

Norma Portuguesa

NP
EN 1993-1-8
2010

Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço **Parte 1-8: Projecto de ligações**

Eurocode 3 – Calcul des structures en acier
Partie 1-8: Calcul des assemblages

Eurocode 3 – Design of steel structures
Part 1-8: Design of joints

ICS
91.010.30; 91.080.10

DESCRIPTOR
Eurocódigo; estruturas de aço; aços; capacidade de carga; ligações; projecto; fadiga; cálculos matemáticos; edifícios; juntas

CORRESPONDÊNCIA
Versão portuguesa da EN 1993-1-8:2005 + AC:2009

HOMOLOGAÇÃO
Termo de Homologação n.º 75/2010, 2010-03-26
A presente Norma resulta da revisão da
NP ENV 1993-1-1:1998

ELABORAÇÃO
CT 115 (LNEC)

EDIÇÃO
Março de 2010

CÓDIGO DE PREÇO
XEC043

© IPQ reprodução proibida

Instituto Português da  Qualidade

Rua António Gião, 2
2829-513 CAPARICA PORTUGAL

Tel. + 351-212 948 100 Fax + 351-212 948 101
E-mail: ipq@mail.ipq.pt Internet: www.ipq.pt

Preâmbulo nacional

À Norma Europeia EN 1993-1-8:2005, foi dado estatuto de Norma Portuguesa em 2005-08-16 (Termo de Adopção nº 1159/2005, de 2005-08-16).

A presente Norma substitui a NP ENV 1993-1-1:1998 e constitui a versão portuguesa da EN 1993-1-8:2005 + AC:2009, a qual faz parte de um conjunto de normas integrantes do Eurocódigo 3: Projecto de estruturas de aço.

Esta Norma constitui a Parte 1-8 do Eurocódigo 3 e apresenta métodos para o cálculo de ligações sujeitas predominantemente a acções estáticas.

A aplicação desta Norma em Portugal deve obedecer às disposições constantes do respectivo Anexo Nacional NA, que dela faz parte integrante. Neste Anexo são nomeadamente concretizadas as prescrições explicitamente deixadas em aberto no corpo do Eurocódigo para escolha nacional, denominadas Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP).

Versão portuguesa

Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço
Parte 1-8: Projecto de ligações

Eurocode 3 – Bemessung und
Konstruktion von Stahlbauten
Teil 1-8: Bemessung von
Anschlüssen

Eurocode 3 – Calcul des
structures en acier
Partie 1-8: Calcul des
assemblages

Eurocode 3 – Design of steel
structures
Part 1-8: Design of joints

A presente Norma é a versão portuguesa da Norma Europeia EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 e tem o mesmo estatuto que as versões oficiais. A tradução é da responsabilidade do Instituto Português da Qualidade. Esta Norma Europeia e a sua Errata foram ratificadas pelo CEN em 2004-04-16 e 2009-07-29, respectivamente.

Os membros do CEN são obrigados a submeter-se ao Regulamento Interno do CEN/CENELEC que define as condições de adopção desta Norma Europeia, como norma nacional, sem qualquer modificação.

Podem ser obtidas listas actualizadas e referências bibliográficas relativas às normas nacionais correspondentes junto do Secretariado Central ou de qualquer dos membros do CEN.

A presente Norma Europeia existe nas três versões oficiais (alemão, francês e inglês). Uma versão noutra língua, obtida pela tradução, sob responsabilidade de um membro do CEN, para a sua língua nacional, e notificada ao Secretariado Central, tem o mesmo estatuto que as versões oficiais.

Os membros do CEN são os organismos nacionais de normalização dos seguintes países: Alemanha, Áustria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Estónia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Baixos, Polónia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia e Suíça.

CEN

Comité Européen de Normalização
Europäisches Komitee für Normung
Comité Européen de Normalisation
European Committee for Standardization

Secretariado Central: Avenue Marnix 17, B-1000 Bruxelas

Sumário	Página
Preâmbulo nacional	2
Preâmbulo	9
Antecedentes do programa dos Eurocódigos.....	9
Estatuto e campo de aplicação dos Eurocódigos	10
Normas nacionais de implementação dos Eurocódigos.....	11
Ligações entre os Eurocódigos e as especificações técnicas harmonizadas (EN e ETA) relativas aos produtos.....	11
Anexo Nacional da EN 1993-1-8	11
1 Generalidades	12
1.1 Objectivo e campo de aplicação	12
1.2 Referências normativas.....	12
1.2.1 Normas de referência, Grupo 1: Aços de construção soldáveis	12
1.2.2 Normas de referência, Grupo 2: Tolerâncias, dimensões e condições técnicas de entrega	12
1.2.3 Normas de referência, Grupo 3: Perfis tubulares estruturais	13
1.2.4 Normas de referência, Grupo 4: Parafusos, porcas e anilhas.....	13
1.2.5 Normas de referência, Grupo 5: Soldadura e consumíveis de soldadura	14
1.2.6 Normas de referência, Grupo 6: Rebites.....	14
1.2.7 Norma de referência, Grupo 7: Execução das estruturas de aço.....	14
1.3 Distinção entre Princípios e Regras de Aplicação	14
1.4 Termos e definições.....	14
1.5 Símbolos	17
2 Bases de projecto	23
2.1 Pressupostos.....	23
2.2 Requisitos gerais.....	23
2.3 Esforços aplicados	23
2.4 Resistência das juntas	24
2.5 Hipóteses de cálculo	24
2.6 Juntas solicitadas ao corte sujeitas a impactos, a vibrações e/ou a esforços alternados	24
2.7 Excentricidades nas intersecções	25
3 Ligações com parafusos, rebites ou cavilhas	25
3.1 Parafusos, porcas e anilhas	25
3.1.1 Generalidades	25
3.1.2 Parafusos pré-esforçados	26

