

**ECV 113 – ESTRUTURAS DE CONCRETO, METÁLICAS E
DE MADEIRA**

***AULA 03: DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES
PARAFUSADAS***

Prof. Ana Paula Moura
ana.paula.moura@live.com

PROGRAMAÇÃO DA AULA

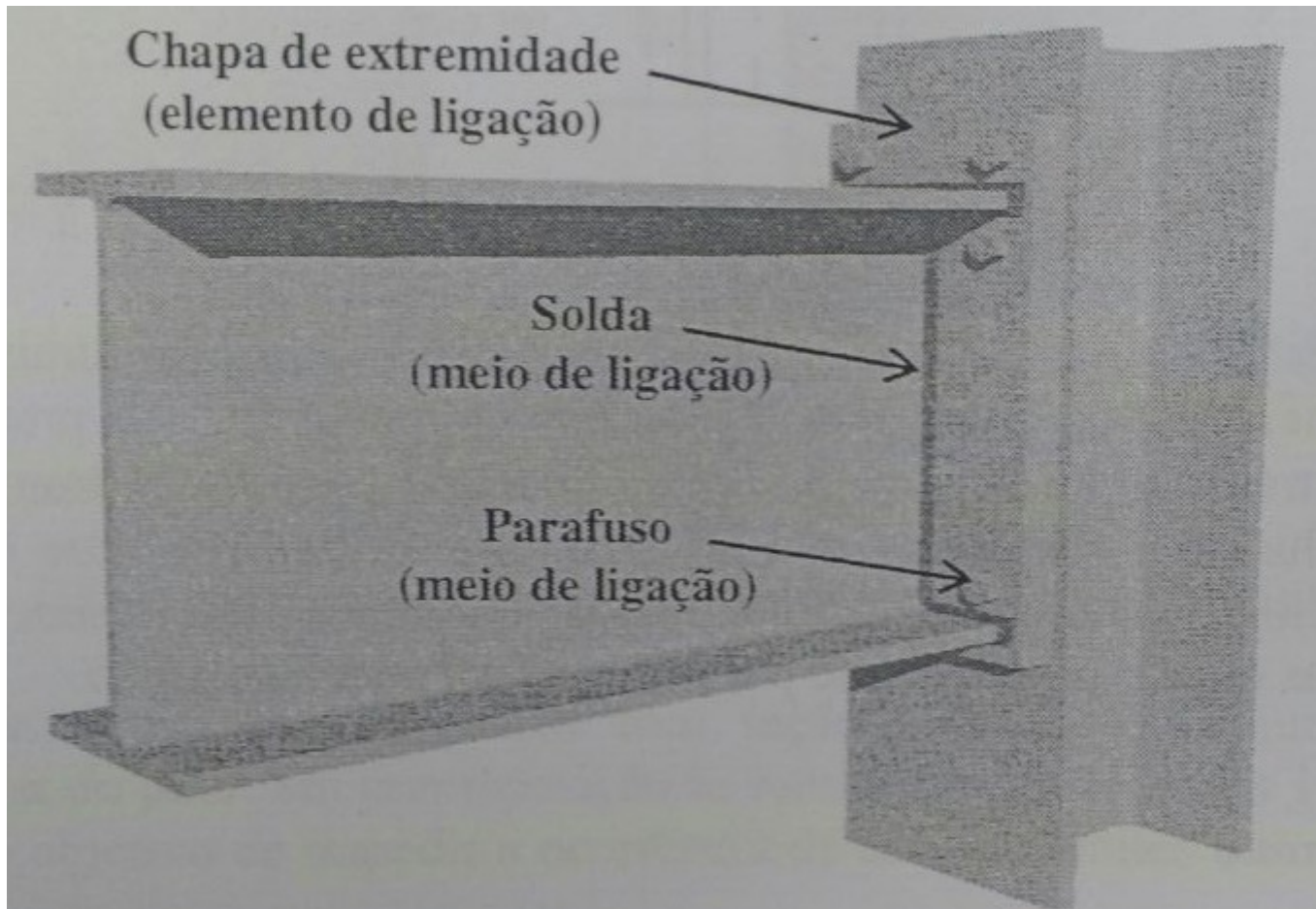
- 1) Considerações preliminares: definições, vantagens e desvantagens;
- 2) Classificação das ligações;
- 3) Ligações Usuais;
- 4) Características dos parafusos estruturais;
- 5) Tipos de ligações parafusadas;
- 6) Parâmetros de dimensionamento conforme NBR8800:2008.

1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

“Ligação é o termo aplicado a todos os detalhes construtivos que promovam a união de partes da estrutura entre si ou a sua união com elementos externos a ela, como por exemplo, as fundações.”

“As ligações são compostas por elementos de ligação, como chapas e cantoneiras, e meios de ligação como soldas e parafusos.”

1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES



1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Elementos de ligação: todos os componentes incluídos no conjunto para permitir ou facilitar a transmissão de esforços:

- Enrijecedores;
- Chapas de ligação;
- Placas de base;
- Cantoneiras;
- Talas de emenda;
- Parte das peças ligadas envolvidas localmente na ligação.

1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Meio de ligação: elementos que promovem a união entre as partes da estrutura para formar a ligação:

- Soldas;
- Parafusos;
- Barras redondas rosqueadas;
- Pinos.

1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Tipo	Vantagens	Desvantagens
Ligação parafusada	<ul style="list-style-type: none">• Facilidade de montagem e desmontagem;• Fácil inspeção;• Economia de energia;• Mão de obra não qualificada.	<ul style="list-style-type: none">• Custo maior (parafuso+furação) ;• Enfraquecimento das peças ligadas.
Ligação soldada	<ul style="list-style-type: none">• Ligação mais simples (menos elementos);• Melhor continuidade;• Menor custo.	<ul style="list-style-type: none">• Mão de obra especializada;• Controle de qualidade rigoroso.

2. CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES QUANTO A ROTAÇÃO RELATIVA

2.1) Ligações rígidas;

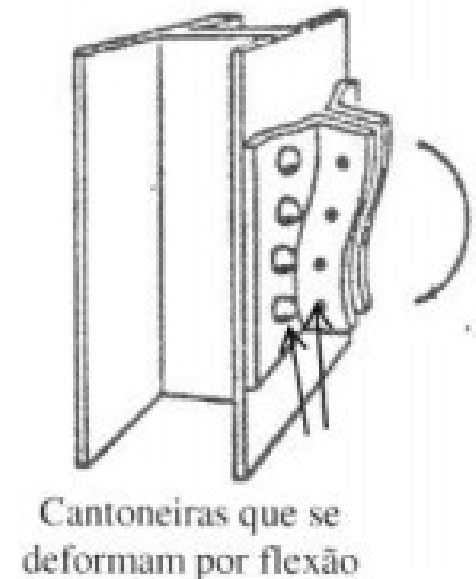
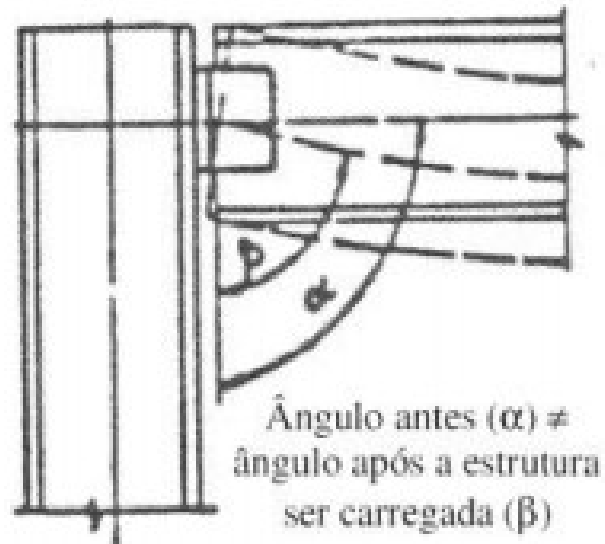
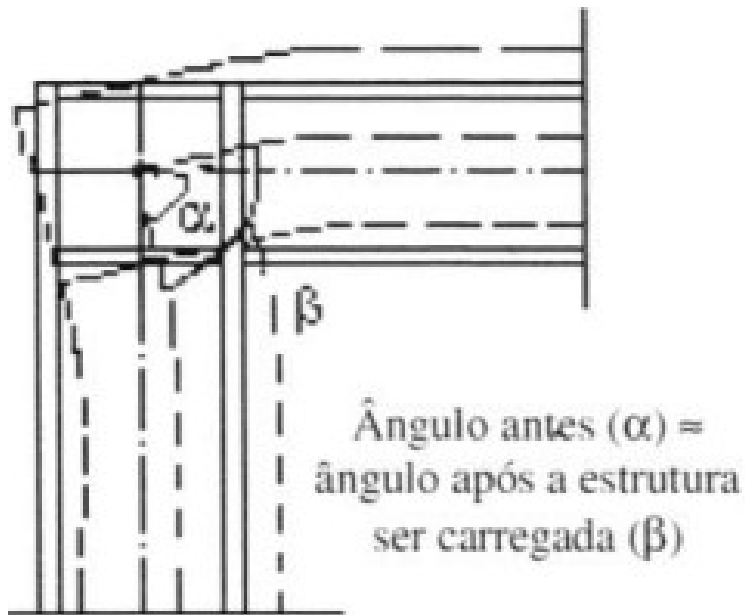
2.2) Ligações flexíveis;

2.3) Ligações semirígidas.

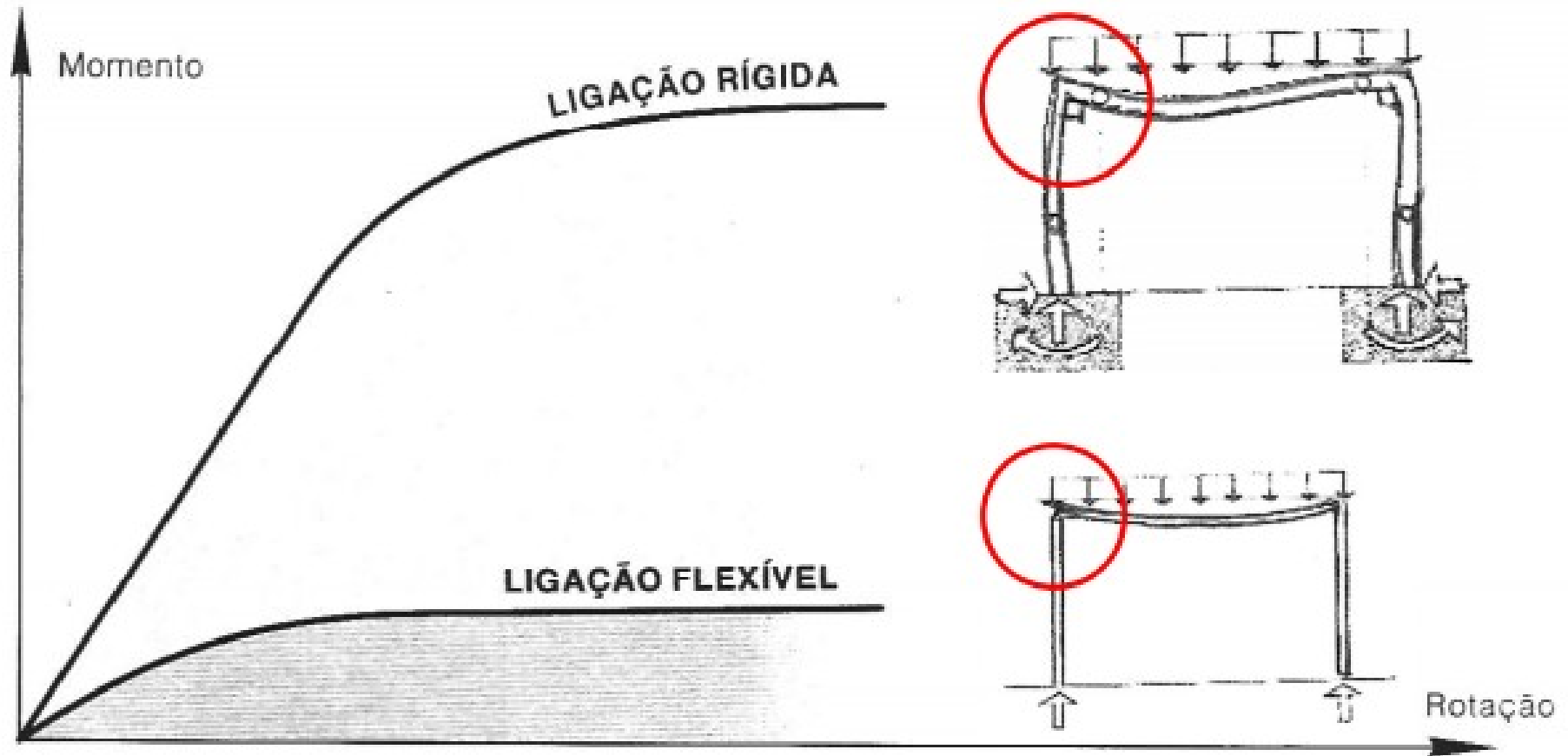
Ângulo entre os componentes estruturais que se interceptam;

- Transmissão de esforços;
- Ligações soldadas → Fábrica;
- Ligações parafusadas → Campo.

