb-Jul. 1951.)

SEM0568 - Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas

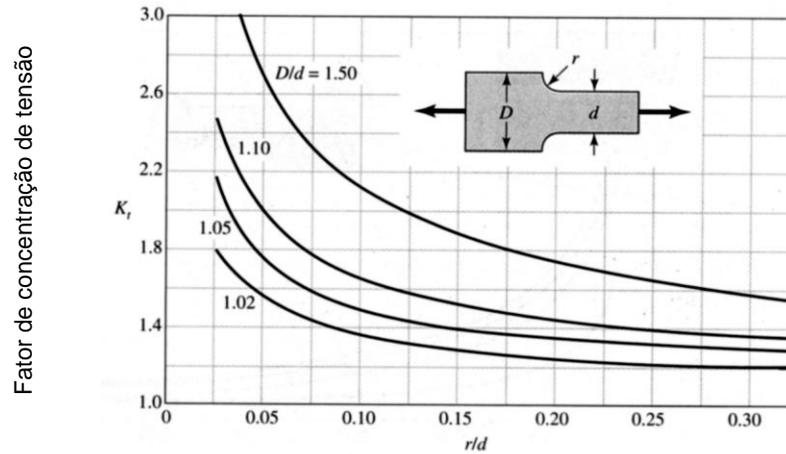


Figura 5 - Fator de concentração de tensão para uma barra com variação de secção sujeita a tração e compressão.

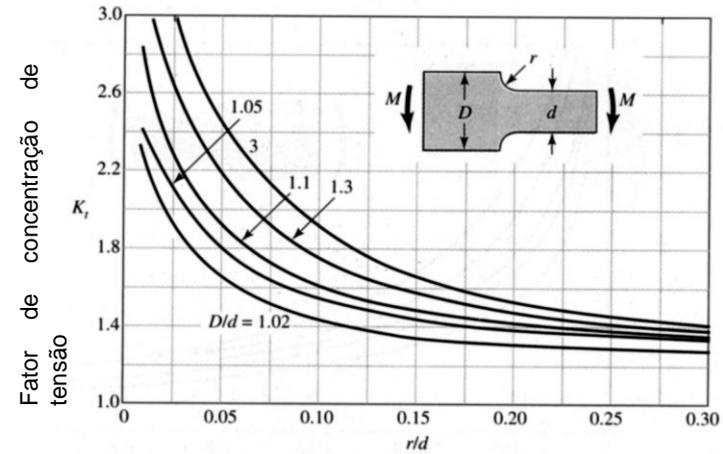


Figura 6 - Fator de concentração de tensão para uma barra com variação de secção sujeita a flexão.

Fonte: Shigley, J. E. et al. *Mechanical Engineering Design*. 7th ed. 2004 (appud Peterson, R.E. *Design Factors for Stress Concentration*, Parts 1 to 5 *Machine Design*, Feb-Jul. 1951.)

SEM0568 - Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas

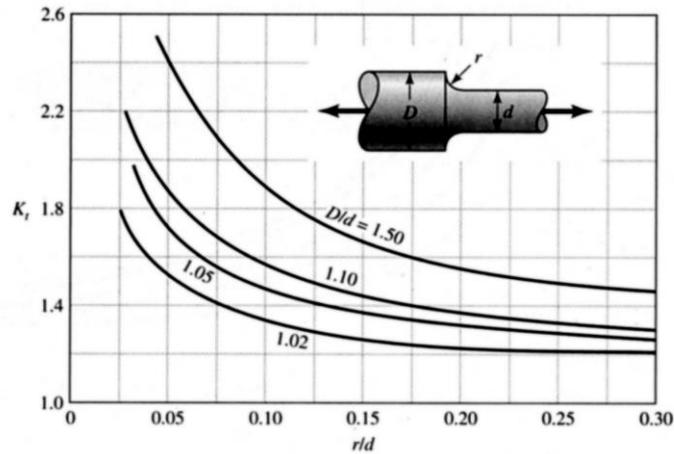


Figura 7 - Fator de concentração de tensão para eixo de seção circular sujeito a tração