3.2 Rebites	26
3.3 Chumbadouros	26
3.4 Categorias de ligações aparafusadas	26
3.4.1 Ligações ao corte.....	26
3.4.2 Ligações traccionadas.....	27
3.5 Disposição dos furos de parafusos e de rebites	28
3.6 Valor de cálculo da resistência individual das peças de ligação	29
3.6.1 Parafusos e rebites	29
3.6.2 Parafusos injectados	33
3.7 Peças de ligação em grupo	34
3.8 Ligações compridas	35
3.9 Ligações resistentes ao escorregamento com parafusos das classes 8.8 ou 10.9	35
3.9.1 Valor de cálculo da resistência ao escorregamento	35
3.9.2 Combinação de tracção com corte.....	36
3.9.3 Ligações híbridas.....	37
3.10 Redução da resistência dos elementos devida aos furos das ligações	37
3.10.1 Generalidades	37
3.10.2 Resistência à rotura do bloco.....	37
3.10.3 Cantoneiras traccionadas ligadas por uma aba e outros elementos traccionados ligados assimetricamente	38
3.10.4 Cantoneiras de fixação	39
3.11 Forças de alavanca.....	39
3.12 Distribuição dos esforços entre as peças de ligação para os estados limites últimos	39
3.13 Ligações com cavilhas.....	40
3.13.1 Generalidades	40
3.13.2 Cálculo das cavilhas	41
4 Ligações soldadas	42
4.1 Generalidades	42
4.2 Consumíveis para soldadura.....	43
4.3 Geometria e dimensões	43
4.3.1 Tipo de soldadura	43
4.3.2 Soldaduras de ângulo.....	43
4.3.3 Soldaduras de ângulo em todo o contorno de orifícios	44
4.3.4 Soldaduras de topo	45
4.3.5 Soldaduras de bujão.....	45

4.3.6 Soldaduras em contornos arredondados	45
4.4 Soldaduras com forras	46
4.5 Valor de cálculo da resistência de um cordão de ângulo	46
4.5.1 Comprimento do cordão	46
4.5.2 Espessura efectiva.....	46
4.5.3 Valor de cálculo da resistência de um cordão de ângulo	47
4.6 Valor de cálculo da resistência das soldaduras de ângulo em contornos de orifícios.....	49
4.7 Valor de cálculo da resistência das soldaduras de topo	49
4.7.1 Soldaduras de topo com penetração total	49
4.7.2 Soldaduras de topo com penetração parcial.....	49
4.7.3 Junta de topo em T.....	49
4.8 Valor de cálculo da resistência de soldaduras de bujão.....	50
4.9 Distribuição das forças	50
4.10 Ligações a banzos não reforçados	51
4.11 Ligações compridas	52
4.12 Soldaduras de ângulo em cordão único ou soldaduras de topo com penetração parcial executadas num só lado, solicitadas por forças excêntricas.....	52
4.13 Cantoneiras ligadas por uma só aba.....	53
4.14 Soldadura em zonas enformadas a frio.....	53
5 Análise, classificação e modelação.....	54
5.1 Análise global	54
5.1.1 Generalidades	54
5.1.2 Análise global elástica	55
5.1.3 Análise global rígido-plástica	56
5.1.4 Análise global elasto-plástica	56
5.1.5 Análise global de vigas trianguladas	57
5.2 Classificação das juntas	58
5.2.1 Generalidades	58
5.2.2 Classificação segundo a rigidez.....	59
5.2.3 Classificação segundo a resistência	60
5.3 Modelação das juntas viga-coluna.....	61
6 Juntas estruturais de perfis em H ou em I	64
6.1 Generalidades	64
6.1.1 Bases.....	64
6.1.2 Propriedades estruturais.....	65

6.1.3 Componentes básicos de uma junta.....	66
6.2 Valor de cálculo da resistência.....	69
6.2.1 Esforços.....	69
6.2.2 Esforço transverso.....	70
6.2.3 Momentos flectores.....	71
6.2.4 Peça em T equivalente traccionada.....	72
6.2.5 Peça em T equivalente comprimida.....	75
6.2.6 Resistência de cálculo dos componentes básicos.....	76
6.2.7 Valor de cálculo do momento resistente de juntas viga-coluna e de juntas de continuidade.....	92
6.2.8 Valor de cálculo da resistência das bases de colunas com chapas de base.....	97
6.3 Rigidez de rotação.....	100
6.3.1 Modelo básico.....	100
6.3.2 Coeficientes de rigidez dos componentes básicos das juntas.....	103
6.3.3 Juntas com chapas de extremidade com duas ou mais linhas de parafusos traccionados.....	106
6.3.4 Bases das colunas.....	107
6.4 Capacidade de rotação.....	108
6.4.1 Generalidades.....	108
6.4.2 Juntas aparafusadas.....	109
6.4.3 Juntas soldadas.....	109
7 Juntas de perfis tubulares.....	110
7.1 Generalidades.....	110
7.1.1 Objectivo e campo de aplicação.....	110
7.1.2 Âmbito.....	110
7.2 Projecto.....	112
7.2.1 Generalidades.....	112
7.2.2 Modos de rotura para juntas de perfis tubulares.....	112
7.3 Soldaduras.....	116
7.3.1 Valor de cálculo da resistência.....	116
7.4 Juntas soldadas entre elementos de secção tubular circular (CHS).....	116
7.4.1 Generalidades.....	116
7.4.2 Juntas planas.....	117
7.4.3 Juntas tridimensionais.....	124
7.5 Juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas RHS.....	125
7.5.1 Generalidades.....	125

7.5.2 Juntas planas	126
7.5.3 Juntas tridimensionais.....	137
7.6 Juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas em perfil em I ou em H.....	138
7.7 Juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas em perfil em U	142
Anexo Nacional NA	144
Introdução	144
NA.1 – Objectivo e campo de aplicação.....	144
NA.2 – Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP)	144
NA.2.1 – Generalidades.....	144
NA.2.2 – Regras de Aplicação sem prescrições a nível nacional.....	144
NA.2.3 – Regras de Aplicação com prescrições a nível nacional	144
NA.3 – Informações complementares	145
NA.3.1 – Objectivo.....	145
NA.3.2 – Informações gerais	145
NA.3.3 – Informações específicas.....	145
NA.4 – Correspondência entre as normas europeias referidas na presente Norma e as normas nacionais	145

Preâmbulo

A presente Norma foi elaborada pelo Comité Técnico CEN/TC 250 "*Structural Eurocodes*", cujo secretariado é assegurado pela BSI. O CEN/TC 250 é responsável por todos os Eurocódigos Estruturais.

