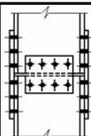


Ligações Aparafusadas – Parte I

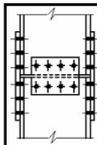


Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
PGECIV - Mestrado Acadêmico
Faculdade de Engenharia – FEN/UERJ
Disciplina: Ligações em Estruturas de Aço e Mistas
Professor: Luciano Rodrigues Ornelas de Lima



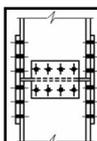
1. Introdução

- O projeto estrutural metálico envolve a especificação e cálculo de como os elementos estruturais (vigas, colunas, tirantes, etc.) são interligados
- Os meios mais comuns são os parafusos e as soldas.
- Rebites já foram muito usados mas atualmente são utilizados somente para reparação de estruturas existentes.



1. Introdução

- As ligações soldadas → mais diretas, com menos elementos e com melhor continuidade
- Solda → uma mão de obra mais especializada (execução e/ou inspeção) e maior dificuldade no ajuste das peças
- Fatores econômicos → maior utilização da solda nas ligações de fábrica
- Nas ligações de campo → uso de parafusos

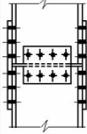


2. Exemplos de Ligações



Torre Eiffel /
Paris (executada
com rebites)





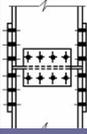
PGECIV



2. Exemplos de Ligações




Torre Eiffel / Paris
(executada com rebites)



PGECIV



2. Exemplos de Ligações

Pontes sobre o Rio Sena / Paris (executada com rebites)





Ponte D. Luís / Porto (executada com rebites)

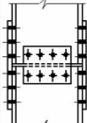




PGECIV

REN

2. Exemplos de Ligações





Viga em aço c/ pilar de concreto



Contraventamento



Treça soldada

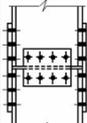


Viga secundária c/ principal

PGECIV

REN

2. Exemplos de Ligações





Passarela de pedestres - soldada



Viga em aço c/ viga em concreto



Viga-pilar (maior e menor inércia)

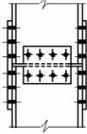


Viga-pilar (maior e menor inércia)

PGECIV

IBEN

2. Exemplos de Ligações




Viga-pilar (menor inércia)



Viga-pilar e contraventamento

PGECIV

IBEN

3. Materiais

- **Existem dois tipos de parafusos:**
 - ✓ parafusos comuns
- **Os parafusos comuns** → aço de baixo carbono, cabeça e porcas quadradas ou sextavadas → ASTM ou ISO

Especificação		F_y (MPa)	F_u (MPa)	ϕ máximo (mm)	Tipo de material
Parafusos Comuns	ASTM A 307	-	415	100	C
	ISO 898 classe 4.6	240	400	36	C

ISO classe X.Y
 O Produto X . 100 representa a mínima tensão última do parafuso, F_u em N/mm² (MPa)
 O Produto Y . X . 100 representa mínima tensão última do parafuso F_y em N/mm² (MPa)

PGECIV

3. Materiais

- **Existem dois tipos de parafusos:**
 - ✓ **parafusos de alta resistência**
- Parafusos de alta resistência → aço de médio carbono temperado ou aço liga temperado, tem cabeça e porca hexagonal e são marcados na cabeça com sua designação ASTM e ISO

A325 com rosca parcial

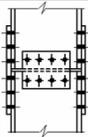
ISO M20 cl.10.9 com rosca completa

PGECIV

3. Materiais

Especificação		F _y (MPa)	F _u (MPa)	φ máximo (mm)	Material ^[1]
Parafusos de Alta Resistência	ASTM A 325 ^[2]	635 560	825 725	12,7 ≤ d ≤ 25,4 25,4 < d ≤ 38,1	C,T
	ASTM A 490	895	1035	12,7 ≤ d ≤ 38,1	T
	ISO 8.8	640	800	12,7 ≤ d ≤ 38,1	C,T
	ISO 10.9	900	1000	12,7 ≤ d ≤ 38,1	T

^[1] Disponíveis também com resistência à corrosão atmosférica comparável à dos aços AR-COR-345 Graus A e B ou à dos aços ASTM A588.
^[2] C = carbono, T = temperado

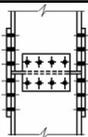




3. Materiais – Eurocode 3 pt. 1.8

Table 3.1: Nominal values of the yield strength f_{yb} and the ultimate tensile strength f_{ub} for bolts

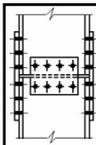
Bolt class	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	300	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	500	600	800	1000





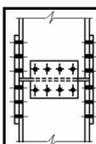
3. Materiais

- Principal diferença no comportamento de ligações com parafusos comuns e com parafusos de alta resistência → protensão
- Os parafusos comuns, são instalados apertando-se a porca contra as placas que estão sendo ligadas sem controle especial → tração pequena e variável, que não pode ser levada em conta no cálculo



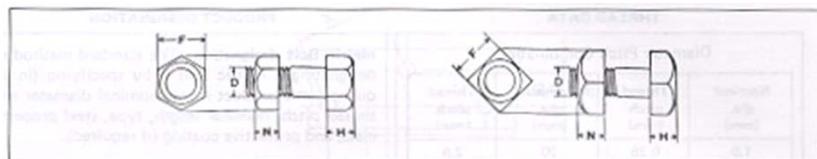
3. Materiais

- Ausência de protensão em parafusos comuns → pequeno movimento das partes ligadas sob carga → estes parafusos somente são recomendados em ligações de reticulados leves não sujeitos à vibração ou reversão de carga