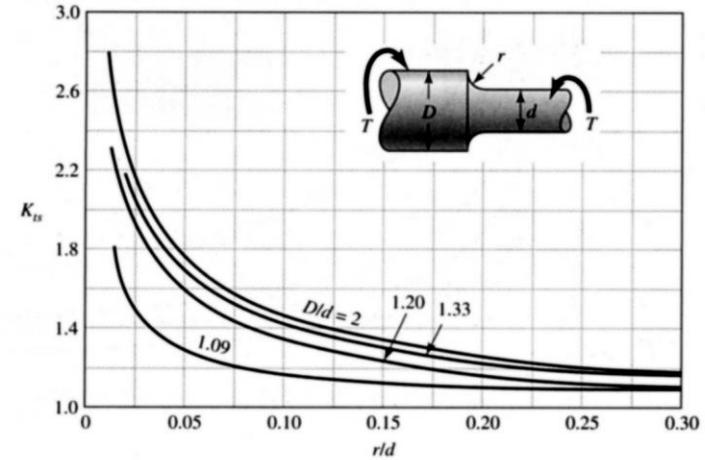


Figura 8 - Fator de concentração de tensão para eixo de seção circular sujeito a torção

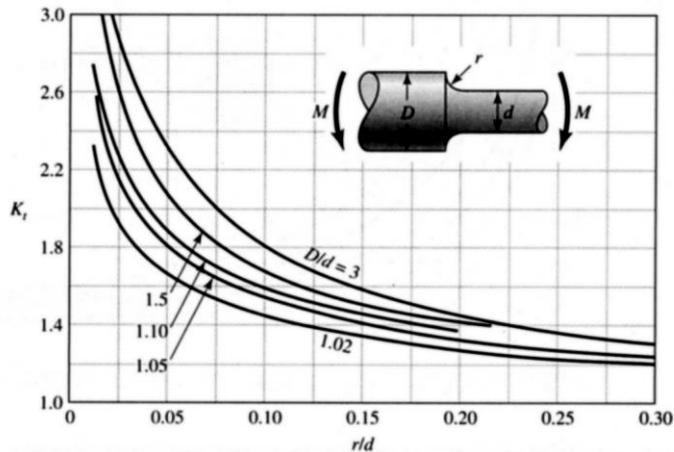


Figura 9 - Fator de concentração de tensão para eixo de seção circular sujeito à flexão

Fonte: Shigley, J. E. et al. *Mechanical Engineering Design*. 7th ed. 2004 (appud Peterson, R.E. *Design Factors for Stress Concentration*, Parts 1 to 5 *Machine Design*, Feb-Jul. 1951.)

SEM0568 - Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas

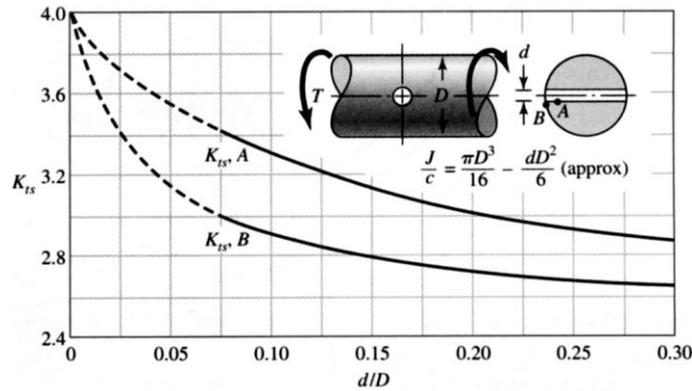


Figura 10 - Fator de concentração de tensão para eixo de seção circular, com um furo, sujeito à flexão