A esta Norma Europeia deve ser atribuído o estatuto de Norma Nacional, seja por publicação de um texto idêntico, seja por adopção, o mais tardar em Novembro de 2005, e as normas nacionais divergentes devem ser anuladas o mais tardar em Março de 2010.

A presente Norma substitui a ENV 1993-1-1.

De acordo com o Regulamento Interno do CEN/CENELEC, a presente Norma Europeia deve ser implementada pelos organismos nacionais de normalização dos seguintes países: Alemanha, Áustria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Estónia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Baixos, Polónia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia e Suíça.

Antecedentes do programa dos Eurocódigos

Em 1975, a Comissão da Comunidade Europeia optou por um programa de acção na área da construção, baseado no artigo 95º do Tratado. O objectivo do programa era a eliminação de entraves técnicos ao comércio e a harmonização das especificações técnicas.

No âmbito deste programa de acção, a Comissão tomou a iniciativa de elaborar um conjunto de regras técnicas harmonizadas para o projecto de obras de construção, as quais, numa primeira fase, serviriam como alternativa para as regras nacionais em vigor nos Estados-Membros e que, posteriormente, as substituiriam.

Durante quinze anos, a Comissão, com a ajuda de uma Comissão Directiva com representantes dos Estados-Membros, orientou o desenvolvimento do programa dos Eurocódigos, que conduziu à primeira geração de regulamentos europeus na década de 80.

Em 1989, a Comissão e os Estados-Membros da UE e da EFTA decidiram, com base num acordo¹⁾ entre a Comissão e o CEN, transferir, através de uma série de mandatos, a preparação e a publicação dos Eurocódigos para o CEN, tendo em vista conferir-lhes no futuro a categoria de Norma Europeia (EN). Tal, *de facto*, os Eurocódigos às disposições de todas as directivas do Conselho e/ou decisões da Comissão em matéria de normas europeias (por exemplo, a Directiva 89/106/CEE do Conselho relativa a produtos de construção – DPC – e as Directivas 93/37/CEE, 92/50/CEE e 89/440/CEE do Conselho relativas a obras públicas e serviços, assim como as Directivas da EFTA equivalentes destinadas à instituição do mercado interno).

O programa relativo aos Eurocódigos Estruturais inclui as seguintes normas, cada uma das quais é, geralmente, constituída por diversas Partes:

EN 1990	Eurocódigo:	Bases para o projecto de estruturas
EN 1991	Eurocódigo 1:	Acções em estruturas
EN 1992	Eurocódigo 2:	Projecto de estruturas de betão
EN 1993	Eurocódigo 3:	Projecto de estruturas de aço

¹⁾ Acordo entre a Comissão das Comunidades Europeias e o Comité Europeu de Normalização (CEN) relativo ao trabalho sobre os Eurocódigos para o projecto de edifícios e de outras obras de engenharia civil (BC/CEN/03/89).

EN 1994	Eurocódigo 4:	Projecto de estruturas mistas aço-betão
EN 1995	Eurocódigo 5:	Projecto de estruturas de madeira
EN 1996	Eurocódigo 6:	Projecto de estruturas de alvenaria
EN 1997	Eurocódigo 7:	Projecto geotécnico
EN 1998	Eurocódigo 8:	Projecto de estruturas para resistência aos sismos
EN 1999	Eurocódigo 9:	Projecto de estruturas de alumínio

Os Eurocódigos reconhecem a responsabilidade das autoridades regulamentadoras de cada Estado-Membro e salvaguardaram o seu direito de estabelecer os valores relacionados com questões de regulamentação da segurança, a nível nacional, nos casos em que estas continuem a variar de Estado para Estado.

Estatuto e campo de aplicação dos Eurocódigos

Os Estados-Membros da UE e da EFTA reconhecem que os Eurocódigos servem de documentos de referência para os seguintes efeitos:

- como meio de comprovar a conformidade dos edifícios e de outras obras de engenharia civil com as exigências essenciais da Directiva 89/106/CEE do Conselho, particularmente a Exigência Essencial n.º 1 – Resistência mecânica e estabilidade – e a Exigência Essencial n.º 2 – Segurança contra incêndio;
- como base para a especificação de contratos de trabalhos de construção e de serviços de engenharia a eles associados;
- como base para a elaboração de especificações técnicas harmonizadas para os produtos de construção (EN e ETA).

Os Eurocódigos, dado que dizem respeito às obras de construção, têm uma relação directa com os documentos interpretativos²⁾ referidos no artigo 12º da DPC, embora sejam de natureza diferente das normas harmonizadas relativas aos produtos³⁾. Por conseguinte, os aspectos técnicos decorrentes dos Eurocódigos devem ser considerados de forma adequada pelos Comités Técnicos do CEN e/ou pelos Grupos de Trabalho da EOTA envolvidos na elaboração das normas relativas aos produtos, tendo em vista a obtenção de uma compatibilidade total destas especificações técnicas com os Eurocódigos.

Os Eurocódigos fornecem regras comuns de cálculo estrutural para a aplicação corrente no projecto de estruturas e dos seus componentes, de natureza quer tradicional quer inovadora. Elementos construtivos ou condições de cálculo não usuais não são especificamente incluídos, devendo o projectista, nestes casos, assegurar o apoio especializado necessário.

²⁾ De acordo com o n.º 3 do artigo 3º da DPC, as exigências essenciais (EE) traduzir-se-ão em documentos interpretativos que estabelecem as ligações necessárias entre as exigências essenciais e os mandatos para a elaboração de normas europeias (EN) harmonizadas e guias de aprovação técnica europeia (ETAG), e das próprias aprovações técnicas europeias (ETA).