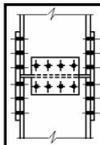


3. Materiais

✓ Parafusos comuns - ASTM A307 (unidades inglesas – “in”)



Nominal Diameter of Bolt	Regular Square Bolts		Finished Hex Bolts		Minimum Thread Lengths		Regular Square Nuts		Finished Hex Nuts	
	Nominal Width F	Nominal Height H	Basic Width F	Basic Height H	Length Under Head		Nominal Width F	Nominal Height N	Basic Width F	Basic Height N
					6 In. and Under	Over 6 In.				
Inches	Inches	Inches	Inches	Inches	Inches	Inches	Inches	Inches	Inches	Inches
1/4	3/8	11/64	7/16	5/32	3/8	1	7/16	7/32	7/16	7/32
3/8	9/16	1/4	9/16	15/64	1	1 1/4	5/8	21/64	9/16	21/64
1/2	3/4	21/64	3/4	5/16	1 1/4	1 1/2	13/16	7/16	3/4	7/16
5/8	15/16	27/64	15/16	25/64	1 1/2	1 3/4	1	35/64	15/16	35/64
3/4	1 1/8	1/2	1 1/8	15/32	1 1/2	2	1 1/8	21/32	1 1/8	41/64
7/8	1 5/16	19/32	1 5/16	35/64	2	2 1/4	1 5/16	49/64	1 5/16	3/4
1	1 1/2	21/32	1 1/2	39/64	2 1/4	2 1/2	1 1/2	7/8	1 1/2	55/64
1 1/8	1 11/16	3/4	1 1/16	11/16	2 1/2	2 3/4	1 11/16	1	1 11/16	31/32
1 1/4	1 7/8	27/32	1 7/8	25/32	2 3/4	3	1 7/8	1 3/32	1 7/8	1 1/16

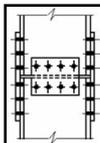


3. Materiais

✓ Parafusos de alta resistência - ASTM A325 e A490 (marcas requeridas)

TYPE	A325		A490	
	BOLT	NUT	BOLT	NUT
1				
2		Same as Type 1		Same as Type 1
3				

- (1) Additional Optional 3 Radial Lines at 120° may be added.
- (2) Type 3 also acceptable.
- (3) Additional Optional Mark indicating Weathering Grade may be added.

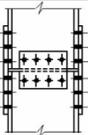


3. Materiais

✓ Parafusos de alta resistência – ISO (marcas requeridas)

	General grade to BS 4395: Part 1				Higher grade to BS 4395: Parts 2 and 3				
	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36
Thread lengths									
Bolt length up to 125 (Part 1)	30	38	46	50	54	60	66	72	78
Parts 2 and 3	36	44	52	56	60	66	72	78	84
125–200 mm (Part 1)	36	44	52	56	60	66	72	78	84
Parts 2 and 3	44	50	58	62	66	72	78	84	90
over 200 mm (Part 1)	49	57	65	69	73	79	85	91	97
Parts 2 and 3	54	62	70	74	78	84	90	96	102
Dimensions									
Width across flats	22	27	32	36	41	46	50	55	60
Width across corners	25.4	31.2	36.9	41.6	47.3	53.1	57.7	63.5	69.3
Nominal head depth of bolts	8	10	13	14	15	17	19	21	23
Nominal depth of nuts	11	15	18	19	22	24	26	29	31
Diameter of countersunk head	24	32	40	44	48	54	60	66	72
Diameter of waisted shank (Part 3 only)	–	12.0	15.2	17.1	18.3	21.1	23.3	26.2	–
Nominal washer thickness	2.6	3.2	3.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.4	4.4
Washer external diameter ^a	30	37	44	50	56	60	66	75	85
Washer internal diameter	13.6	17.6	21.3	23.2	26.2	29.2	32.6	35.6	38.6



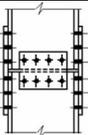


3. Materiais

✓ Parafusos de alta resistência - ASTM A325 e A490
(peso aproximado em lb/1000un)

7	49.5	80.6	121	171	229	300	384	479	589
7½	50.9	82.8	124	175	234	307	392	489	602
7½	52.3	84.9	127	179	240	314	401	500	614
7½	53.6	87.1	130	183	246	321	410	510	626
8	55.0	89.2	133	187	251	328	418	521	639
8¼	56.4	91.4	136	192	257	335	427	531	651
8½	57.8	93.5	139	196	262	342	435	542	664
8¾	59.1	95.7	142	200	268	349	444	552	676
9	60.5	97.8	145	204	273	356	453	563	689
9¼	62.0	100	149	209	279	363	461	574	701
9½	63.3	102	152	213	284	370	470	584	713
9¾	64.7	104	155	217	290	377	478	595	726
10	66.1	107	158	221	295	384	487	605	738
Per Inch Additional	5.5	8.6	12.4	16.9	22.1	28.0	34.4	42.5	49.7
Plain Round Washers	2.0	3.9	4.5	7.1	9.3	11.3	14.1	16.8	20.0
Bevelled Square Washers	24.9	23.8	22.6	21.0	19.2	34.0	31.6	—	—
Heavy Hex Nuts	6.54	11.9	19.3	29.7	42.5	59.2	78.6	102	131