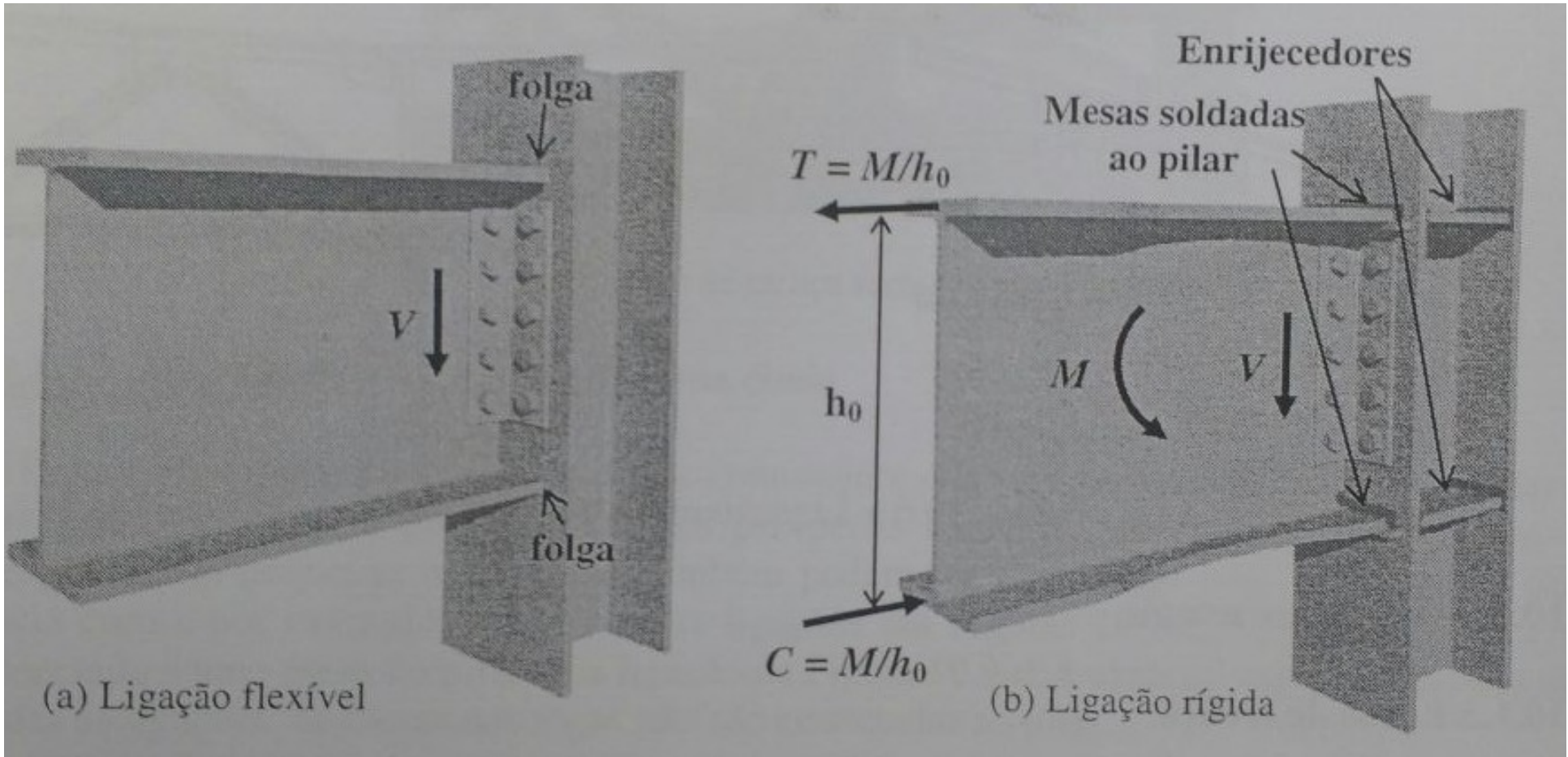
2. CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES QUANTO A ROTAÇÃO RELATIVA



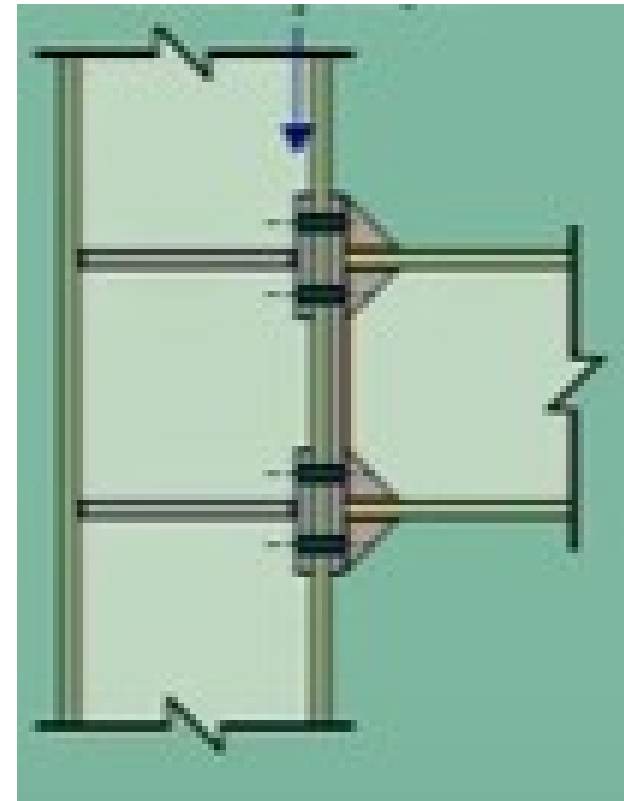
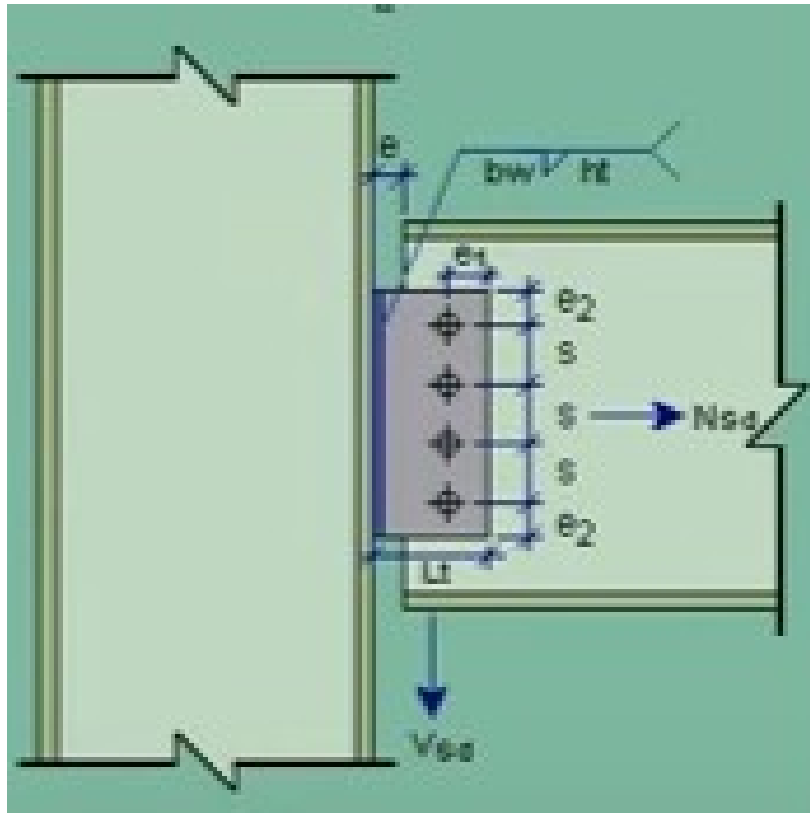
2. CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES QUANTO A ROTAÇÃO RELATIVA



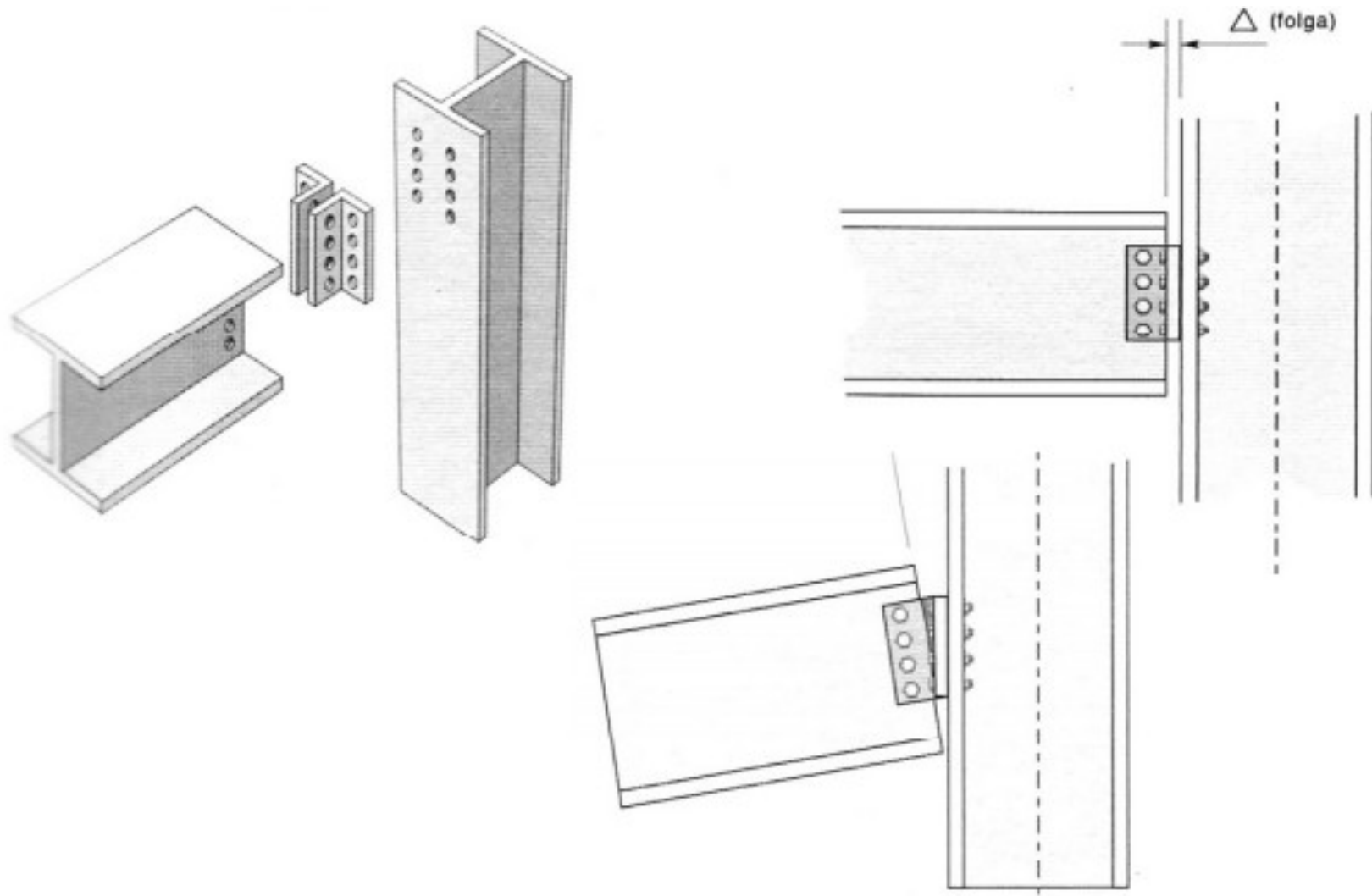
2. CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES QUANTO A ROTAÇÃO RELATIVA



2. CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES QUANTO A ROTAÇÃO RELATIVA



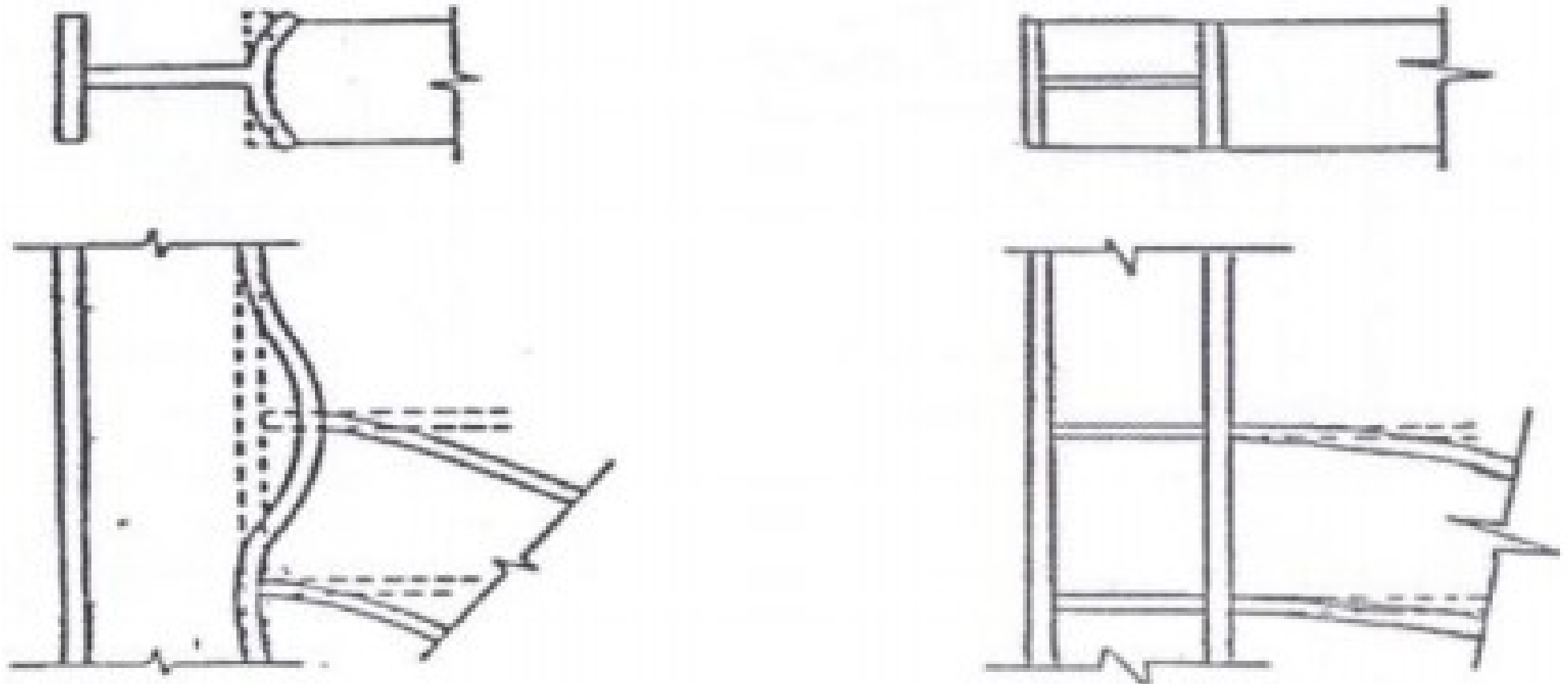
2. CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES QUANTO A ROTAÇÃO RELATIVA



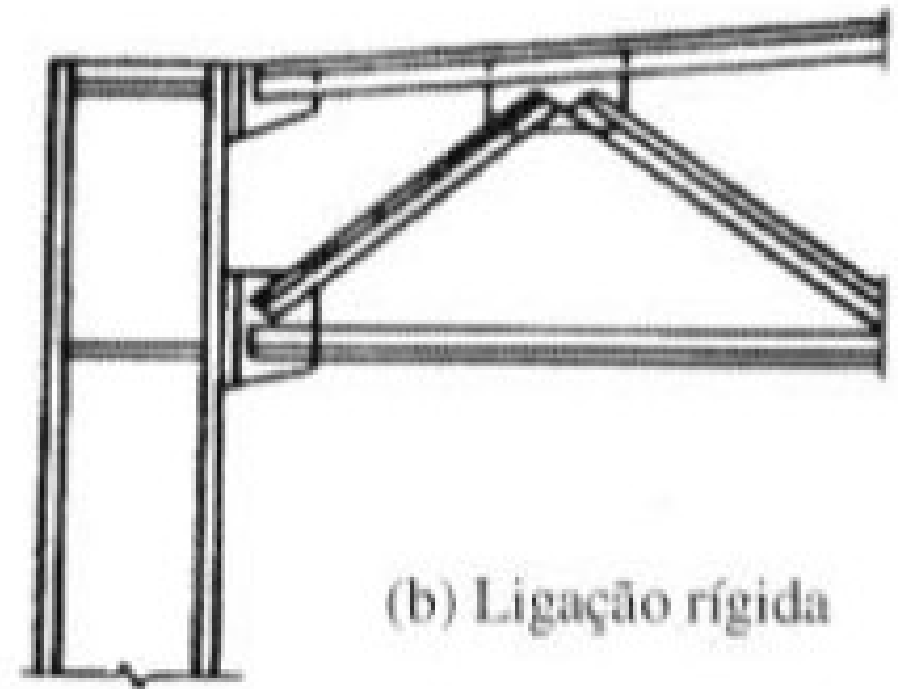
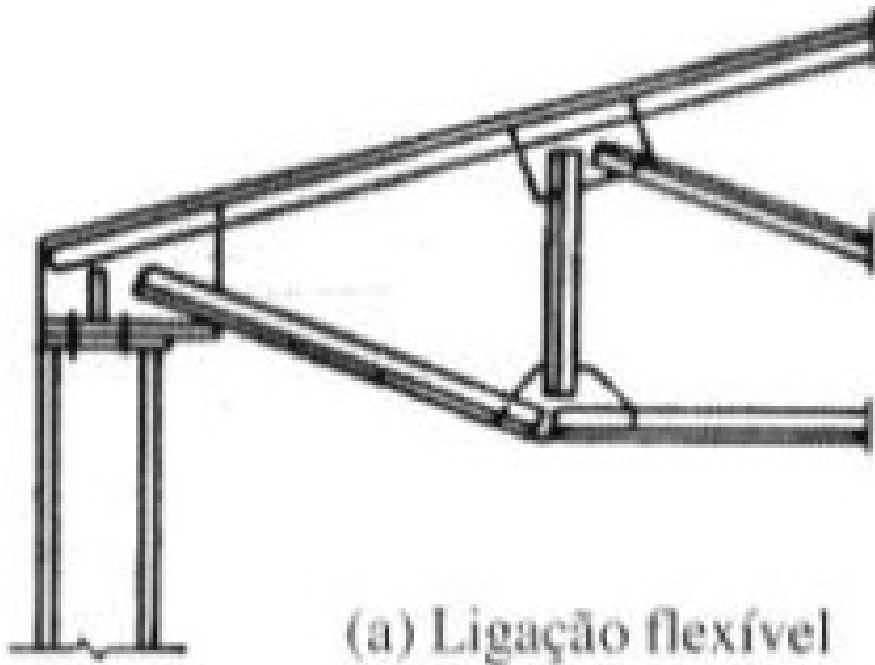
2. CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES QUANTO A ROTAÇÃO RELATIVA

Porque colocar enrijecedores na alma do pilar?

2. CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES QUANTO A ROTAÇÃO RELATIVA

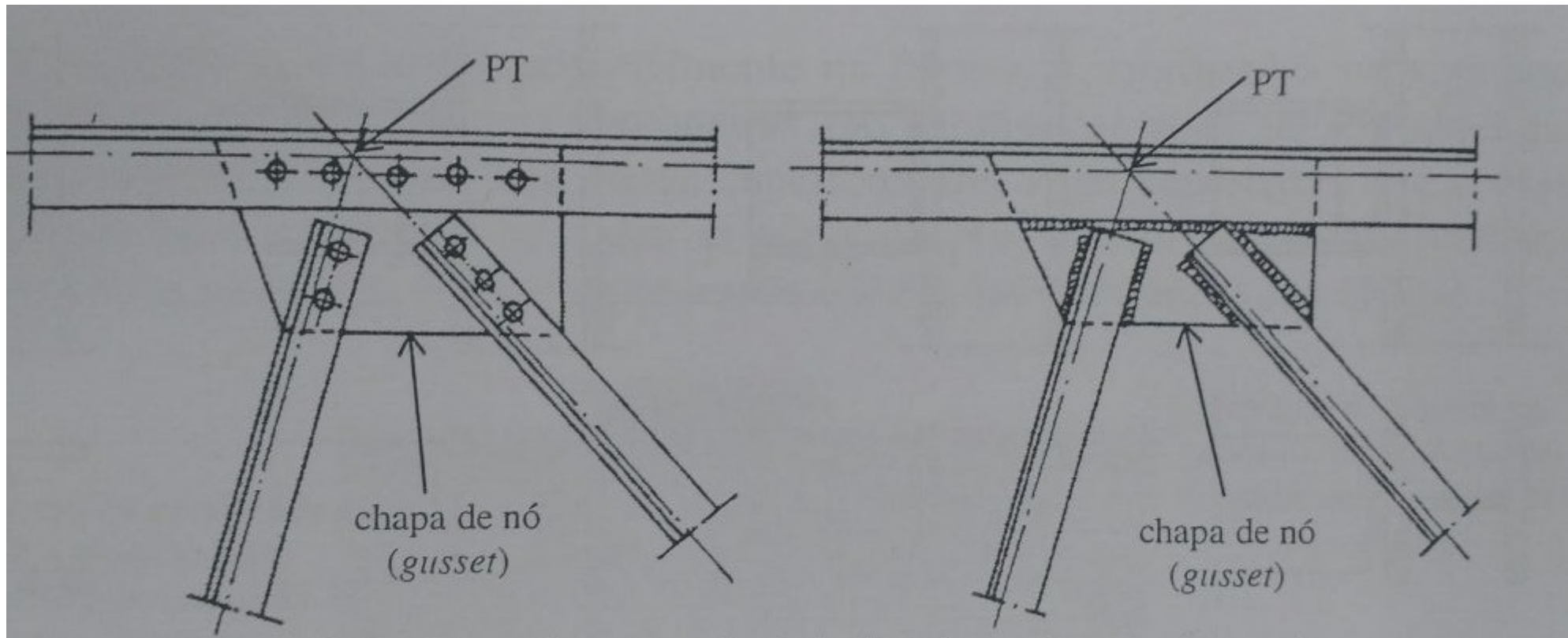


2. CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES QUANTO A ROTAÇÃO RELATIVA



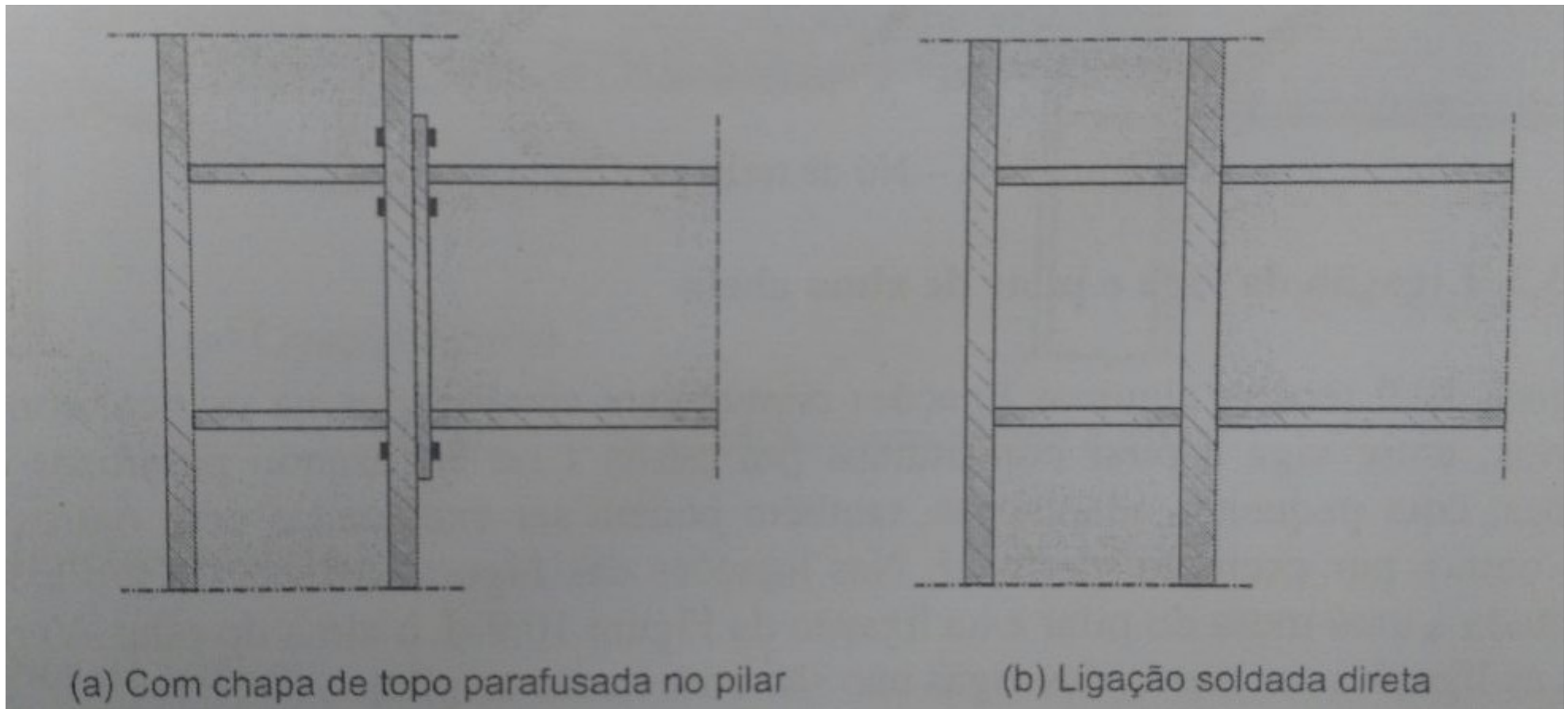
3. LIGAÇÕES USUAIS

3.1) Nós de treliças



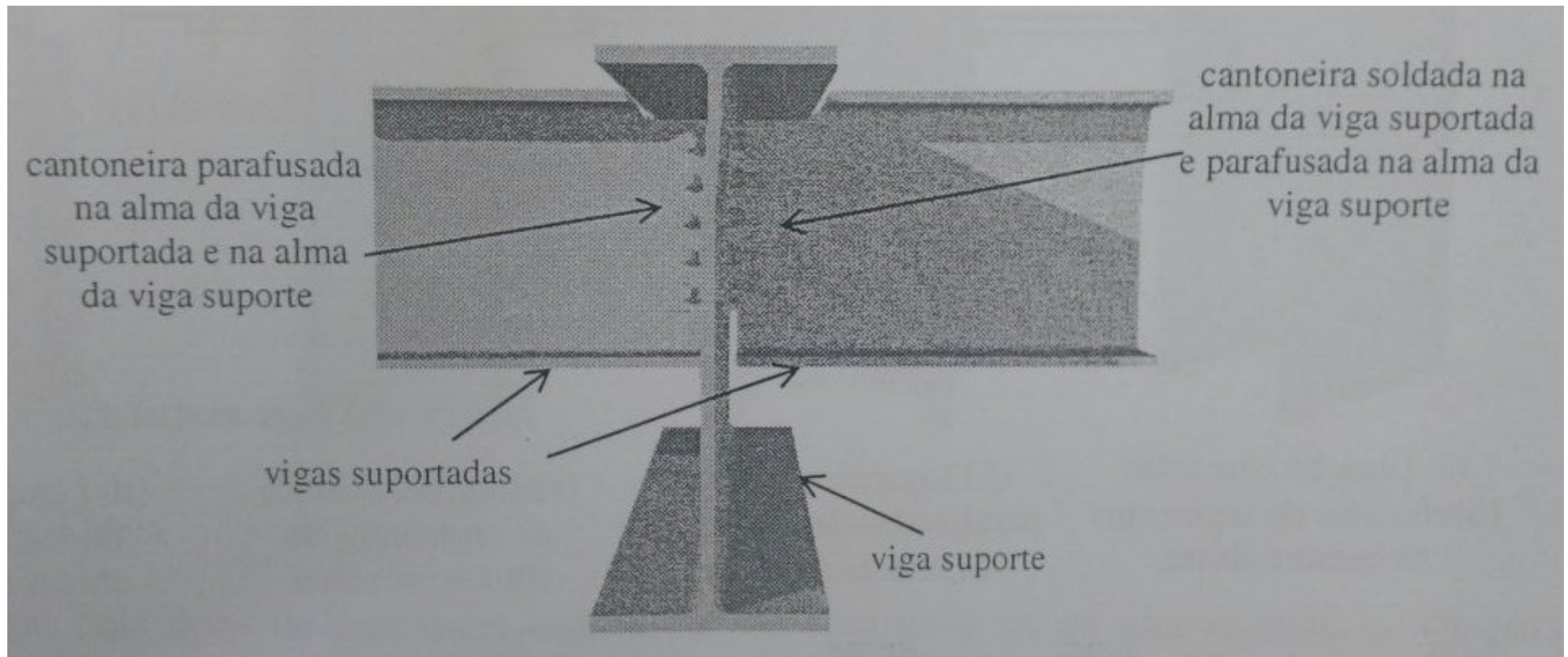
3. LIGAÇÕES USUAIS

3.2) Viga e pilar



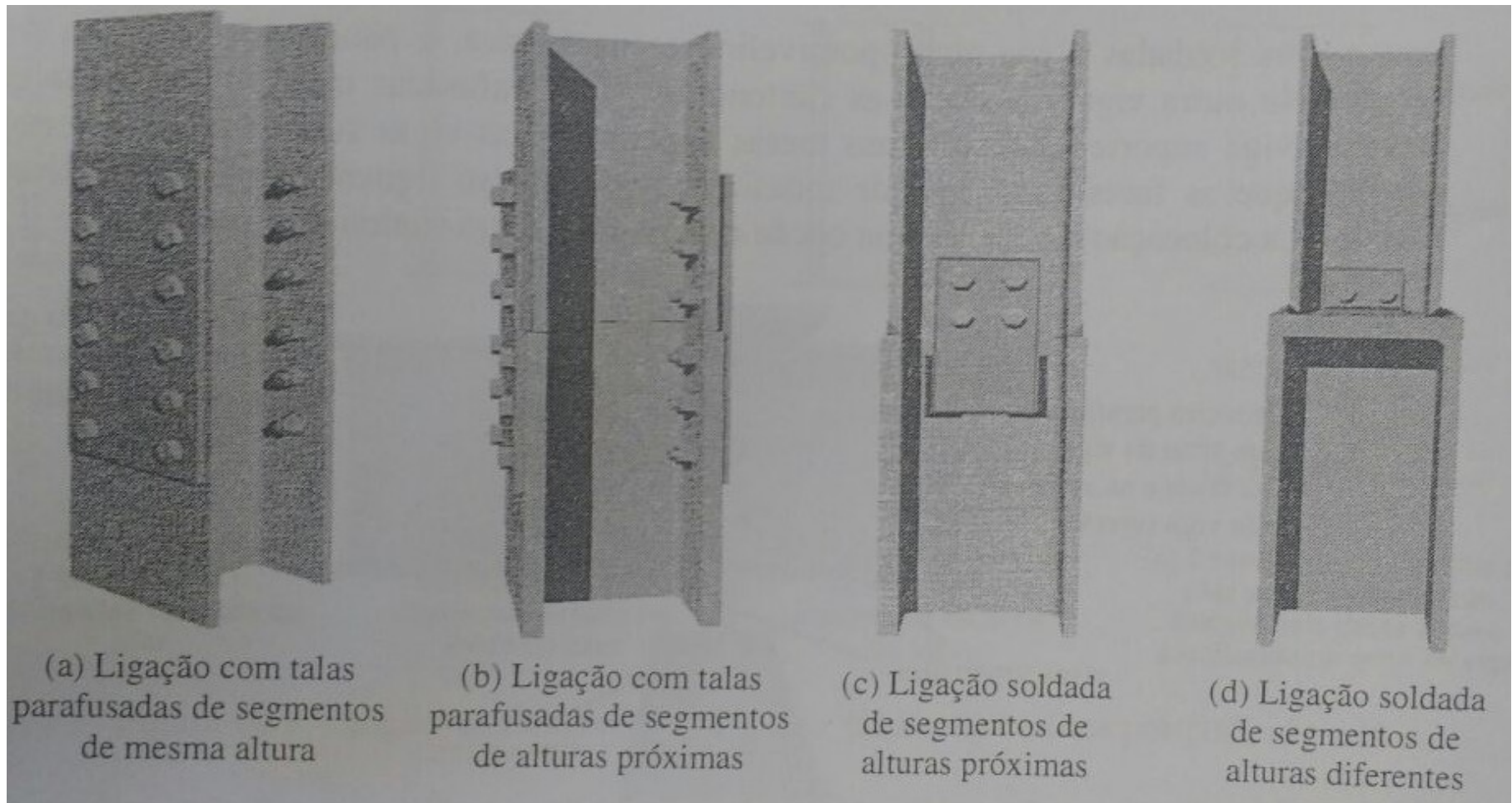
3. LIGAÇÕES USUAIS

3.3) Viga e viga



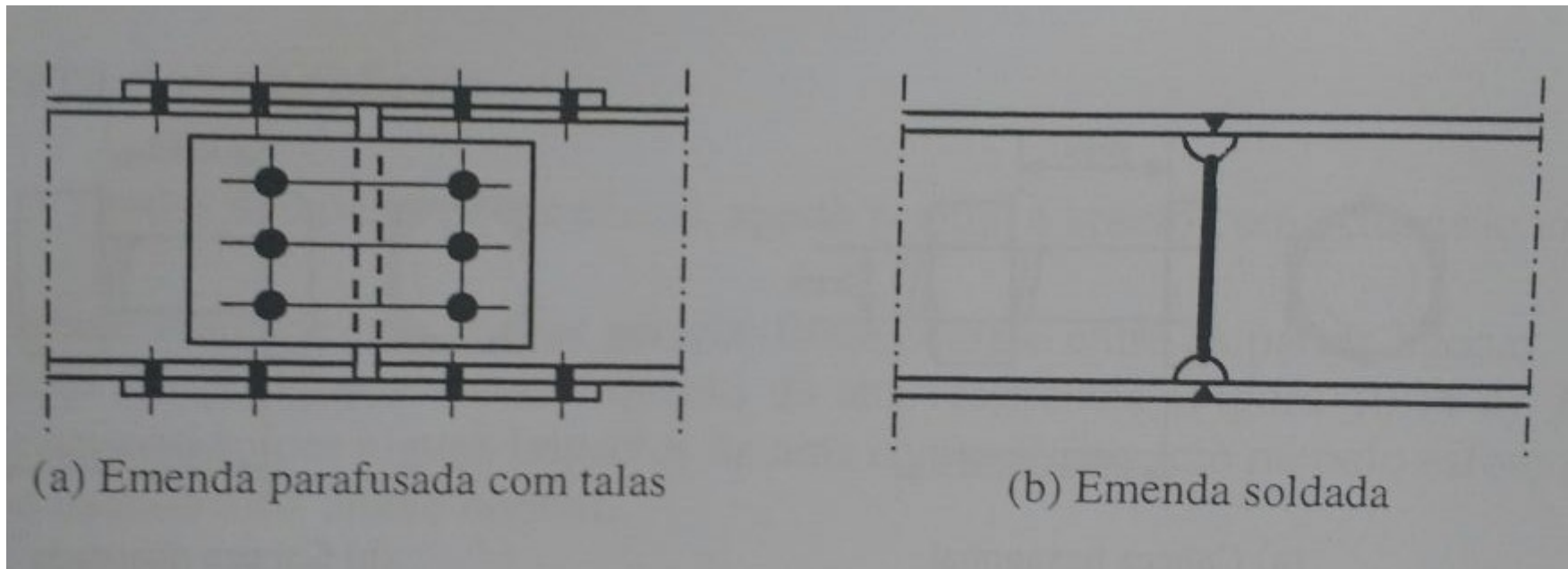
3. LIGAÇÕES USUAIS

3.4) Emenda de pilares



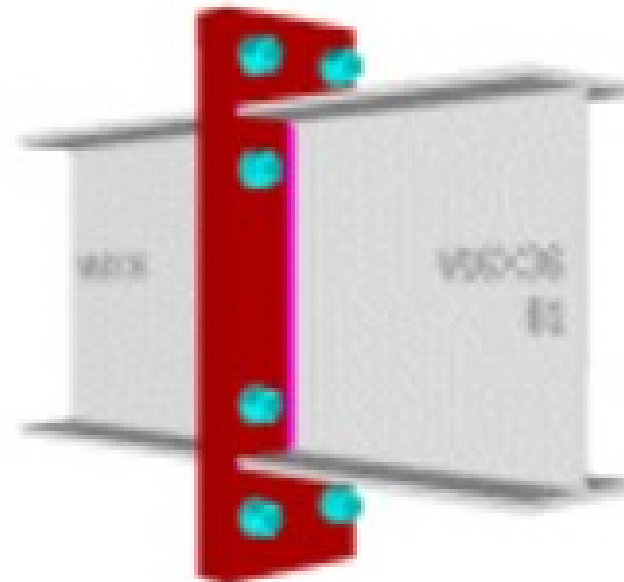
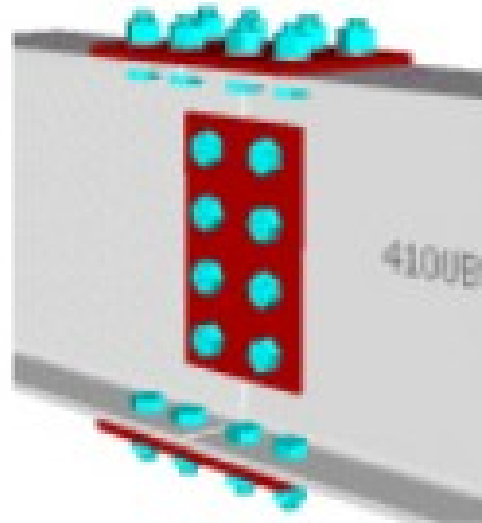
3. LIGAÇÕES USUAIS

3.5) Emenda de vigas



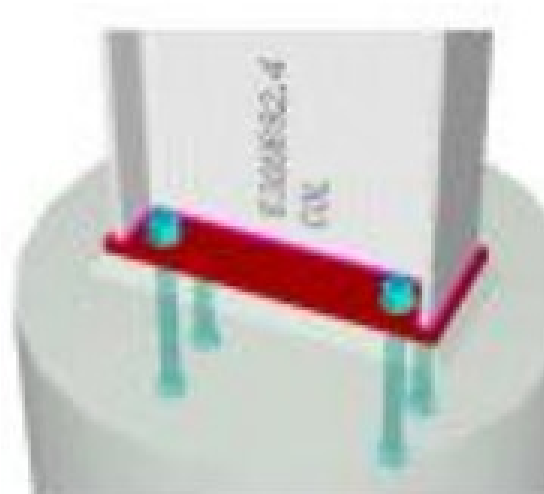
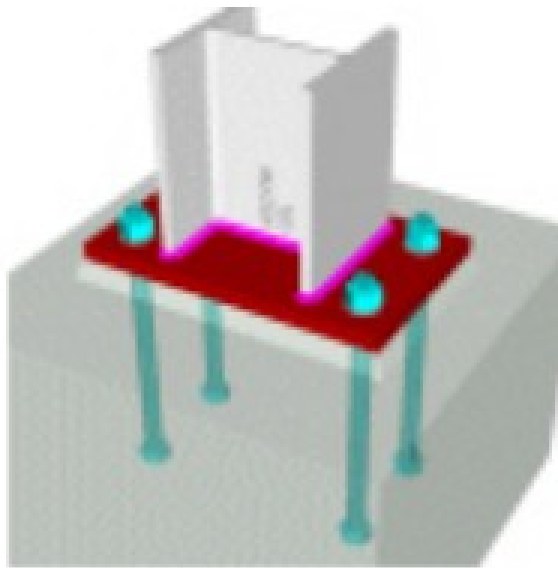
3. LIGAÇÕES USUAIS

3.5) Emenda de vigas



3. LIGAÇÕES USUAIS

3.6) Bases de pilares