³⁾ De acordo com o artigo 12º da DPC, os documentos interpretativos devem:

- a) concretizar as exigências essenciais harmonizando a terminologia e as bases técnicas e indicando, sempre que necessário, classes ou níveis para cada exigência;
- b) indicar métodos de correlação entre essas classes ou níveis de exigências e as especificações técnicas, por exemplo, métodos de cálculo e de ensaio, regras técnicas de concepção de projectos, etc.;
- c) servir de referência para o estabelecimento de normas europeias harmonizadas e de guias de aprovação técnica europeia. Os Eurocódigos, de facto, desempenham um papel semelhante na área da EE 1 e de uma parte da EE 2.

Normas nacionais de implementação dos Eurocódigos

As normas nacionais de implementação dos Eurocódigos incluirão o texto completo do Eurocódigo (incluindo anexos), conforme publicado pelo CEN, o qual poderá ser precedido de uma página de título e de um preâmbulo nacionais, e ser também seguido de um Anexo Nacional.

O Anexo Nacional só poderá conter informações sobre os parâmetros deixados em aberto no Eurocódigo para escolha nacional, designados por Parâmetros Determinados a nível Nacional, a utilizar no projecto de edifícios e de outras obras de engenharia civil no país em questão, nomeadamente:

- valores e/ou classes, nos casos em que são apresentadas alternativas no Eurocódigo;
- valores para serem utilizados nos casos em que apenas um símbolo é apresentado no Eurocódigo;
- dados específicos do país (geográficos, climáticos, etc.), por exemplo, mapa de zonamento da neve;
- o procedimento a utilizar nos casos em que sejam apresentados procedimentos alternativos no Eurocódigo.

Poderá ainda conter:

- decisões sobre a aplicação dos anexos informativos;
- informações complementares não contraditórias para auxílio do utilizador na aplicação do Eurocódigo.

Ligações entre os Eurocódigos e as especificações técnicas harmonizadas (EN e ETA) relativas aos produtos

É necessária uma consistência entre as especificações técnicas harmonizadas relativas aos produtos de construção e as regras técnicas relativas às obras⁴⁾. Além disso, todas as informações que acompanham a marcação CE dos produtos de construção que fazem referência aos Eurocódigos devem indicar, claramente, quais os Parâmetros Determinados a nível Nacional que foram tidos em conta.

Anexo Nacional da EN 1993-1-8

Esta Norma estabelece procedimentos alternativos e valores, recomenda classes e inclui notas indicando onde poderão ter de ser feitas opções nacionais. Por este motivo, a Norma Nacional de implementação da EN 1993-1-8 deverá ter um Anexo Nacional que contenha todos os Parâmetros Determinados a nível Nacional para o projecto de estruturas de aço a serem construídas no país a que diz respeito.

A opção nacional é permitida na EN 1993-1-8 em:

- 2.2(2)
- 1.2.6 (Grupo 6: Rebites)
- 3.1.1(3)
- 3.4.2(1)
- 5.2.1(2)
- 6.2.7.2(9)

⁴⁾ Ver n.º 3 do artigo 3º e artigo 12º da DPC, e também 4.2, 4.3.1, 4.3.2 e 5.2 do Documento Interpretativo n.º 1.

1 Generalidades

1.1 Objectivo e campo de aplicação

(1) A presente Norma estabelece métodos para o cálculo de juntas sujeitas predominantemente a acções estáticas utilizando aços das classes S 235, S 275, S 355, S 420, S 450 e S 460.

1.2 Referências normativas

A presente Norma inclui, por referência, datada ou não, disposições relativas a outras normas. Estas referências normativas são citadas nos lugares apropriados do texto e as normas são listadas a seguir. Para as referências datadas, as emenda ou revisões subsequentes de qualquer destas normas só se aplicam à presente Norma se nela incorporadas por emendas ou revisão. Para as referências não datadas, aplica-se a última edição da norma referida (incluindo as emendas).

1.2.1 Normas de referência, Grupo 1: Aços de construção soldáveis

EN 10025-1:2004	<i>Hot rolled products of structural steels – General technical delivery conditions</i>
EN 10025-2:2004 ^{*)}	<i>Hot rolled products of structural steels – Technical delivery conditions for non-alloy structural steels</i>
EN 10025-3:2004 ^{*)}	<i>Hot rolled products of structural steels – Technical delivery conditions for normalized/normalized rolled weldable fine grain structural steels</i>
EN 10025-4:2004 ^{*)}	<i>Hot rolled products of structural steels – Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels</i>
EN 10025-5:2004 ^{*)}	<i>Hot rolled products of structural steels – Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance</i>
EN 10025-6:2004 ^{*)}	<i>Hot rolled products of structural steels – Technical delivery conditions for flat products of high yield strength structural steels in quenched and tempered condition</i>

1.2.2 Normas de referência, Grupo 2: Tolerâncias, dimensões e condições técnicas de entrega

EN 10029:1991 ^{*)}	<i>Hot rolled steel plates 3 mm thick or above – Tolerances on dimensions, shape and mass</i>
EN 10034:1993 ^{*)}	<i>Structural steel I- and H-sections – Tolerances on shape and dimensions</i>
EN 10051:1991	<i>Continuously hot-rolled uncoated plate, sheet and strip of non-alloy and alloy steels – Tolerances on dimensions and shape</i>
EN 10055:1995	<i>Hot rolled steel equal flange tees with radiused root and toes – Dimensions and tolerances on shape and dimensions</i>
EN 10056-1:1995 ^{*)}	<i>Structural steel equal and unequal leg angles – Part 1: Dimensions</i>
EN 10056-2:1993 ^{*)}	<i>Structural steel equal and unequal leg angles – Part 2: Tolerances on shape and dimensions</i>
EN 10164:1993	<i>Steel products with improved deformation properties perpendicular to the surface of the product – Technical delivery conditions</i>

^{*)} No Anexo Nacional NA são indicadas as normas portuguesas equivalentes (nota nacional).