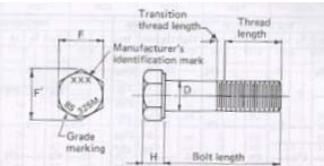
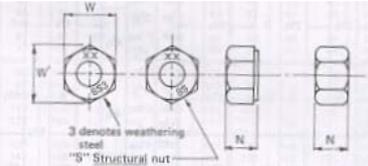


3. Materiais

✓ Parafusos de alta resistência - ISO (dimensões em "mm")

Nominal Bolt Size	Heavy Hex Bolt or Nut Dimension				Heavy Hex Nut Max. Height N	Max Head Height H	Heavy Hex Structural Bolt		Max. Transition Thread Length
	Across Flats F or W		Across Corners F' or W'				Thread Length*		
	Max.	Min.	Max.	Min.			Bolt Lengths <100	Bolt Lengths >100	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
M16 x 2	27.00	26.16	31.18	29.56	17.1	10.75	31	38	6.0
M20 x 2.5	34.00	33.00	39.26	37.29	20.7	13.40	36	43	7.5
M22 x 2.5	36.00	35.00	41.57	39.55	23.6	14.90	38	45	7.5
M24 x 3	41.00	40.00	47.34	45.20	24.2	15.90	41	48	9.0
M27 x 3	46.00	45.00	53.12	50.85	27.6	17.90	44	51	9.0
M30 x 3.5	50.00	49.00	57.74	55.37	30.7	19.75	49	56	10.5
M36 x 4	60.00	58.80	69.25	66.44	36.6	23.55	56	63	12.0

*Does not include transition thread length.
Bolt dimensions conform to those listed in ANSI B18.2.3.7M-1979 "Metric Heavy Hex Structural Bolts", and the nut dimensions conform to those listed in CSA Standard B18.2.4.6-M1980 "Metric Heavy Hex Nuts".
** Strength requirements are based on ASTM Specifications A325M and A490M. See page 3-5.




3. Materiais

✓ Parafusos de alta resistência - ISO (comprimentos em “mm”)

Nominal Bolt Size	M16		M20		M22		M24		M27		M30		M36	
	Min. Grip	Max. Grip												
45	14	26			23		20							
50	19	31			24	25		24						
55	24	36			19	32		29		25				
60	29	41			24	37		34		30		27		
65	34	46			29	42	27	39	24	39		32		
70	39	51			34	47	32	44	29	44	26	40		31
75	44	56			39	52	37	49	34	49	31	45	26	42
80	49	61			44	57	42	54	39	54	36	50	31	47
85	54	66			49	62	47	59	44	59	41	55	36	52




3. Materiais

✓ Parafusos de alta resistência – ISO
(peso aproximado em kg/1000un)

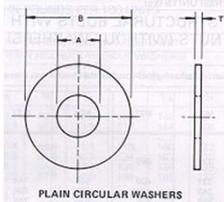
Bolt Length	Bolt Size (number following the letter M is the nominal bolt diameter in millimetres)						
	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
40	170						
45	177	321	396				
50	184	331	409	539	744		
55	191	342	423	554	764		
60	198	353	438	570	784	1000	
65	204	364	449	586	804	1030	
70	211	375	462	601	824	1050	1710
75	218	386	476	617	845	1000	1750
80	226	397	489	632	865	1100	1780
85	232	407	502	648	885	1120	1820
90	239	418	515	664	906	1150	1850
95	246	429	529	679	925	1170	1890
100	253	440	542	695	945	1200	1920
110	267	462	569	726	985	1250	2000
120	281	483	595	757	1020	1300	2070
130	295	505	622	788	1070	1350	2140
140	309	527	648	820	1110	1400	2210
150	322	548	675	851	1150	1440	2280
160	336	570	701	882	1190	1490	2350
170	350	592	728	913	1230	1540	2420
180	364	613	754	945	1270	1590	2490
190	378	635	781	977	1310	1640	2560
Extra per 10 mm	13.9	21.7	26.5	31.2	40.1	49.2	71.3
Mass of Extra Heavy Hex Nuts	61.0	118	145	201	286	371	635
Mass of Plain Washers	18	27	33	45	57	66	100
Mass of Bevel Washers	101	91	85	78	154	142	115

*Computed theoretical mass using a steel density of 7.850 kg/m³.




3. Materiais

✓ Arruelas Planas – (dimensões em mm)



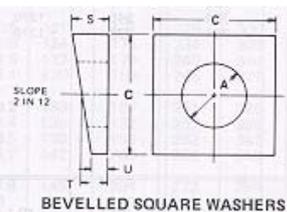
PLAIN CIRCULAR WASHERS

Metric Bolt Size	B		A		T	
	Outside Diameter		Hole Diameter		Thickness	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
M16 x 2	34.0	32.4	18.4	18.0	4.6	3.1
M20 x 2.5	41.0	39.4	22.5	22.0	4.6	3.1
M22 x 2.5	44.0	42.4	24.5	24.0	4.6	3.4
M24 x 3	50.0	48.4	26.5	26.0	4.6	3.4
M27 x 3	56.0	54.1	30.5	30.0	4.6	3.4
M30 x 3.5	60.0	58.1	33.5	33.0	4.6	3.4
M36 x 4	72.0	70.1	39.5	39.0	4.6	3.4