3. LIGAÇÕES USUAIS



3. LIGAÇÕES USUAIS



3. LIGAÇÕES USUAIS



3. LIGAÇÕES USUAIS



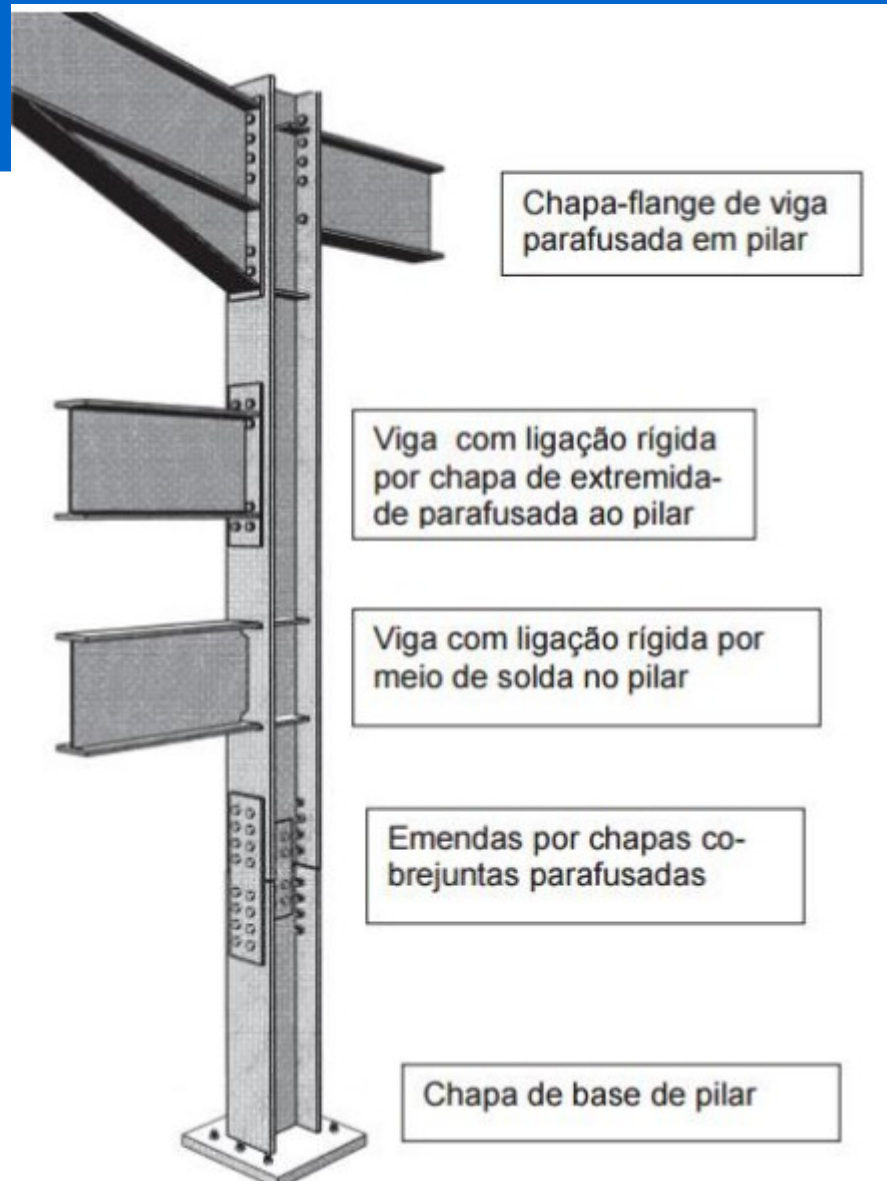
3. LIGAÇÕES USUAIS



3. LIGAÇÕES USUAIS



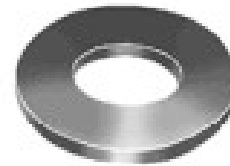
3. LIGAÇÕES USUAIS



4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS



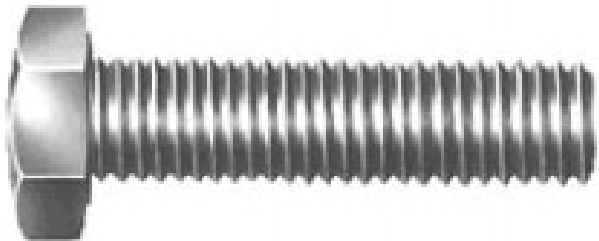
Parafuso Sextavado
rosca parcial



Arruela



Porca



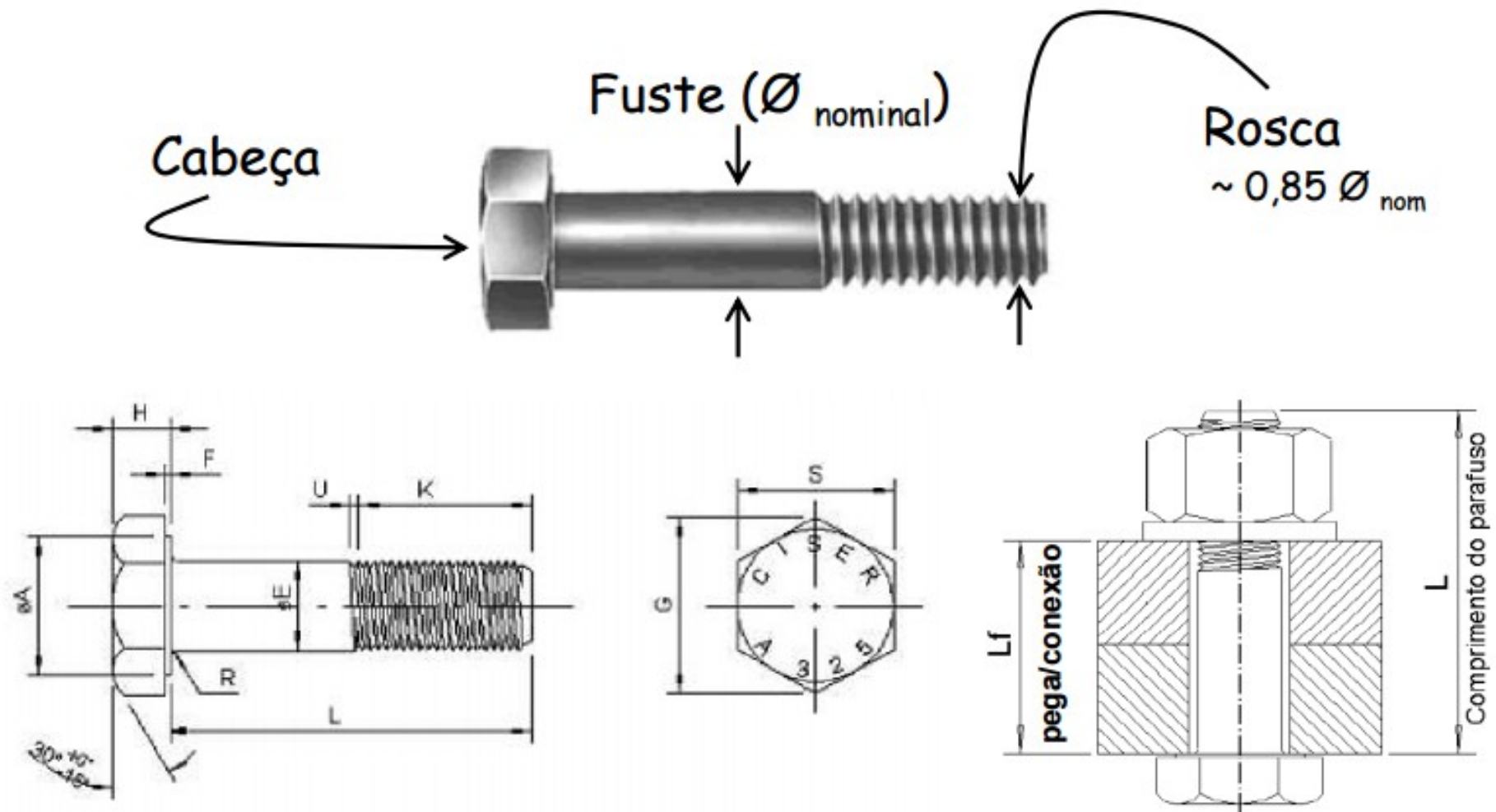
Parafuso Sextavado
rosca inteira



4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

- Os parafusos comumente utilizados em estruturas de aço são do tipo barra redonda com cabeça prismática e rosca. Em geral, utiliza-se arruela sob a parte que gira, ou seja, a porca;
- Para instalação de parafusos é necessário executar a furação nas peças a serem ligadas;
- Roscas utilizadas do tipo UNC.