1.2.3 Normas de referência, Grupo 3: Perfis tubulares estruturais

- EN 10219-1:1997^{*)} *Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steel – Part 1: Technical delivery requirements*
- EN 10219-2:1997^{*)} *Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels – Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties*
- EN 10210-1:1994^{**)} *Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain structural steels – Part 1: Technical delivery requirements*
- EN 10210-2:1997^{**)} *Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain structural steel – Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties*

1.2.4 Normas de referência, Grupo 4: Parafusos, porcas e anilhas

- EN 14399-1:2002 *High strength structural bolting for preloading – Part 1: General requirements*
- EN 14399-2:2002 *High strength structural bolting for preloading – Part 2: Suitability test for preloading*
- EN 14399-3:2002 *High strength structural bolting for preloading – Part 3: System HR – Hexagon bolt and nut assemblies*
- EN 14399-4:2002 *High strength structural bolting for preloading – Part 4: System HV – Hexagon bolt and nut assemblies*
- EN 14399-5:2002 *High strength structural bolting for preloading – Part 5: Plain washers for system HR*
- EN 14399-6:2002 *High strength structural bolting for preloading – Part 6: Plain chamfered washers for systems HR and HV*
- EN ISO 898-1:1999 *Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel – Part 1: Bolts, screws and studs (ISO 898-1:1999)*
- EN 20898-2:1993 *Mechanical properties of fasteners – Part 2: Nuts with special proof load values – Coarse thread (ISO 898-2:1992)*
- EN ISO 2320:1997 *Prevailing torque type steel hexagon nuts – Mechanical and performance requirements (ISO 2320:1997)*
- EN ISO 4014:2000^{***)} *Hexagon head bolts – Product grades A and B (ISO 4014:1999)*
- EN ISO 4016:2000^{***)} *Hexagon head bolts – Product grade C (ISO 4016:1999)*
- EN ISO 4017:2000^{***)} *Hexagon head screws – Product grades A and B (ISO 4017:1999)*
- EN ISO 4018:2000^{***)} *Hexagon head screws – Product grade C (ISO 4018:1999)*
- EN ISO 4032:2000^{***)} *Hexagon nuts, style 1 – Product grades A and B (ISO 4032:1999)*
- EN ISO 4033:2000^{***)} *Hexagon nuts, style 2 – Product grades A and B (ISO 4033:1999)*
- EN ISO 4034:2000^{***)} *Hexagon nuts – Product grade C (ISO 4034:1999)*

^{*)} À data da publicação da presente Norma a EN 10219-1:1997 e a EN 10219-2:1997 foram substituídas pelas EN 10219-1:2006 e EN 10219-2:2006, as quais já possuem as respectivas versões portuguesas NP EN 10219-1:2009 e NP EN 10219-2:2009 (nota nacional).

^{**)} À data da publicação da presente Norma a EN 10210-1:1994 e a EN 10210-2:1997 foram substituídas pelas EN 10210-1:2006 e EN 10210-2:2006, as quais já possuem as respectivas versões portuguesas NP EN 10210-1:2008 e NP EN 10210-2:2008 (nota nacional).

^{***)} No Anexo Nacional NA são indicadas as normas portuguesas equivalentes (nota nacional).

EN ISO 7040:1997	<i>Prevailing torque hexagon nuts (with non-metallic insert), style 1 – Property classes 5, 8 and 10</i>
EN ISO 7042:1997	<i>Prevailing torque all-metal hexagon nuts, style 2 – Property classes 5, 8, 10 and 12</i>
EN ISO 7719:1997	<i>Prevailing torque type all-metal hexagon nuts, style 1 – Property classes 5, 8 and 10</i>
ISO 286-2:1988	<i>ISO system of limits and fits – Part 2: Tables of standard tolerance grades and limit deviations for hole and shafts</i>
ISO 1891:1979	<i>Bolts, screws, nuts and accessories – Terminology and nomenclature – Trilingual edition</i>
EN ISO 7089:2000 ^{*)}	<i>Plain washers – Nominal series – Product grade A</i>
EN ISO 7090:2000 ^{*)}	<i>Plain washers, chamfered – Normal series – Product grade A</i>
EN ISO 7091:2000 ^{*)}	<i>Plain washers – Normal series – Product grade C</i>
EN ISO 10511:1997	<i>Prevailing torque type hexagon thin nuts (with non-metallic insert)</i>
EN ISO 10512:1997	<i>Prevailing torque type hexagon nuts thin nuts, style 1, with metric fine pitch thread – Property classes 6, 8 and 10</i>
EN ISO 10513:1997	<i>Prevailing torque type all-metal hexagon nuts, style 2, with metric fine pitch thread – Property classes 8, 10 and 12</i>

1.2.5 Normas de referência, Grupo 5: Soldadura e consumíveis de soldadura

EN 12345:1998	<i>Welding – Multilingual terms for welded joints with illustrations. September 1998</i>
EN ISO 14555:1998	<i>Welding – Arc stud welding of metallic materials. May 1995</i>
EN ISO 13918:1998	<i>Welding – Studs for arc stud welding. January 1997</i>
EN 288-3:1992	<i>Specification and approval of welding procedures for metallic materials – Part 3: Welding procedure tests for arc welding of steels. 1992</i>
EN ISO 5817:2003	<i>Arc-welded joints in steel – Guidance for quality levels for imperfections</i>

1.2.6 Normas de referência, Grupo 6: Rebites

NOTA: *Poderão ser fornecidas informações no Anexo Nacional.*

1.2.7 Norma de referência, Grupo 7: Execução das estruturas de aço

EN 1090-2	<i>Requirements for the execution of steel structures</i>
-----------	---

1.3 Distinção entre Princípios e Regras de Aplicação

(1) Aplicam-se as regras indicadas na EN 1990, 1.4.

1.4 Termos e definições

(1) Aplicam-se os seguintes termos e definições.

1.4.1 componente básico (de uma junta)

Parcela de uma junta que contribui para uma ou mais das suas propriedades estruturais.

^{*)} No Anexo Nacional NA são indicadas as normas portuguesas equivalentes (nota nacional).