3. Materiais

✓ Arruelas Biseladas – (dimensões em mm)



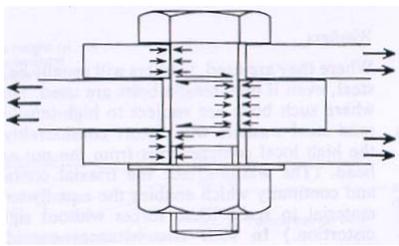
BEVELLED SQUARE WASHERS

Metric Bolt Size	C		A		S	T	U
	Width		Hole Diameter		Thick Side ±0.5	Thickness	
	Max	Min	Max	Min		Mean Nom.	Thin Side ± 0.5
M16 x 2	45.0	43.0	18.4	18.0	11.7	8	4.3
M20 x 2.5	45.0	43.0	22.5	22.0	11.7	8	4.3
M22 x 2.5	45.0	43.0	24.5	24.0	11.7	8	4.3
M24 x 3	45.0	43.0	26.5	26.0	11.7	8	4.3
M27 x 3	59.0	57.0	30.5	30.0	12.8	8	3.2
M30 x 3.5	59.0	57.0	33.5	33.0	12.8	8	3.2
M36 x 4	59.0	57.0	39.5	39.0	12.8	8	3.2




3. Materiais

✓ Propriedades Mecânicas de Parafusos (Eurocode)



Mechanical property	Strength grade designation			
	4.6	8.8	10.9	12.9
Tensile strength	(min.) kgf/mm ²	40	80	100
	(max.) N/mm ²	392	785	981
Vickers hardness	(min.) kgf/mm ²	55	100	120
	(max.) N/mm ²	539	981	1177
Yield stress	(min.) kgf/mm ²	110	225	280
	(max.) N/mm ²	170	300	370
Stress at permanent set limit	(min.) kgf/mm ²	24	-	-
	(max.) N/mm ²	235	-	-
Stress at proof load	(min.) kgf/mm ²	-	64	90
	(max.) N/mm ²	-	628	883
Elongation after fracture (min %)	kgf/mm ²	22.6	58.2	79.2
	N/mm ²	222	571	777
Charpy impact strength	(min.) kgf/cm ²	25	12	9
	ft lbf	-	6	4
		-	22	14

Ligações por corte simples – esmagamento do parafuso (“bearing”)

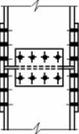
Strength grade designation	4	8	12
Proof load stress	40	80	120
Vickers hardness (max.)	310	310	370






3. Materiais

✓ Propriedades Mecânicas de Porcas (Eurocode)



ISO Metric coarse threads	(M12)	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	(M33)	M36
Pitch (mm)	1.75	2.00	2.50	2.50	3.00	3.00	3.50	3.50	4.00
Tensile stress area (mm ²)	84.3	157	245	303	353	459	561	694	817
Basic effective diameter (Pitch diameter) (mm)	10.863	14.701	18.376	20.376	22.051	25.051	27.727	30.727	33.402
Length of threads									
BS 4190 Up to and inc. 125 mm	30	38	46	50	54	60	66	72	78
and Over 125 mm up to and inc. 200 mm	36	44	52	56	60	66	72	78	84
BS 3692 Over 200 mm	49	57	65	69	73	79	85	91	97
BS 4190 Up to and inc. 125 mm (Short thread length)	24	30	33	36	40				
(Short thread lengths may also be available for BS 3692 bolts – to special order)									
Dimensions									
Max. width across flats	19.0	24.0	30.0	32.0	36.0	41.0	46.0	50.0	55.0
Max. width across corners	21.9	27.7	34.6	36.9	41.6	47.3	53.1	57.7	63.5
Nominal head depth of bolts	8.0	10.0	13.0	14.0	15.0	17.0	19.0	21.0	23.0
Nominal depth of nuts	10.0	13.0	16.0	18.0	19.0	22.0	24.0	26.0	29.0
Nominal washer thickness	2.5	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0
Washer ext. diameter	24	30	37	39	44	50	56	60	66
Washer int. diameter	14	18	22	24	26	30	32	36	39

✓ Arruelas simples

✓ Em Owens

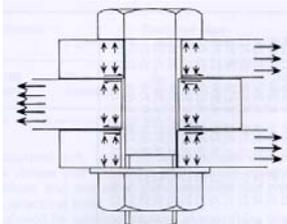
- Passo
- Tolerâncias
- Aperto

Dia.	Length (mm)																											
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	260	300			
M12	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
M16	s	s	s	sp	xsp																							
M20	s	s	s	s	sp	xsp																						
M24	s	s	s	s	s	sp	xsp																					




3. Materiais

✓ Propriedades Mecânicas de Parafusos (Eurocode)