4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS



4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

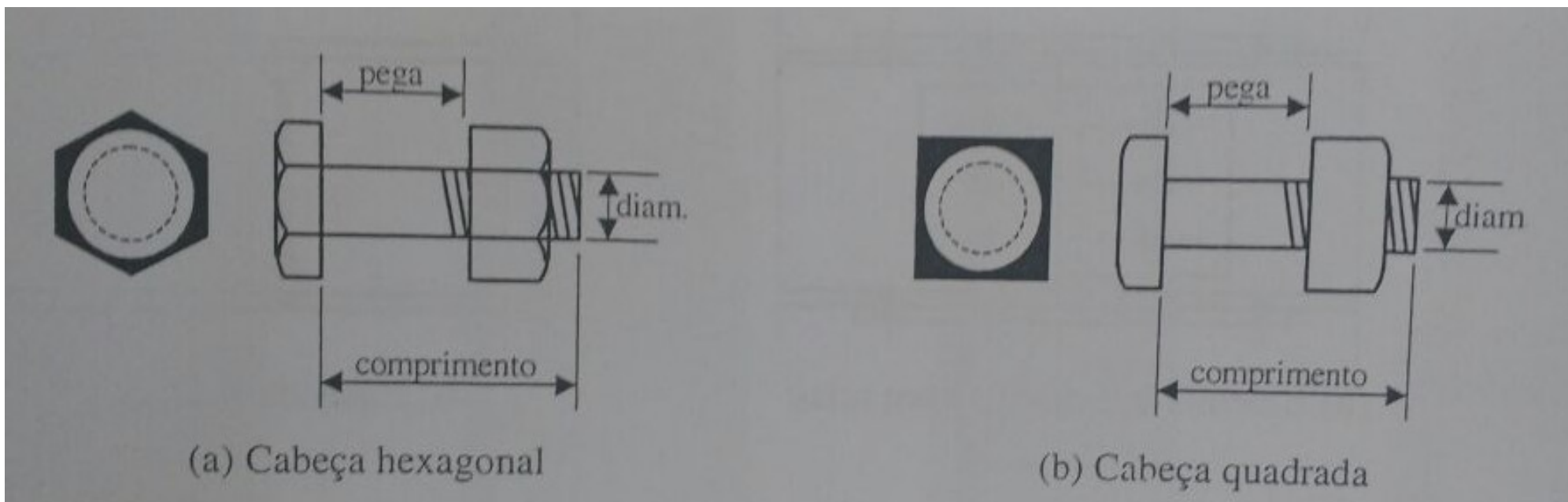
Tabela A.3 — Materiais usados em parafusos

Especificação	f_{yb} MPa	f_{ub} MPa	Diâmetro d_b	
			mm	pol
ASTM A307	-	415	-	$1/2 \leq d_b \leq 4$
ISO 898-1 Classe 4.6	235	400	$12 \leq d_b \leq 36$	-
ASTM A325 ^a	635	825	$16 \leq d_b \leq 24$	$1/2 \leq d_b \leq 1$
	560	725	$24 < d_b \leq 36$	$1 < d_b \leq 1\frac{1}{2}$
ISO 4016 Classe 8.8	640	800	$12 \leq d_b \leq 36$	-
ASTM A490	895	1035	$16 \leq d_b \leq 36$	$1/2 \leq d_b \leq 1\frac{1}{2}$
ISO 4016 Classe 10.9	900	1000	$12 \leq d_b \leq 36$	-

^a Disponíveis também com resistência à corrosão atmosférica comparável à dos aços AR 350 COR ou à dos aços ASTM A588.

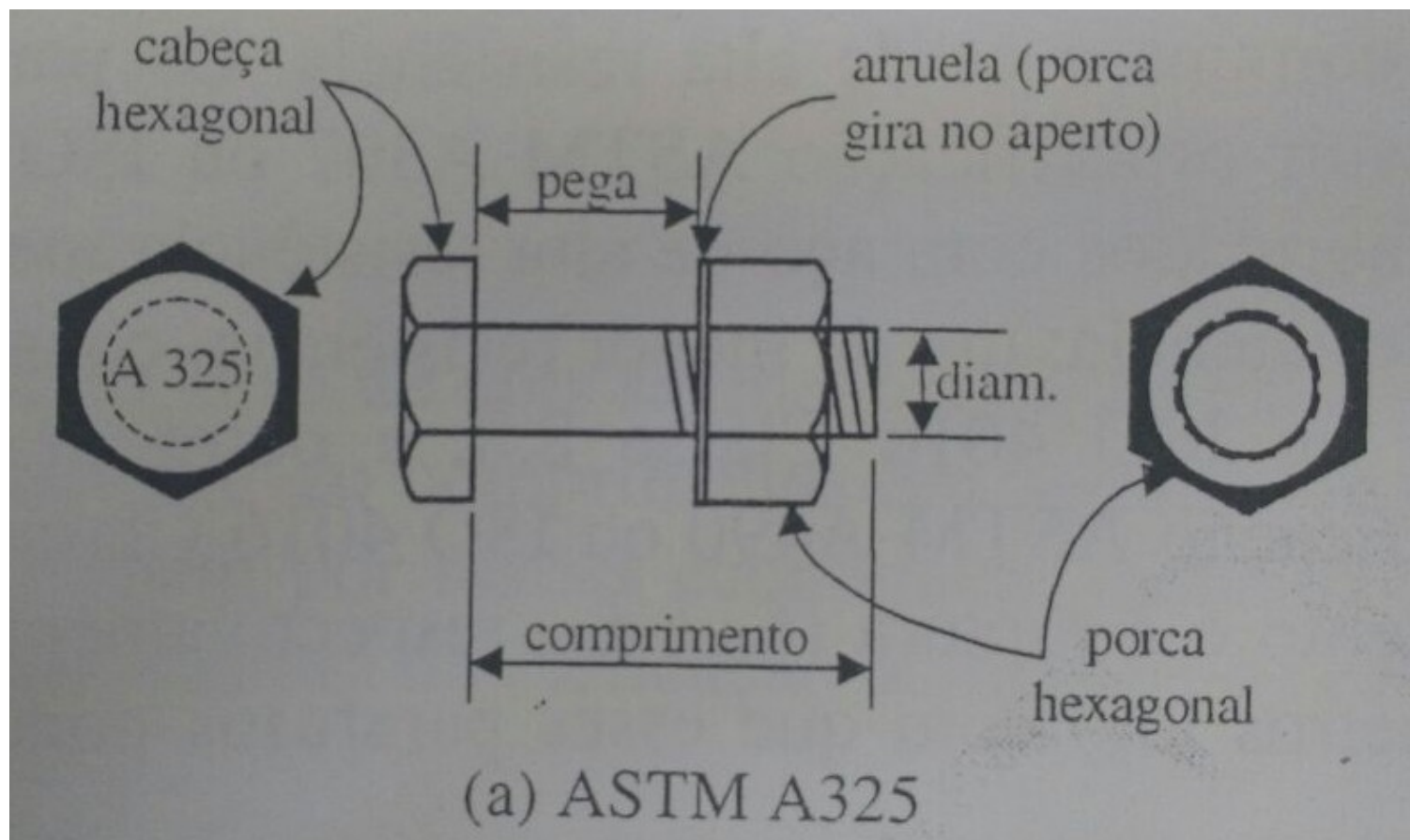
4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

Parafusos comuns:



4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

Parafusos de alta resistência:



4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

Prescrições da NBR8800:2008

- Referem-se especificamente aos parafusos comuns ASTM A307 e aos parafusos de alta resistência ASTM A325 E A490 com rosca UNC.

Questões construtivas:

- Tentar utilizar apenas um diâmetro de parafuso.
- Edifícios: 3/4" ou 7/8"
- Pontes: 7/8" ou 1"

4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

Aperto dos parafusos:

1) Aperto normal

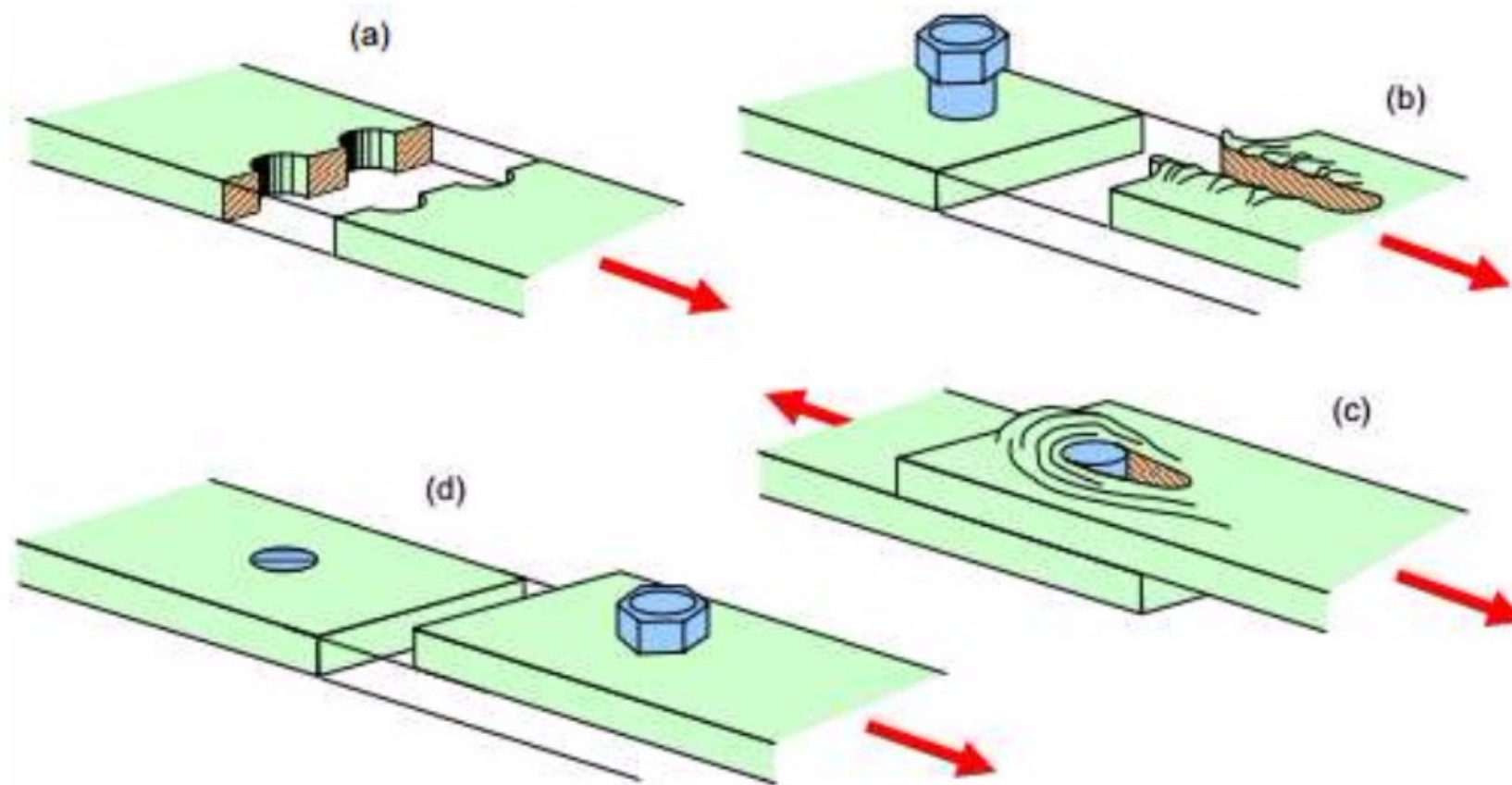
Firme contato entre as peças ligadas – chave de impacto

2) Aperto com protensão inicial

O parafuso desenvolve uma força de protensão fazendo com que as partes ligadas fiquem fortemente pressionadas entre si.

4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

Colapso dos parafusos:



(a) Ruptura da seção transversal líquida da peça; (b) ruptura por rasgamento da peça; (c) ruptura por esmagamento da peça; (d) ruptura do parafuso por cisalhamento.

4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

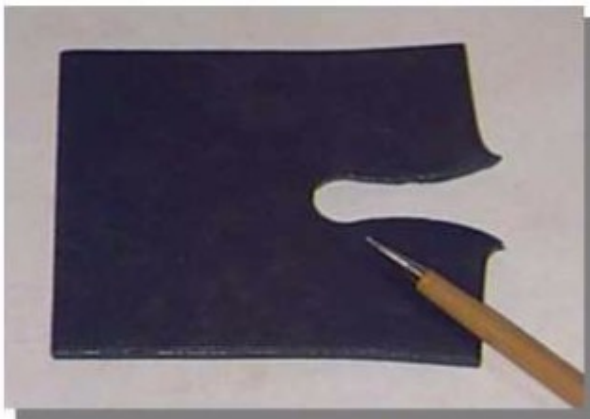
Colapso dos parafusos:



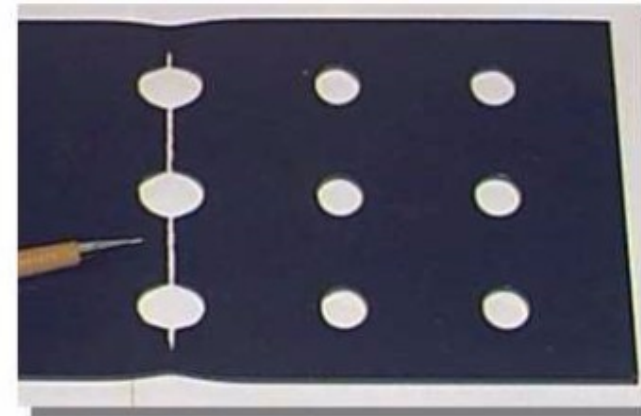
Cisalhamento do parafuso



Deformação excessiva do furo



Rasgamento da chapa



Ruptura da chapa

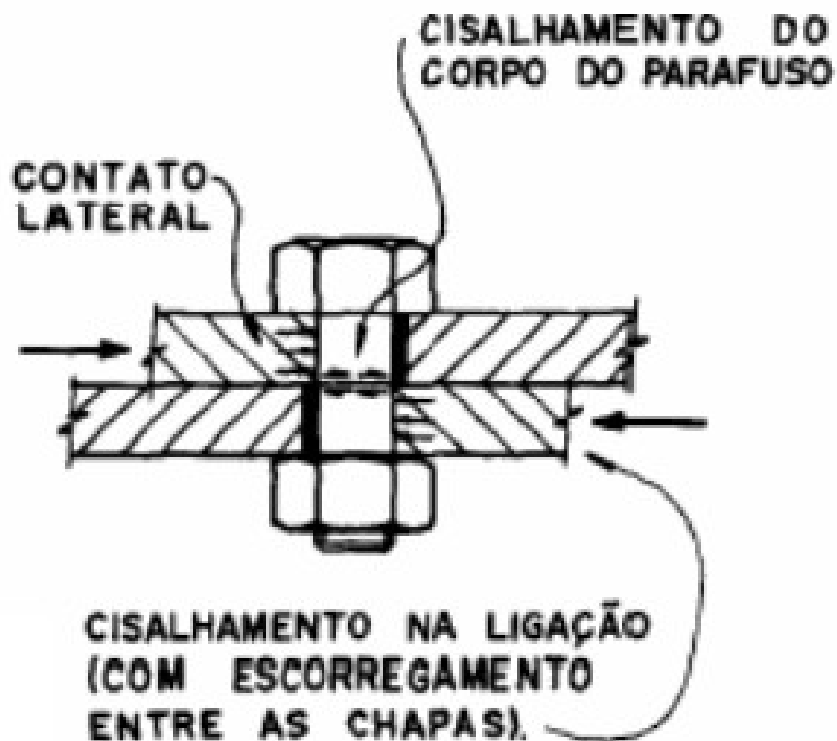
4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

Força cortante paralela a superfície de contato entre as partes a serem ligadas.