1.4.2 ligação

Local no qual dois ou mais elementos convergem. Para efeitos de cálculo, é o conjunto das componentes básicas necessárias para representar o comportamento da ligação na transmissão dos esforços relevantes.

1.4.3 elemento ligado

Todo o elemento que esteja unido a um elemento de suporte ou outro apoio.

1.4.4 junta

Zona onde dois ou mais elementos estão interligados. Para efeitos de cálculo, é o conjunto dos componentes básicos que efectuem a união dos elementos, de modo a assegurar que os esforços relevantes são transmitidos entre eles. Uma junta viga-coluna é constituída por um painel de alma e por uma única ligação (configuração de junta num só lado) ou por duas ligações (configuração de junta em dois lados); ver a Figura 1.1.

1.4.5 configuração da junta

Tipo ou disposição de uma ou mais ligações no interior de uma zona onde convergem os eixos de dois ou mais elementos; ver a Figura 1.2.

1.4.6 capacidade de rotação

Ângulo de rotação que uma junta pode sofrer sem rotura para um dado nível de resistência.

1.4.7 rigidez de rotação

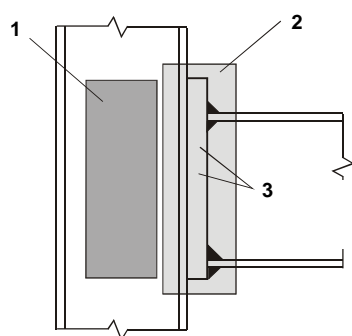
Momento necessário para produzir uma rotação unitária na junta.

1.4.8 propriedades estruturais (de uma junta)

Resistência aos esforços que se exercem nos elementos ligados, rigidez de rotação e capacidade de rotação.

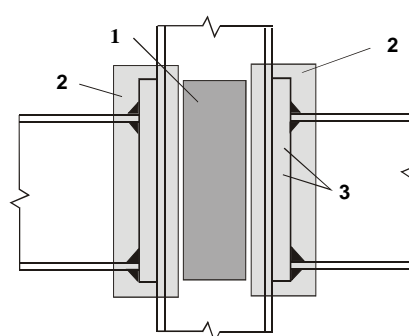
1.4.9 junta plana

Numa estrutura reticulada, uma junta plana liga os elementos situados num mesmo e único plano.



Junta = painel de alma solicitado ao corte + ligação

a) Configuração de junta num só lado



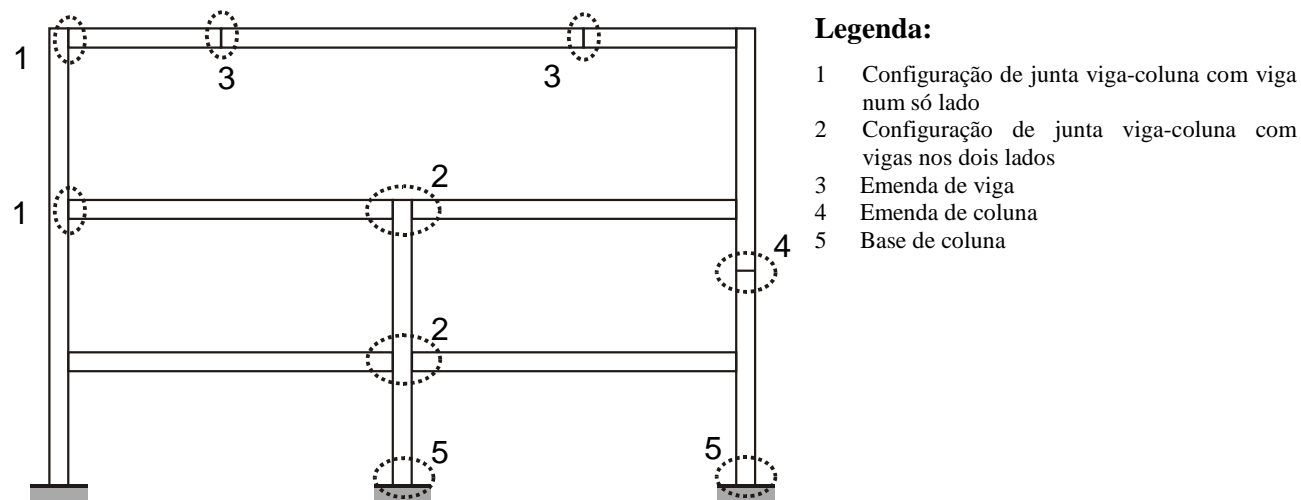
Junta esquerda = painel de alma solicitado ao corte + ligação à esquerda
Junta direita = painel de alma solicitado ao corte + ligação à direita

b) Configuração de junta em dois lados

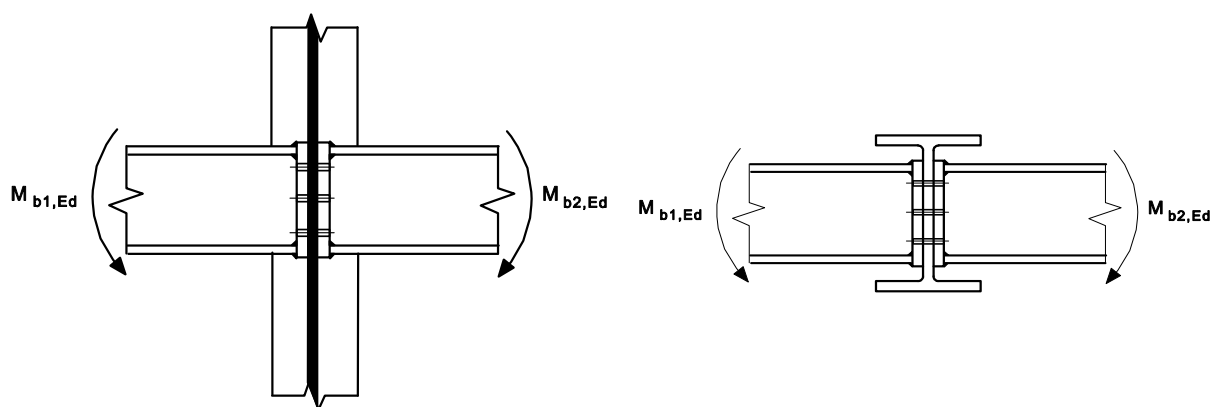
Legenda:

- 1 Painel de alma solicitado ao corte
- 2 Ligação
- 3 Componentes (por exemplo, parafusos, chapa de extremidade)

Figura 1.1 – Partes de uma configuração de junta viga-coluna



a) Configurações de juntas segundo o eixo principal de maior inércia



Configuração de uma junta viga-coluna com vigas nos dois lados

Configuração de uma junta entre vigas com dupla ligação

b) Configurações de juntas segundo o eixo principal de menor inércia (a utilizar unicamente no caso de momentos equilibrados $M_{b1,Ed} = M_{b2,Ed}$)

Figura 1.2 – Configurações de juntas

1.5 Símbolos

(1) Na presente Norma utilizam-se os seguintes símbolos:

d	diâmetro nominal do parafuso, diâmetro da cavilha ou diâmetro da peça de ligação
d_0	diâmetro do furo para um parafuso, para um rebite ou para uma cavilha
$d_{o,t}$	dimensão do furo para a secção traccionada, em geral igual ao diâmetro do furo, mas para furos ovalizados perpendicularmente à secção traccionada deverá adoptar-se o comprimento do furo
$d_{o,v}$	dimensão do furo para a secção solicitada ao esforço transversal, em geral igual ao diâmetro do furo, mas para furos ovalizados paralelamente à secção solicitada ao esforço transversal deverá adoptar-se o comprimento do furo
d_c	altura livre da alma da coluna
d_m	menor diâmetro médio (entre círculos inscrito e circunscrito) da cabeça do parafuso ou da porca
$f_{H,Rd}$	valor de cálculo da pressão de Hertz
f_{ur}	valor especificado da resistência última à tracção do rebite
e_1	distância, para qualquer das peças da ligação, entre o centro do furo (de um parafuso ou rebite) e a extremidade adjacente, medida na direcção da transmissão do esforço; ver a Figura 3.1
e_2	distância, para qualquer das peças da ligação, entre o centro do furo (de um parafuso ou rebite) e o bordo adjacente, medido na direcção perpendicular à transmissão do esforço; ver a Figura 3.1
e_3	distância, para qualquer das peças da ligação entre o eixo de um furo ovalizado e a extremidade adjacente ou o bordo adjacente; ver a Figura 3.1
e_4	distância, para qualquer das peças da ligação, entre o centro do círculo extremo de um furo ovalizado e a extremidade adjacente ou o bordo adjacente; ver a Figura 3.1
ℓ_{eff}	comprimento efectivo de um cordão de ângulo
n	número das superfícies de atrito ou número dos furos da ligação no plano de corte
p_1	distância entre os eixos dos parafusos ou rebites de uma fiada, medida na direcção da transmissão do esforço; ver a Figura 3.1
$p_{1,0}$	distância entre os eixos dos parafusos ou rebites de uma fiada exterior, medida na direcção da transmissão do esforço; ver a Figura 3.1
$p_{1,i}$	distância entre os eixos dos parafusos ou rebites de uma fiada interior, medida na direcção da transmissão do esforço; ver a Figura 3.1
p_2	distância, medida perpendicularmente à direcção da transmissão do esforço, entre fiadas adjacentes de parafusos ou rebites; ver a Figura 3.1
r	número da linha de parafusos

NOTA: Numa ligação aparafusada com mais de uma linha de parafusos traccionados, as linhas de parafusos são numeradas a partir da linha mais afastada do centro de compressão.

s_s	comprimento de apoio rígido
t_a	espessura da cantoneira de ligação
t_{fc}	espessura do banzo da coluna
t_p	espessura da chapa sob a cabeça do parafuso ou sob a porca

t_w	espessura da alma ou da peça de suporte
t_{wc}	espessura da alma da coluna
A	área da secção lisa do parafuso
A_0	área do furo para rebite
A_{vc}	área de corte da coluna, ver a EN 1993-1-1
A_s	área da secção resistente do parafuso ou do chumbadouro
$A_{v,eff}$	área de corte efectiva
$B_{p,Rd}$	valor de cálculo da resistência ao punçoamento da cabeça do parafuso e da porca
E	módulo de elasticidade
$F_{p,Cd}$	valor de cálculo da força de pré-esforço
$F_{t,Ed}$	valor de cálculo do esforço de tracção por parafuso no estado limite último
$F_{t,Rd}$	valor de cálculo da resistência à tracção por parafuso
$F_{T,Rd}$	resistência à tracção do banzo de uma peça em T equivalente
$F_{v,Rd}$	valor de cálculo da resistência ao esforço transversal por parafuso
$F_{b,Rd}$	valor de cálculo da resistência ao esmagamento por parafuso
$F_{s,Rd,se}$	valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso no estado limite de utilização
$F_{s,Rd}$	valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso no estado limite último
$F_{v,Ed,ser}$	valor de cálculo do esforço transversal por parafuso no estado limite de utilização
$F_{v,Ed}$	valor de cálculo do esforço transversal por parafuso no estado limite último
$M_{j,Rd}$	valor de cálculo do momento resistente de uma junta
S_j	rigidez de rotação de uma junta
$S_{j,ini}$	rigidez de rotação inicial de uma junta
$V_{wp,Rd}$	resistência plástica ao corte do painel de alma da coluna
z	braço do binário
μ	coeficiente de atrito
ϕ	rotação de uma junta

(2) Na secção 7 utilizam-se as seguintes abreviaturas correntes para os perfis tubulares:

CHS para “perfil tubular circular”

RHS para “perfil tubular rectangular” que, neste contexto, inclui os perfis tubulares quadrados