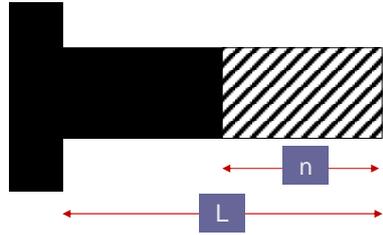
Ligações por atrito

Mechanical property	General grade ≠ M24	General grade > M24	Higher grade
<i>Bolts</i>			
Tensile strength (N/mm ²)	827	725	981
Vickers min.	260	225	280
hardness max.	330	292	380/370
Stress at permanent set limit $R_{0.2}$ (N/mm ²)	635	558	882
Stress under proof load (N/mm ²)	587	512	776
Elongation after fracture (min. %)	12	12	9
<i>Nuts</i>			
Proof load stress (N/mm ²)	1000	1000	1176
Vickers min.	175	175	258
hardness max.	310	310	370
<i>Washers</i>			
Vickers min.	362	362	362
hardness max.	440	440	440




3. Materiais

✓ Comprimentos mínimos de rosca de parafusos



✓ $L \leq 125\text{mm}$

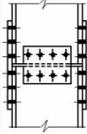
✓ $125 < L \leq 200\text{mm}$

✓ $L > 200\text{mm}$

$n = 2D + 6\text{ mm}$

$n = 2D + 12\text{ mm}$

$n = 2D + 15\text{ mm}$



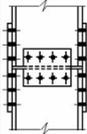
PGECIV



4. Propriedades Geométricas

✓ Furação - Eurocode

d (mm)	Furo padrão (mm)	Furo maior (mm)	Furo pouco alongado (mm)	Furo muito alongado (mm)
≤ 22	d + 2	d + 5	(d + 2)x(d + 6)	(d + 2) x 2 . 5d
24	27	30	27 x 32	27 x 60
≥ 27	d + 3	d + 8	(d + 3)x(d + 10)	(d + 3) x 2 . 5d



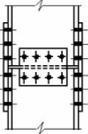
PGECIV



5. Protensão de Parafusos

✓ **Garantia de protensão mínima nos parafusos de alta resistência**

- Rotação da porca
- Controle do torque aplicado
- Indicador de tração
- Indicadores de carga



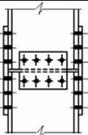
PGECIV



5. Protensão de Parafusos

- ✓ **Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência**
- **Protensão mínima – Eurocode 3**
 - ✓ For preloaded bolts in accordance with 3.1.2(1) the design preload, $F_{p,Cd}$, to be used in design calculations should be taken as:

$$F_{p,Cd} = 0,7 f_{ub} A_s / \gamma_{M7} \quad (3.1)$$
 - ✓ When the preload is not used in design calculations the guidance given in the note to Table 3.2 should

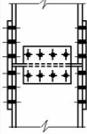


PGECIV



5. Protensão de Parafusos

- ✓ **Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência**
- **Rotação da porca**
 - ✓ O método de aperto pela rotação da porca é o mais comum e consiste em controlar a elongação do parafuso através do número de voltas da porca após este ter sido apertado o suficiente para que todas as partes estejam em pleno contato;
 - ✓ Esta condição de contato das partes é chamada de condição de pré-torque:
 - *“o aperto obtido após poucos impactos aplicados por uma chave de impacto, ou pelo esforço máximo aplicado por um indivíduo utilizando uma chave de porca”.*



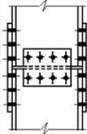
PGECIV

GEN

5. Protensão de Parafusos

✓ **Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência**

NBR8800 / Canadense	Disposição das faces externas das partes parafusadas		
Comprimento do parafuso (medido da parte inferior da cabeça a extremidade)	Ambas as faces normais ao eixo do parafuso	Uma das faces normal ao eixo do parafuso e a outra face inclinada não mais que 1:20 (sem arruelas biseladas)	Ambas as faces inclinadas em relação ao eixo do parafuso, não mais que 1:20 (sem arruelas biseladas)
		Até 4 diâmetros inclusive	1/3 de volta
Acima de 4 diâmetros até no máximo 8 diâmetros inclusive	1/2 de volta	2/3 de volta	5/6 de volta
Acima de 8 diâmetros até no máximo 12 diâmetros	2/3 de volta	5/6 de volta	1 volta