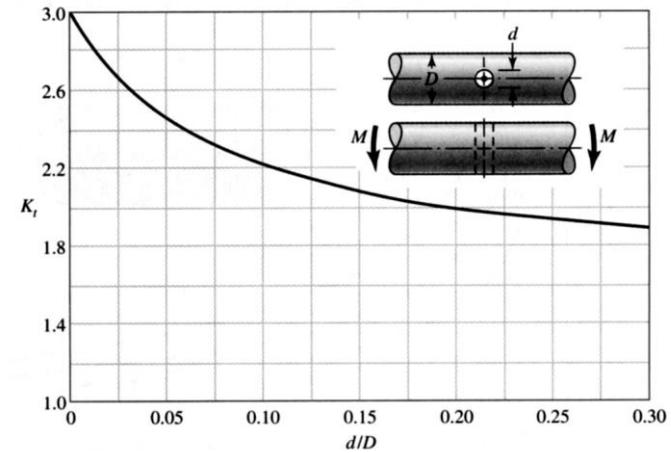


Figura 11 - Fator de concentração de tensão para eixo de seção circular, com um furo, sujeito à torção

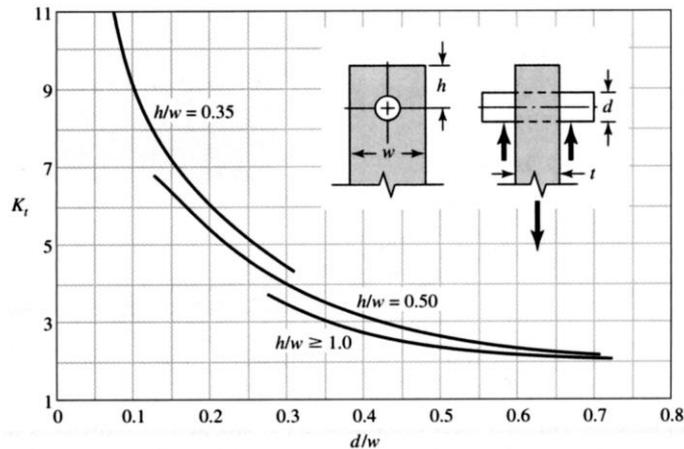


Figura 12 - Fator de concentração uma barra sujeita a tração através de um pino.

Fonte: Shigley, J. E. et al. *Mechanical Engineering Design*. 7th ed. 2004 (appud Peterson, R.E. *Design Factors for Stress Concentration*, Parts 1 to 5 *Machine Design*, Feb-Jul. 1951.)

SEM0568 - Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas

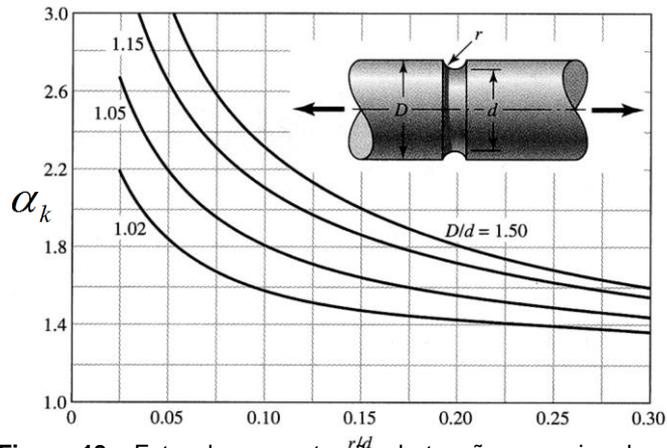


Figura 13 - Fator de concentração de tensão para eixo de seção circular, com um rasgo arredondado, sujeito à tração.

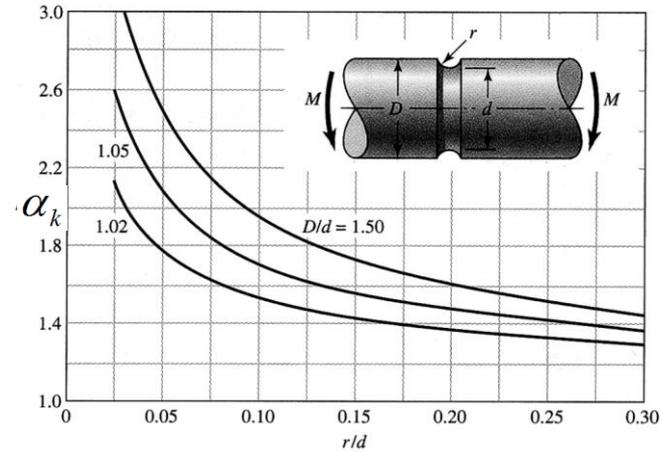


Figura 15 - Fator de concentração de tensão para eixo de seção circular, com rasgo arredondado, sujeito à flexão.