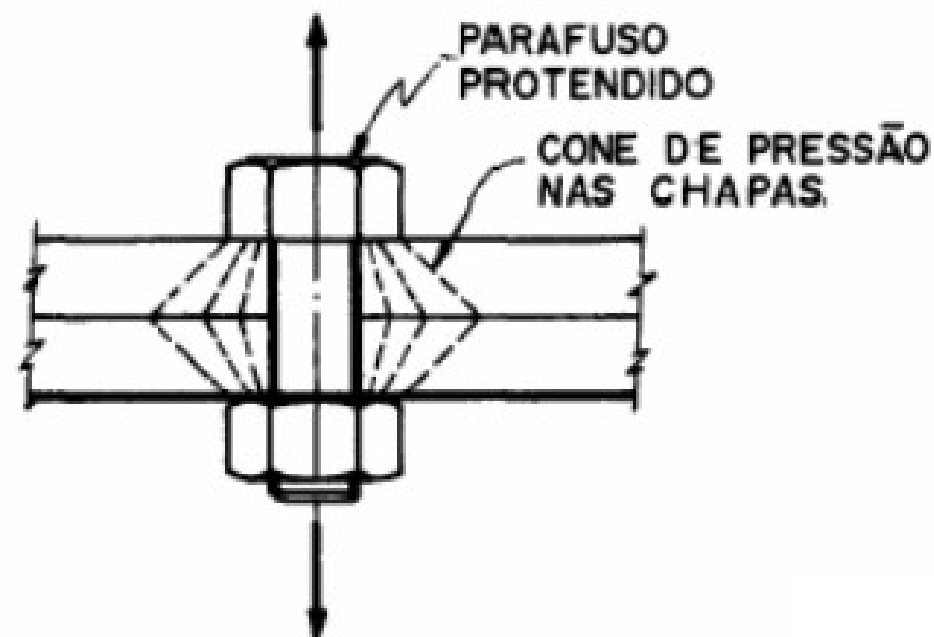
- **Ligação por contato** → Esforço é transferido através do cisalhamento do corpo do parafuso.
- **Ligação por atrito** → Esforço é transferido pelo atrito despertado entre as duas peças ligadas.

4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

Ligações por contato:



Ligações por atrito:



4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

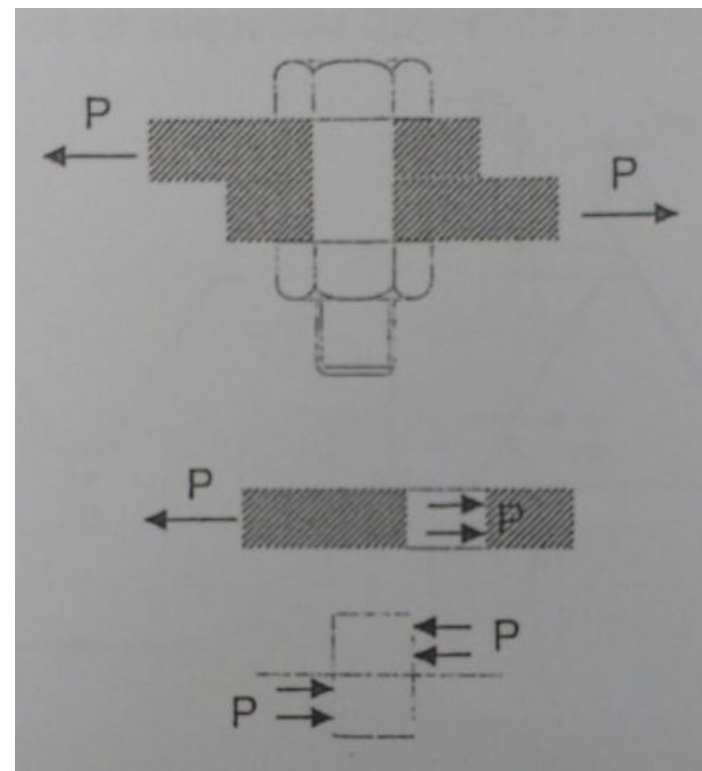
4.1) Ligações por contato

Tensão de compressão devido ao contato do parafuso com a chapa (f_c)

$$f_c = \frac{P}{d_b t}$$

Tensão de cisalhamento (f_v)

$$f_v = \frac{P}{\left(\frac{\pi d_b^2}{4} \right)}$$



4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

4.1) *Ligações por contato*

A ruína de uma ligação por contato submetida a força cortante pode se dar de diversas formas:

- Cisalhamento do parafuso;

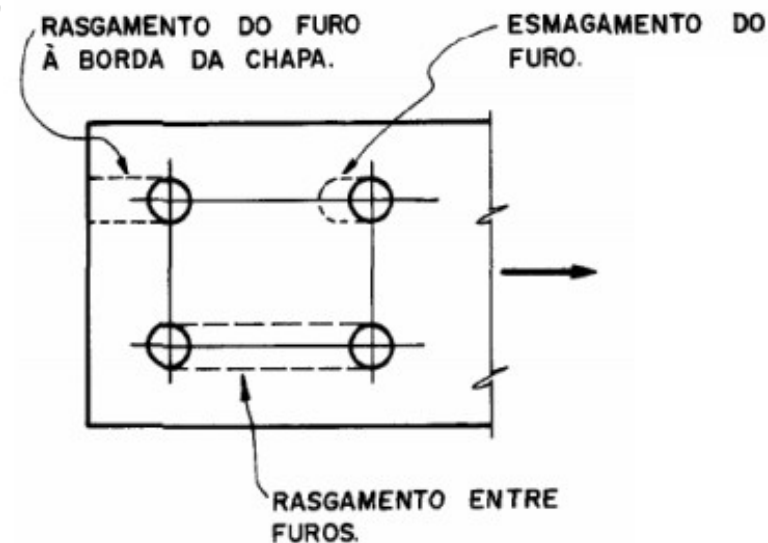
Estado limite último de ruptura por cisalhamento do plano de corte do parafuso.

4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

4.1) Ligações por contato

A ruína de uma ligação por contato submetida a força cortante pode se dar de diversas formas:

- Esmagamento da chapa pelo parafuso
- Rasgamento da chapa pelo parafuso;
- Flexão no parafuso.



4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

4.1) *Ligações por contato*

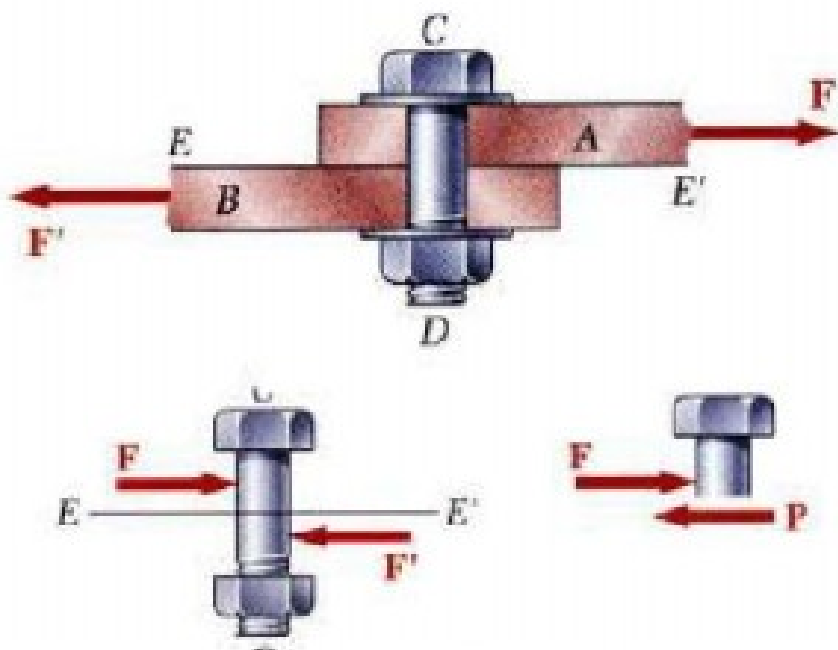
- Ruptura da ligação entre furo e borda;
- Deformação da aba não conectada.



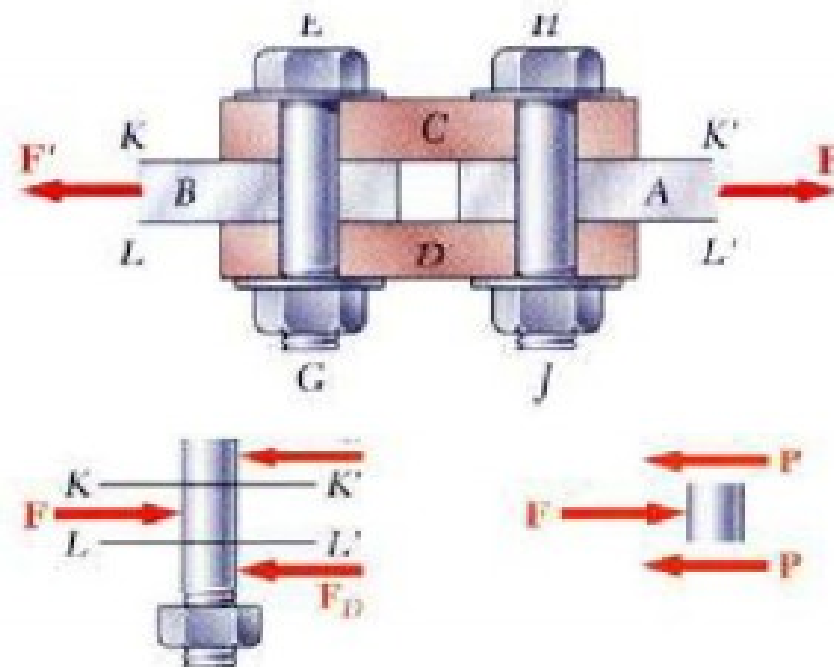
4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

4.1) Ligações por contato

Cisalhamento Simples



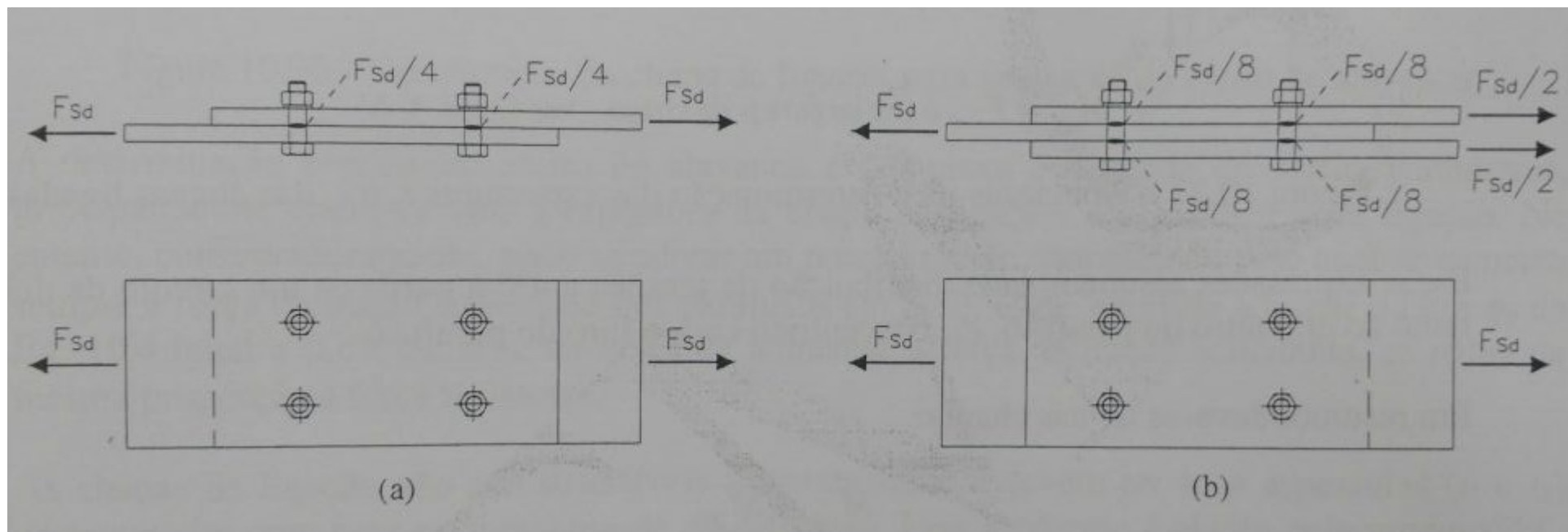
Cisalhamento Duplo



4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

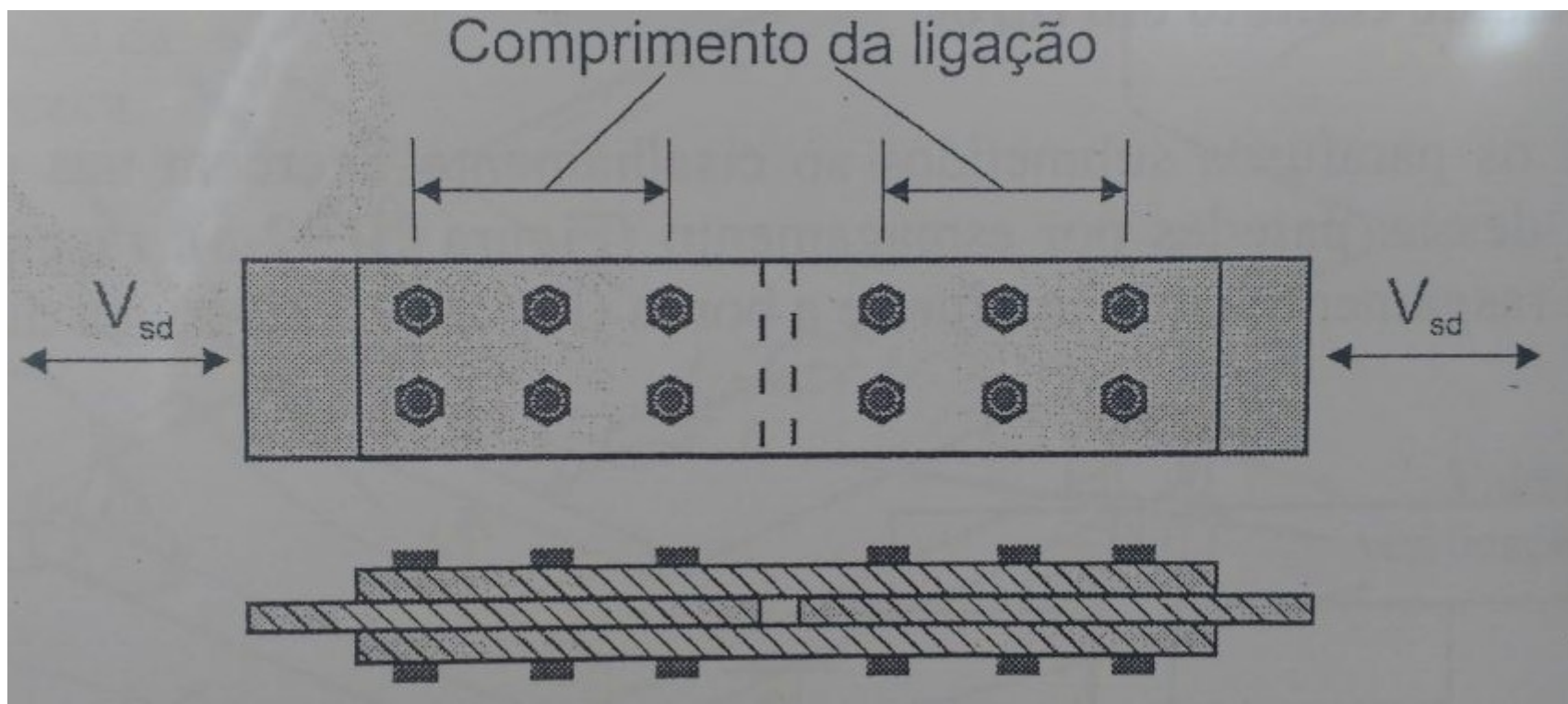
4.1) Ligações por contato

Força de cisalhamento de cálculo:



4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

4.1) Ligações por contato



4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

4.1) *Ligações por contato*

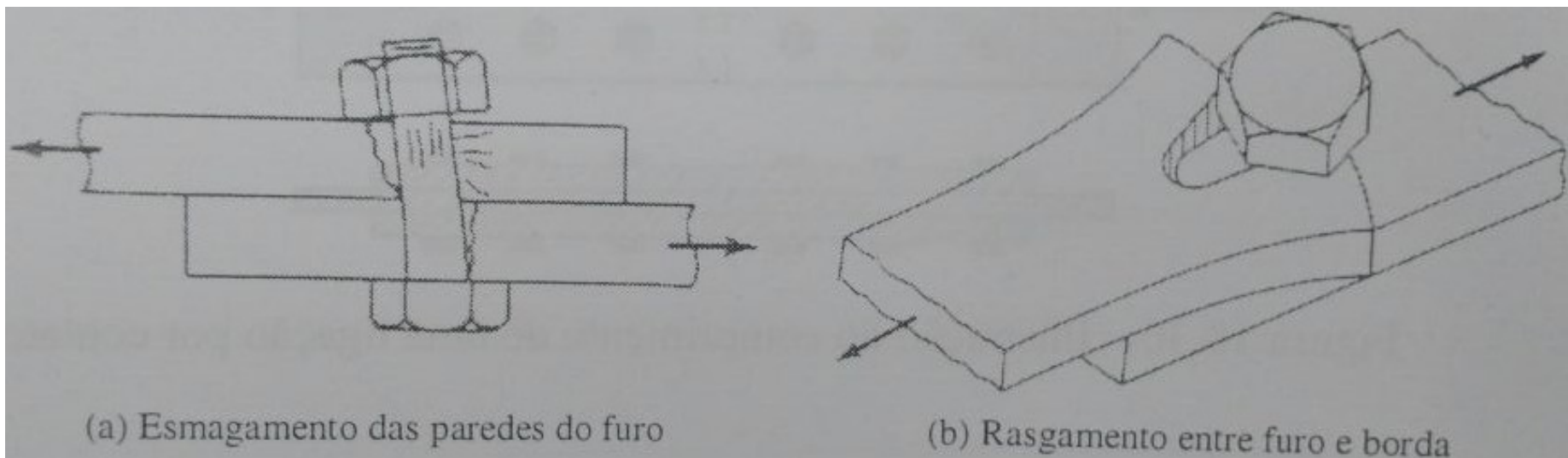
Pressão de contato nos furos:

- Engloba o esmagamento da parede do furo e o rasgamento entre dois furos ou entre furo e borda.
- A pressão que os parafusos exercem nas paredes pode causar a ruína das paredes por esmagamento.

4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

4.1) Ligações por contato

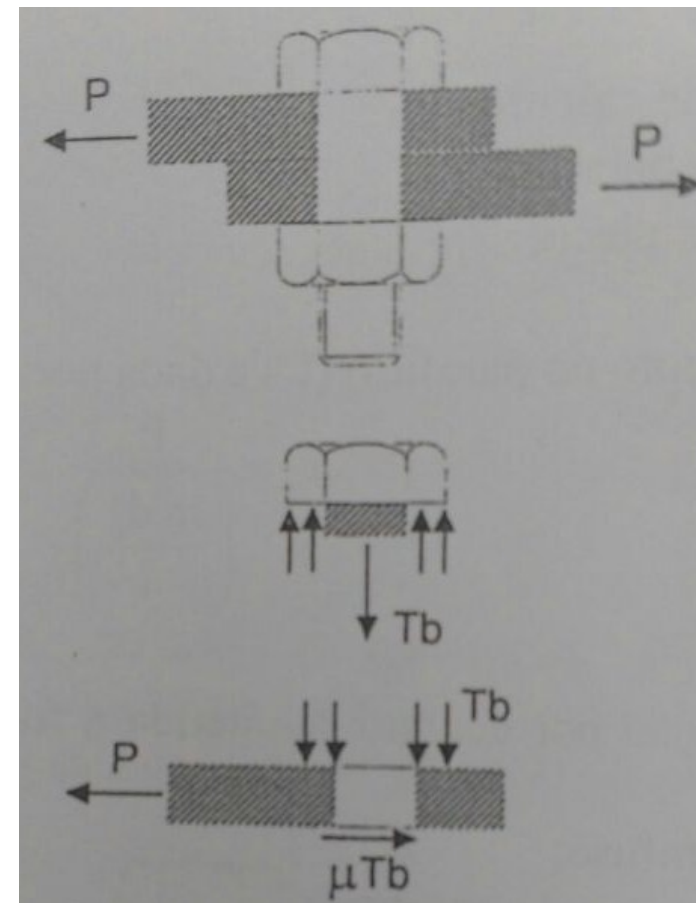
Pressão de contato nos furos:



4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

4.2) Ligações por atrito

- Parafusos de alta resistência com aperto controlado;
- Força de protensão \rightarrow 70% da força de tração resistente nominal do parafuso;
- A compressão gerada entre as peças origina um atrito responsável pela transmissão de forças na ligação.



4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

4.2) Ligações por atrito

Como garantir a protensão mínima?

1) Aperto pelo método da rotação da porca

NBR 8800:2008 – item 6.7.4.3

2) Aperto com chave calibrada ou chave manual com torquímetro

NBR 8800:2008 – item 6.7.4.4

4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

4.2) *Ligações por atrito*

1) Aperto pelo método da rotação da porca

Controlar o alongamento do parafuso pelo número de voltas da porca após o parafuso ter sido apertado o suficiente para que todas as peças estejam em contato.

2) Aperto com chave calibrada ou chave manual com torquímetro

Utilizar chave calibrada ou manual com auxílio de um torquímetro, de maneira a fornecer a protensão mínima nos parafusos.

4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

4.2) *Ligações por atrito*

Quando usar ligações por atrito?

- Deslizamento entre as partes conectadas for considerado prejudicial;
- Forças repetitivas com reversão de sinal.

4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

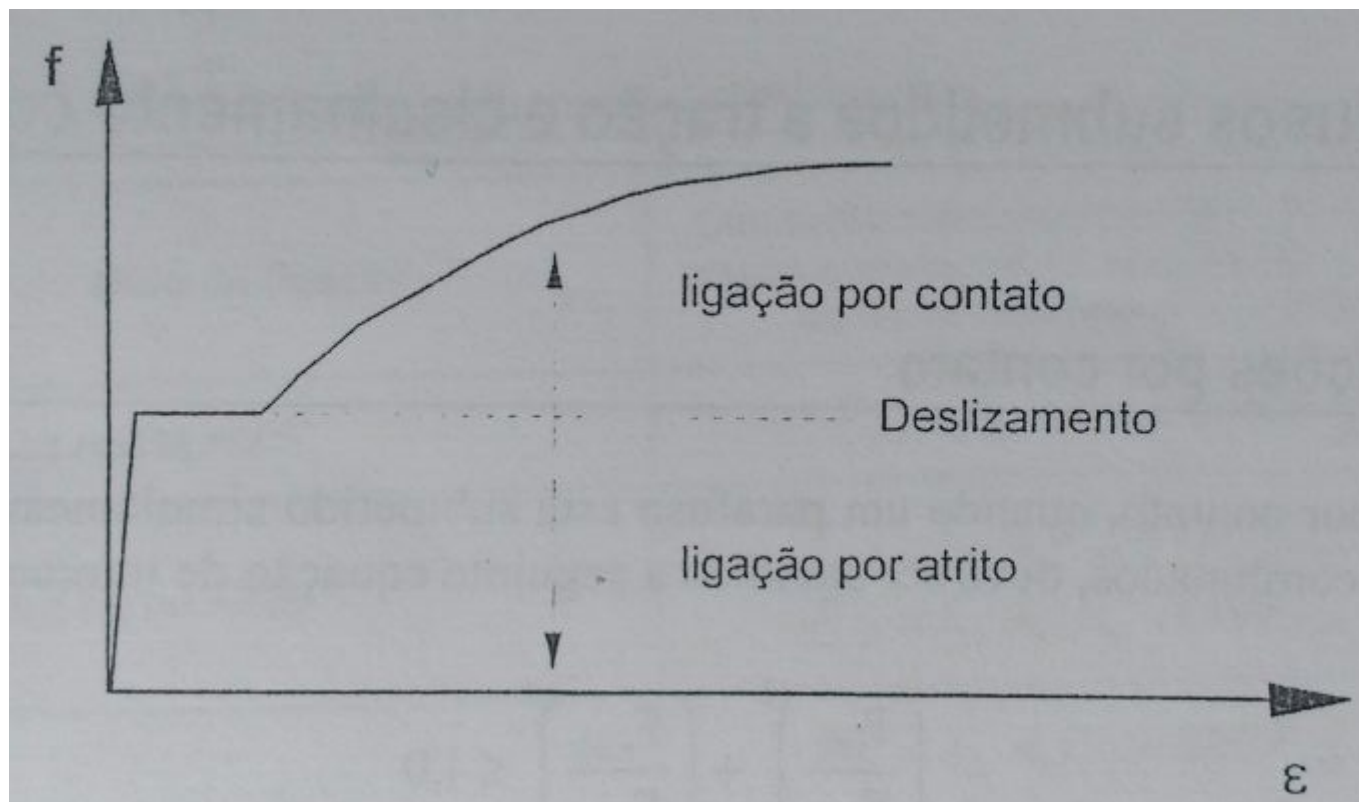
4.2) Ligações por atrito

Mecanismo de funcionamento

- Condição básica → não deslizamento entre os componentes;
- Quando o atrito é vencido → Ocorre deslizamento e a ligação passa a funcionar por contato.

4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

4.2) Ligações por atrito



4. OS PARAFUSOS ESTRUTURAIS

4.2) Ligações por atrito

Para verificação da ligação:

Deve levar em conta se o deslizamento é um estado limite de serviço ou estado limite último. Geralmente:

- ELS → verificação por atrito;
- ELU → verificação por contato.
- ASTM A325F → Friction – indica ligação por atrito.

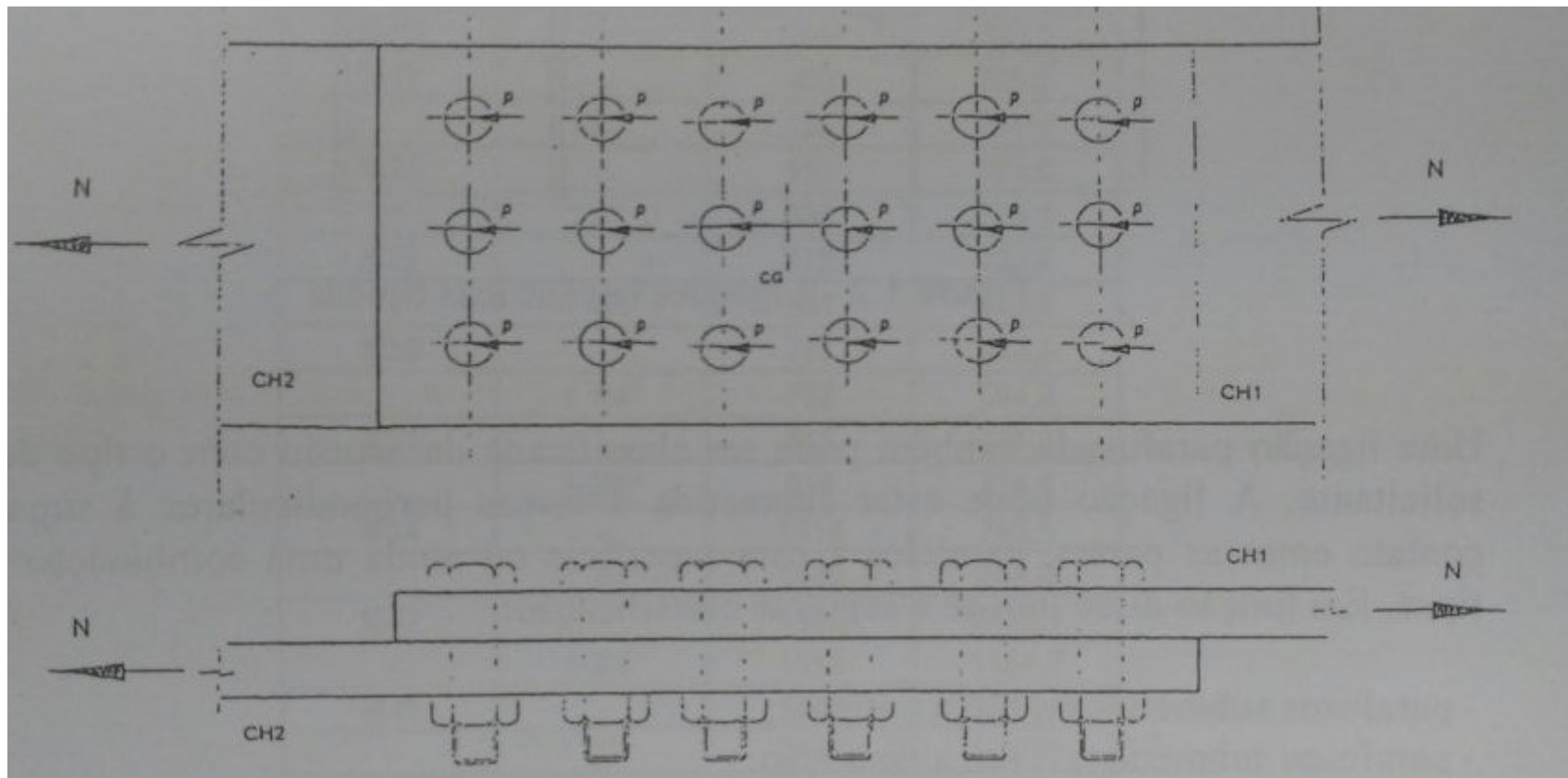
5. TIPOS DE LIGAÇÕES PARAFUSADAS

5.1) Ligações centradas:

- A linha de ação da força atuante passa pelo centro de gravidade do grupo de parafusos.
- Parafusos com mesmo diâmetro → força se distribui igualmente entre todos os parafusos.
- Na realidade não é uniforme → Colocar seis conectores alinhados na direção da solicitação

5. TIPOS DE LIGAÇÕES PARAFUSADAS

5.1) Ligações centradas:



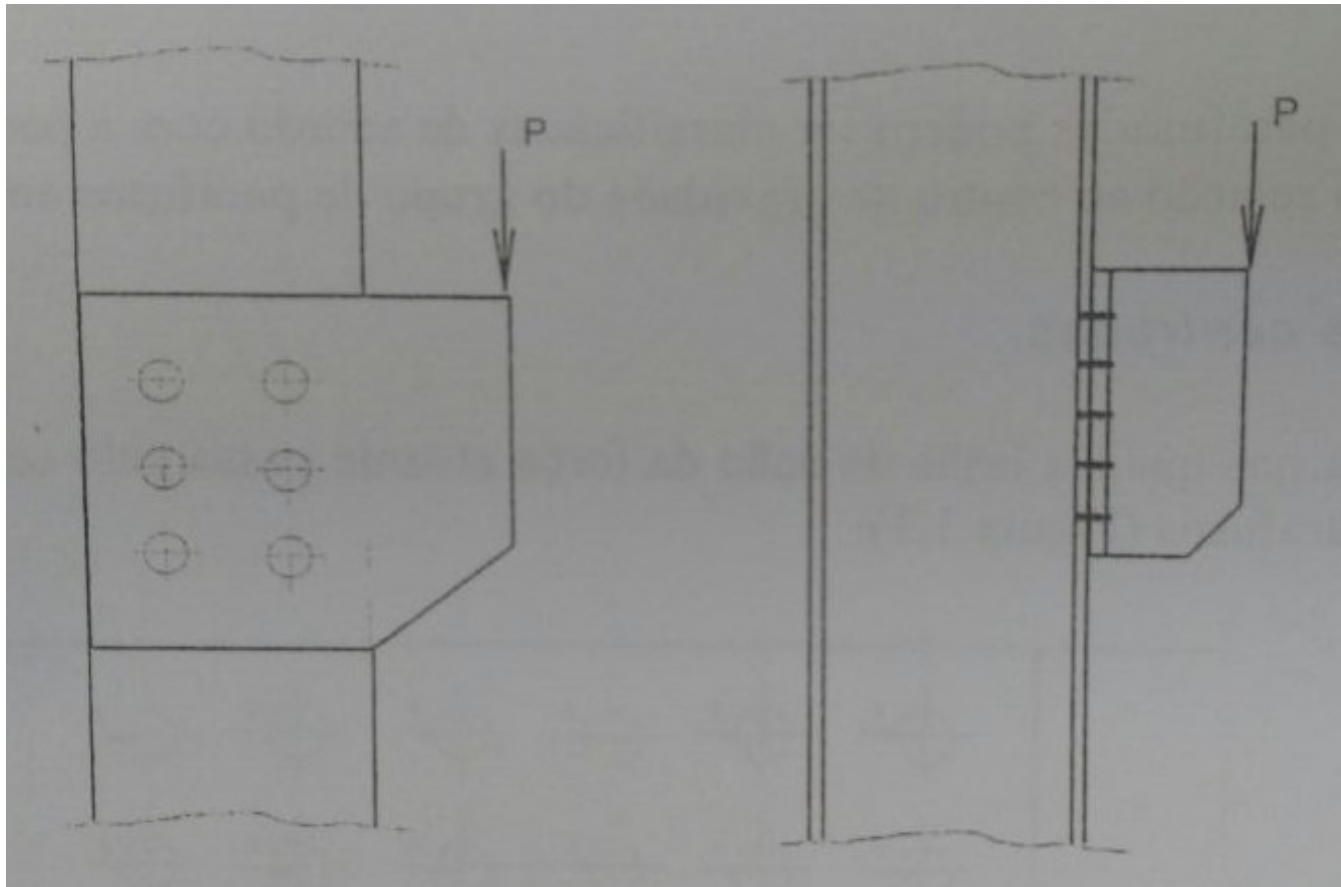
5. TIPOS DE LIGAÇÕES PARAFUSADAS

5.2) Ligações excêntricas:

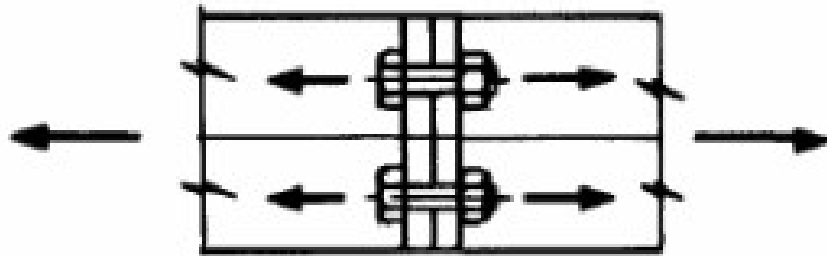
- A linha de ação da carga não passa pelo centro de gravidade do grupo de parafusos.
- Efeitos adicionais → tração ou cisalhamento

5. TIPOS DE LIGAÇÕES PARAFUSADAS

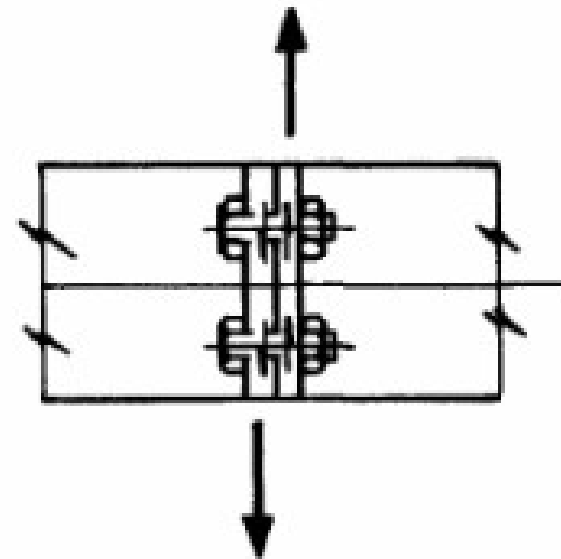
5.2) Ligações excêntricas:



6. DIMENSIONAMENTO DA LIGAÇÃO



(a) TRAÇÃO NOS PARAFUSOS



(b) CISALHAMENTO NOS PARAFUSOS

6. DIMENSIONAMENTO DA LIGAÇÃO

Apresentação da NBR 8800 – Pág 76.

- Conceito de áreas;
- Tração;
- Cisalhamento;
- Pressão de contato;
- Tração e cisalhamento combinados;
- Ligação por atrito;
- Disposições construtivas.

6. DIMENSIONAMENTO DA LIGAÇÃO

TRAÇÃO

- A ruptura de um parafuso tracionado ou de uma barra redonda rosqueada tracionada ocorre por ruptura da rosca;
- A área de trabalho é reduzida por um valor compreendido entre a área bruta e a área da raiz da rosca ($0,75 A_b$);
- O esforço de tração solicitante de cálculo em cada parafuso é dado pela força solicitante de cálculo atuante na região tracionada pelo número de parafusos utilizados nessa região.

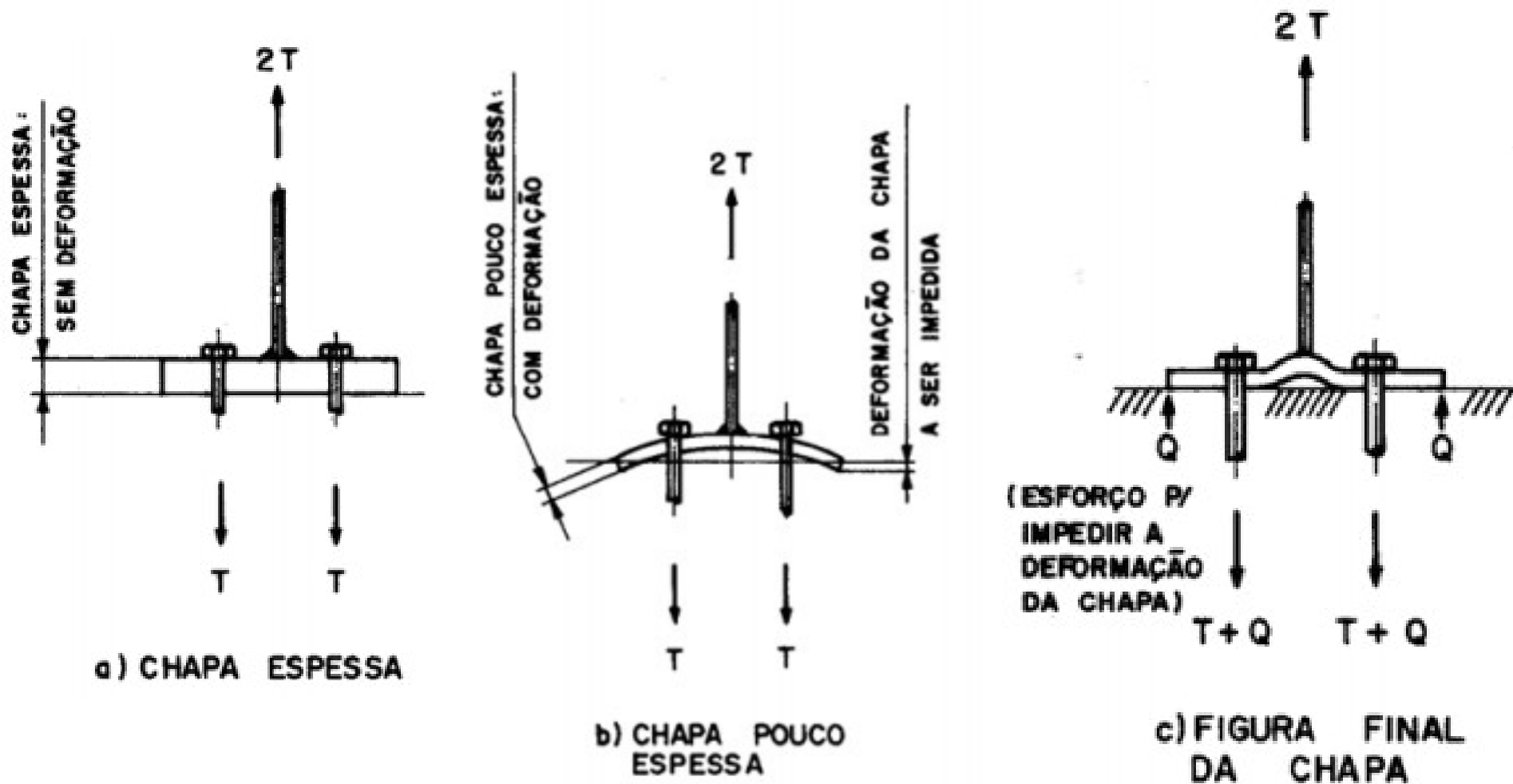
6. DIMENSIONAMENTO DA LIGAÇÃO

EFEITO ALAVANCA

- Prying action;
- Excentricidade entre a força externa e a linha de ação do parafuso;
- Depende da rigidez e flexão das peças envolvidas → mais significativo quanto menor a rigidez e flexão;
- Chapas muito espessas → praticamente não apresenta deformação por flexão sob a ação da carga.

6. DIMENSIONAMENTO DA LIGAÇÃO

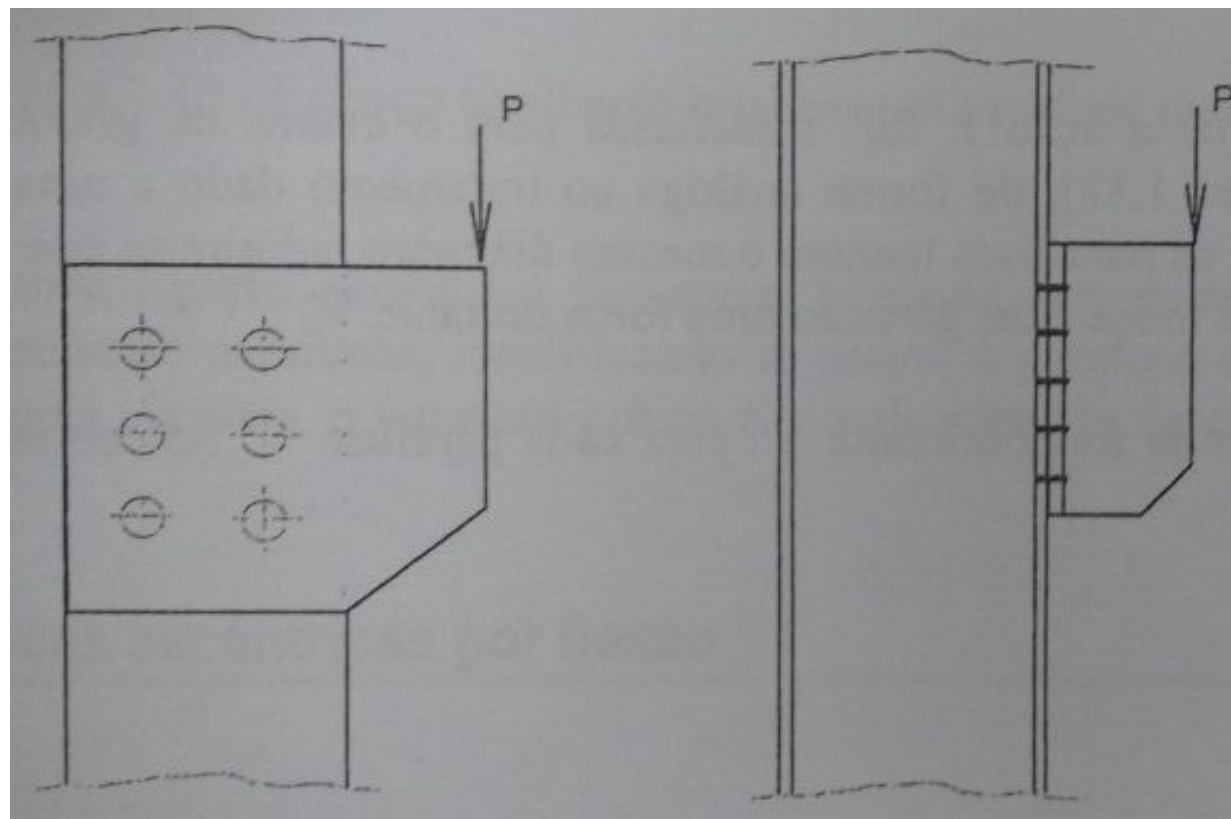
EFEITO ALAVANCA



6. DIMENSIONAMENTO DA LIGAÇÃO

LIGAÇÕES EXCÊNTRICAS

- Por corte → Forças adicionais de cisalhamento
- Por flexão → Forças adicionais de tração.



BIBLIOGRAFIA

- 1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- 2) Dimensionamento de ligações parafusadas – Notas de aula – UFV.
- 3) FAKURY, R. H. SILVA, A. L. E. C. CALDAS, R. B. Dimensionamento básico de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto. UFMG, Belo Horizonte, 2014, Versão 9.
- 4) VASCONCELLOS, A. L. Ligações em estruturas metálicas volume 1. Instituto aço brasil, Rio de Janeiro, 2011.
- 5) VASCONCELLOS, A. L. Ligações em estruturas metálicas volume 2. Instituto aço brasil, Rio de Janeiro, 2011.