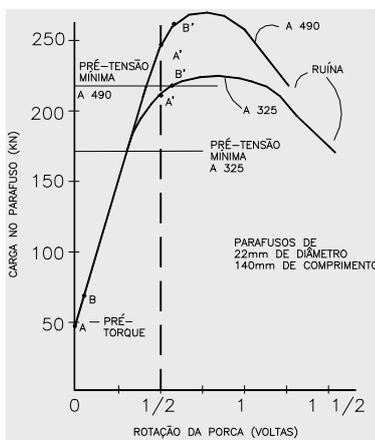


PGECIV

GEN

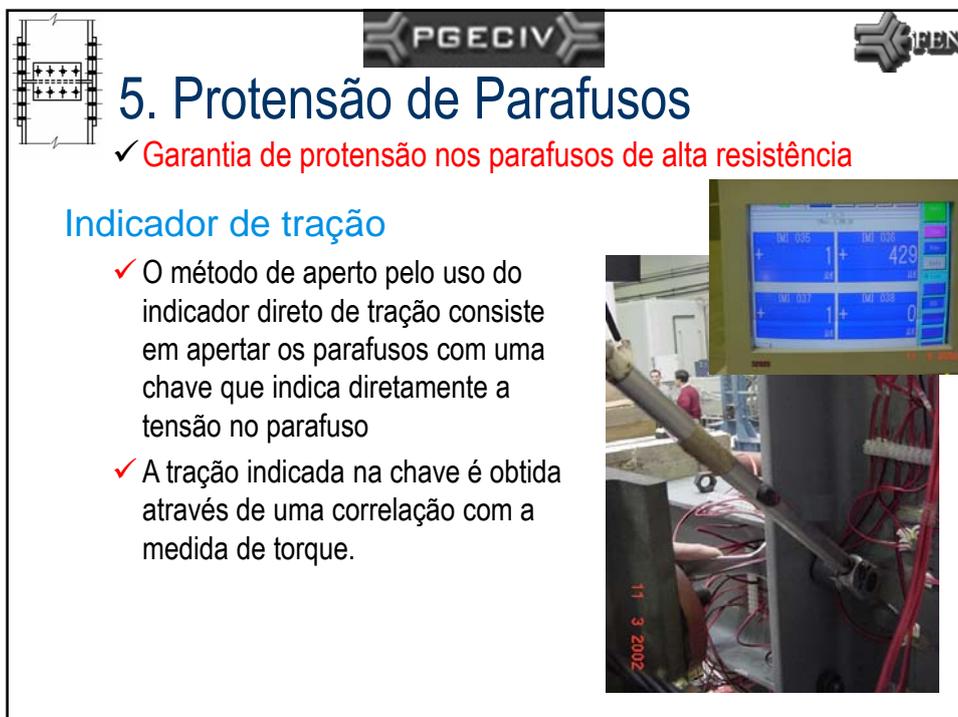
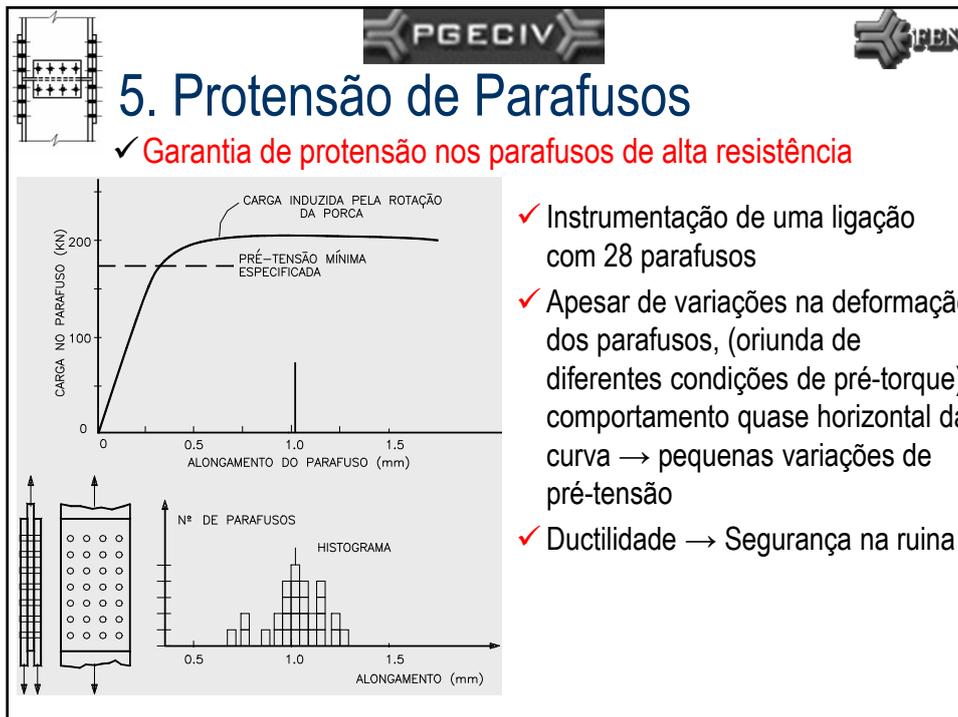
5. Protensão de Parafusos

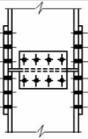
✓ **Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência**



PARAFUSOS DE 22mm DE DIÂMETRO 140mm DE COMPRIMENTO

- ✓ Reaperto → Folga
- ✓ Ao se aplicar a rotação da porca exigida, (1/2 volta), a carga no parafuso ultrapassa com folga a pré-tensão mínima
- ✓ A exata determinação da condição de pré-torque não é importante, ou seja, não importa a condição de pré-torque A ou B
- ✓ O resultado da aplicação do método é satisfatório para os dois casos, A' ou B'
- ✓ A ductilidade dos parafusos garante a segurança do método contra a ruína do parafuso



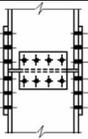


5. Protensão de Parafusos

✓ **Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência**

Controle do torque

- ✓ Testes de laboratório e inspeções de campo mostram uma variação de até 30% na protensão de parafusos instalados
- ✓ NBR-8800 só permite sua utilização “desde que possa ficar demonstrado por um método preciso de medida direta” que o parafuso obteve a protensão exigida.
- ✓ 85 a 90% do torque → fricção na rosca
- ✓ Calibração (1 parafuso por lote/série) → torque aplicado → protensão gerada
- ✓ Variação → cuidadoso 15%
- ✓ Capacidade elástica do sistema dificulta o controle



5. Protensão de Parafusos

✓ **Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência**

Controle do torque + rotação da porca

- ✓ Pré-torque → torque controlado → sequencia
- ✓ Protensão final → rotação da porca