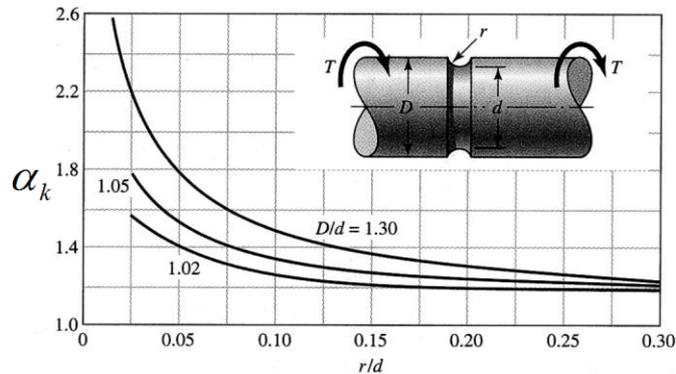


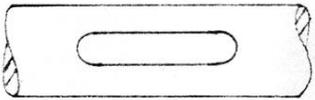
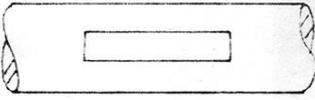
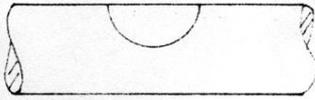
Figura 15 - Fator de concentração de tensão para eixo de seção circular, com rasgo arredondado, sujeito à torção.

Fonte: Shigley, J. E. et al. *Mechanical Engineering Design*. 7th ed. 2004 (appud Peterson, R.E. *Design Factors for Stress Concentration*, Parts 1 to 5 *Machine Design*, Feb-Jul. 1951.)

SEM0568 - Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas

Coeficiente de entalhe para solicitações dinâmicas para rasgos de chaveta:

1) Solicitação de flexão alternada simétrica

A) RASGOS COM FRESA DE TOPO	VALORES DE β (β_{kt})	
	EIXO AÇO CARBONO	EIXO AÇO CARBONO TRATADO OU AÇO-LIGA
	1,6	2,0
B) RASGOS COM FRESA WOODROFF (DE DISCO)	1,3	1,6
		
C) RASGOS CHAVETA AMERICANA (MEIA LUA)	2,0	3,0
		

2) Solicitação de torção alternada simétrica

A)	VALORES DE β	
	EIXO AÇO CARBONO	EIXO AÇO CARBONO TRATADO OU AÇO-LIGA
QUALQUER TIPO DE RASGO EXCETO AMERICANA	1,3	1,6
B)	1,6	2,0
RASGO AMERICANA		

Figura 27

Tabela A-18

Resistências determinísticas da ASTM mínimas de tração e de escoamento para aços laminados a quente (HR) e estirados a frio (CD). [As resistências listadas são valores mínimos estimados da ASTM no intervalo de medida de 18 a 32 mm ($\frac{3}{4}$ a $1\frac{1}{2}$ in). Estas resistências são apropriadas para uso com o fator de projeto (ou desenho) definido na Seção 1-10, provido que os materiais conformem aos requisitos da ASTM A5 ou A508 ou são requeridos em especificações de compra. Lembre que um sistema de numeração não é uma especificação.] Fonte: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS n°	N° SAE e/ou AISI	Processamento	Resistência à tração MPa (Kpsi)	Resistência ao escoamento MPa (Kpsi)	Alongamento em 2 in, %	Redução em área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27,5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37,5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39,5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49,5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61,5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248