PGECIV

REN

5. Protensão de Parafusos

✓ **Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência**

Indicadores de carga

✓ **Arruelas**

Monitoring tension and tightening from opposite sides

Arrangement if monitoring tension and tightening from same side

PGECIV

REN

5. Protensão de Parafusos

✓ **Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência**

Indicadores de carga

✓ **Cabeça do parafuso**

Side elevation

(b)

End elevation

PGECIV

GEN

5. Protensão de Parafusos

✓ **Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência**

Indicadores de carga

✓ **Parafuso especial**

Before clamping

1 Bolt tip
2 Tension control diameter
3 Thread

During clamping

4 Nut
5 Washer
6 Connected part
7 Connected part
8 Outer socket
9 Inner socket

After clamping

The bolt reacts to the fastening torque and shears at the torque control groove when the required tension is reached

PGECIV

GEN

5. Protensão de Parafusos

✓ **Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência**

Comparação dos três métodos

Plasticidade na rosca devido ao torque/cisalhamento

Teste mecânico

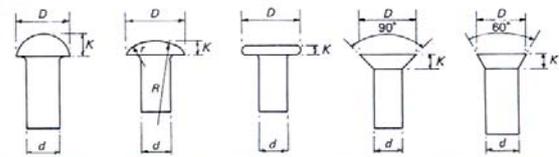
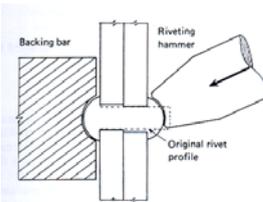
✓ **Variações no comportamento ocorrem devido às tensões adicionais provocadas pelo torque aplicado ao parafuso**

✓ **Escoamento prematuro da superfície externa do parafuso**




6. Rebites

✓ Manutenção de estruturas existentes

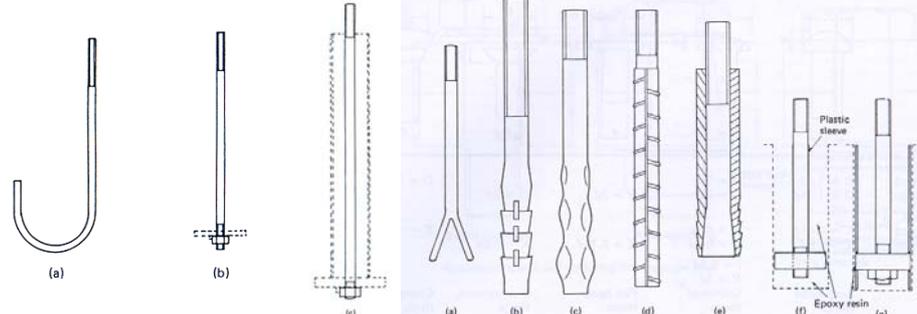



Head diameter	$D = 1.6d$	$D = 2d$	$D = 2d$	$D = 2d$	$D = 1.5d$
Hot forged					
Cold forged	$D = 1.75d$	$D = 2d$			
Head depth					
Hot forged	$K = 0.65d$	$K = 0.4d$	$K = 0.25d$	$K = 0.5d$	$K = 0.43d$
Cold forged	$K = 0.6d$	$K = 0.4d$			
Radii		$r = 0.6d$			
		$R = 3d$			
	Snap head rivets	Universal rivets	Flat head rivets	Countersunk rivets	Countersunk rivets

- Furação com 2mm de folga → formação da cabeça a quente → expansão → diminuir a folga no furo
- Resfriamento provoca protensão nos parafusos → maior rigidez da ligação
- Pouco confiáveis à tração




6. Chumbadores



Pré-instalados

- J → construções leves com comprimento máximo de 600 mm e diâmetro menor que 24mm
- Tubados → cargas maiores → aplicação de protensão (70% P_u)

Instalados em furos feitos em estruturas prontas

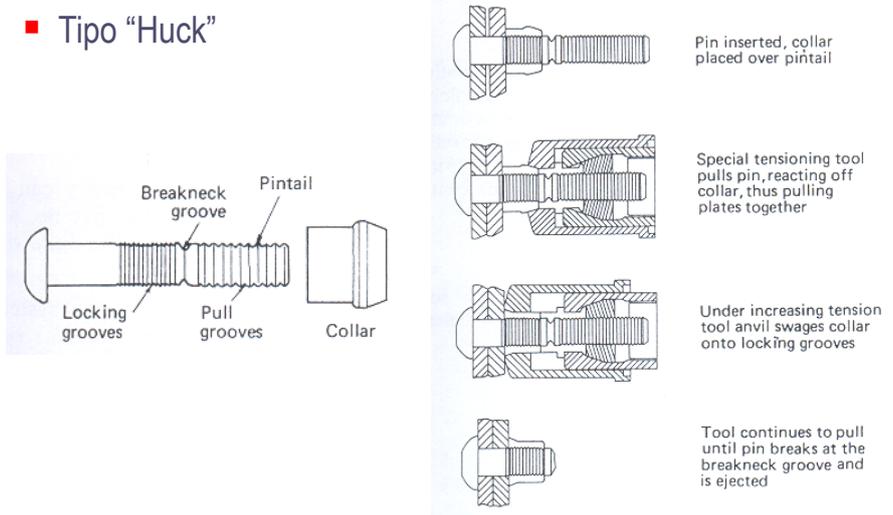
- (a) ... (d) → instalados em furos feitos no concreto → resina epóxi ou massa de cimento
- (e) → expansão
- (f) e (g) → maiores cargas (parafusos de fundação) → tensão e cisalhamento

PGECIV

REN

7. Tipos Especiais de Parafusos

■ Tipo "Huck"



Pin inserted, collar placed over pintail

Special tensioning tool pulls pin, reacting off collar, thus pulling plates together

Under increasing tension tool anvil swages collar onto locking grooves

Tool continues to pull until pin breaks at the breakneck groove and is ejected

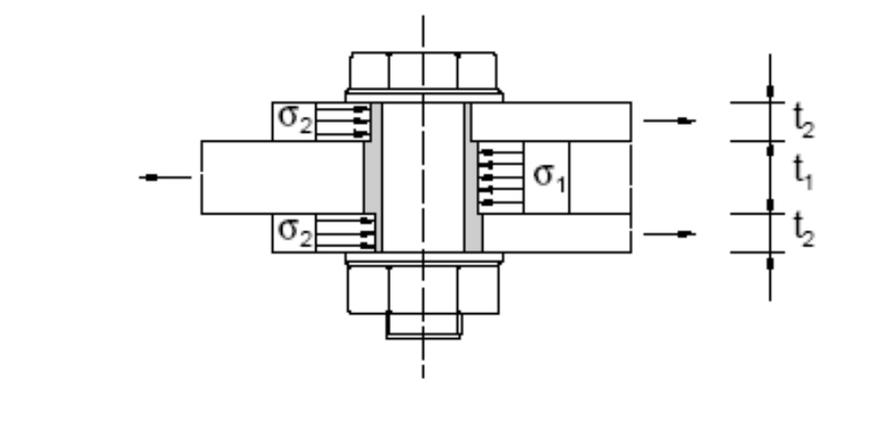
Labels in diagram: Breakneck groove, Pintail, Locking grooves, Pull grooves, Collar

PGECIV

REN

7. Tipos Especiais de Parafusos

■ Preenchidos com resina



Labels in diagram: σ_2 , σ_1 , t_2 , t_1 , t_2




8. Critérios de Inspeção

Parafusos

- ✓ Tração simples do parafuso
- ✓ Tração simples de pedaços de parafusos → $F_y \rightarrow 0,2\%$
- ✓ Dureza
- ✓ Teste de som → cabeça do parafuso

Porcas

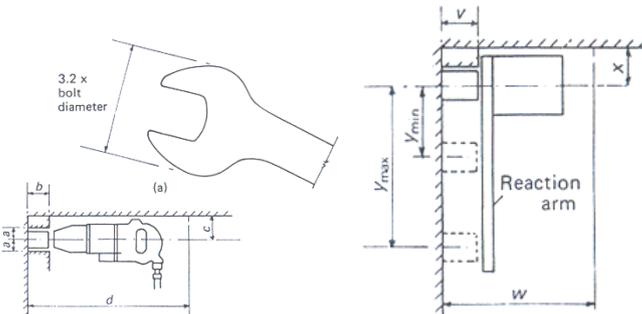
- ✓ Carga última
- ✓ Dureza

Roscas

- ✓ Gráfico de sombras → magnificação das roscas
- ✓ Padrão de rosca fixo



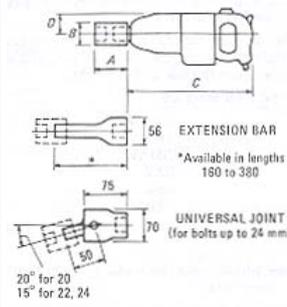
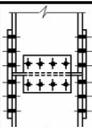

9. Distâncias Mínimas de Aperto



Parafuso	a	b	c	d (força)	Parafuso	v	w	x	min. y até máx. y ₁
M12	23	27	30	500	M24	65	250	60	82
M16	30	46	60	500			500		210
M20	30	46	60	600	M30	78	270	65	89
M24	36	65	60	600			600		260
M30	49	78	70	700	M36	97	300	65	89
M36	49	97	100	700			600		260



9. Distâncias Mínimas de Aperto



	Size	C	D
Light Wrenches	16 to 24	337 to 356	54
Heavy Wrenches	24 to 36	375 to 438	64

Bolt Size	Sockets		Min. Clear.	
	A	B	E	F
16	80	45	25	28
20	85	54	30	34
22	90	57	32	36
24	95	60	34	38
27	100	70	35	42
30	110	75	41	45
36	130	90	48	52



	Size	C	D
Light Wrenches	5/8 to 1	1-1/4 to 1-2	2 1/8
Heavy Wrenches	1 to 1 1/4	1-2 3/4 to 1-5 1/4	2 1/2

Bolt Size	Sockets		Min. Clear.	
	A	B	E	F
5/8	2-5/8	1-3/4	1-1/8	1-1/4
3/4	3	2-1/4	1-1/4	1-3/8
7/8	3-1/4	2-1/2	1-5/16	1-7/16
1	3-1/2	2-5/8	1-7/16	1-9/16
1-1/8	3-3/4	2-7/8	1-9/16	1-11/16
1-1/4	4	3-1/8	1-5/8	1-3/4
1-3/8	4-1/4	3-1/4	2-1/8	2-1/4
1-1/2	4-3/8	4-1/4		