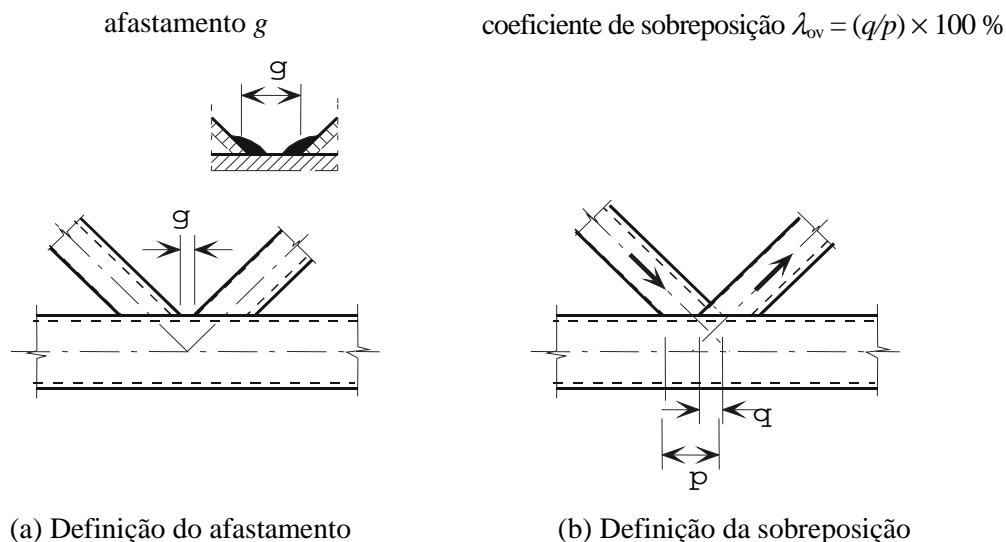


Figura 1.3 – Juntas com afastamento e com sobreposição

(3) Na secção 7 utilizam-se os seguintes símbolos:

A_i	área da secção transversal do elemento i ($i = 0, 1, 2$ ou 3)
A_v	área de corte da corda
$A_{v,eff}$	área efectiva de corte da corda
L	comprimento teórico de um elemento
$M_{ip,i,Rd}$	valor de cálculo da resistência da junta, expresso em termos do momento flector actuante no plano do elemento i ($i = 0, 1, 2$ ou 3)
$M_{ip,i,Ed}$	valor de cálculo do momento flector no plano do elemento i ($i = 0, 1, 2$ ou 3)
$M_{op,i,Rd}$	valor de cálculo da resistência da junta, expresso em termos do momento flector actuante no plano perpendicular ao eixo do elemento i ($i = 0, 1, 2$ ou 3)
$M_{op,i,Ed}$	valor de cálculo do momento flector no plano perpendicular ao eixo do elemento i ($i = 0, 1, 2$ ou 3)
$N_{i,Rd}$	valor de cálculo da resistência da junta, expresso em termos do esforço normal actuante no elemento i ($i = 0, 1, 2$ ou 3)
$N_{i,Ed}$	valor de cálculo do esforço normal actuante no elemento i ($i = 0, 1, 2$ ou 3)
$W_{el,i}$	módulo de flexão elástico da secção do elemento i ($i = 0, 1, 2$ ou 3)
$W_{pl,i}$	módulo de flexão plástico da secção do elemento i ($i = 0, 1, 2$ ou 3)
b_i	largura total na direcção perpendicular ao plano do elemento tipo RHS i ($i = 0, 1, 2$ ou 3)
b_{eff}	largura efectiva da ligação de um elemento diagonal a uma corda
$b_{e,ov}$	largura efectiva de um elemento que se sobrepõe numa ligação com sobreposição
$b_{e,p}$	largura efectiva para a resistência ao punçoamento
b_p	largura de uma chapa
b_w	largura efectiva da alma da corda

d_i	diâmetro total do elemento de CHS i ($i = 0, 1, 2$ ou 3)
d_w	altura da alma de uma corda de secção em I ou em H
e	excentricidade de uma junta
f_b	resistência à encurvadura da parede lateral da corda
f_{yi}	tensão de cedência do elemento i ($i = 0, 1, 2$ ou 3)
f_{y0}	tensão de cedência de uma corda
g	afastamento entre elementos diagonais numa junta em K ou em N (os valores negativos de g representam uma sobreposição q); o espaçamento g é medido entre os limites de elementos diagonais adjacentes, longitudinalmente e ao longo da face da corda à qual aqueles elementos se ligam; ver a Figura 1.3(a)
h_i	altura total no plano da secção transversal do elemento i ($i = 0, 1, 2$ ou 3)
h_z	distância entre as linhas médias das espessuras das paredes horizontais de um perfil tubular rectangular (RHS) ligado a uma coluna constituída por um perfil em I ou em H
k	factor definido no quadro apropriado, com o índice g, m, n ou p
ℓ	comprimento de encurvadura de um elemento
p	comprimento da área de contacto do elemento diagonal que se sobrepõe sobre a face da corda, numa junta com sobreposição, assumindo a ausência do elemento diagonal sobreposto; ver a Figura 1.3(b)
q	comprimento de sobreposição, medido ao nível da face da corda, dos elementos diagonais de uma junta em K ou em N; ver a Figura 1.3(b)
r	raio de concordância de uma secção em I ou em H ou raio do boleado de uma secção tubular rectangular
t_f	espessura do banzo de um perfil em I ou em H
t_i	espessura da parede do elemento i ($i = 0, 1, 2$ ou 3)
t_p	espessura de uma chapa
t_w	espessura da alma de um perfil em I ou em H
α	factor definido no quadro apropriado
θ_i	ângulo (agudo) interno entre o elemento diagonal i e a corda ($i = 0, 1, 2$ ou 3)
κ	factor definido quando da sua utilização
μ	factor definido no quadro apropriado
φ	ângulo entre os planos de uma ligação espacial

(4) Os inteiros utilizados como índices na secção 7 são definidos do seguinte modo:

i	inteiro utilizado como índice para designar um elemento de uma junta, $i = 0$ designa uma corda e $i = 1, 2$ ou 3 os elementos diagonais. Nas ligações entre dois elementos diagonais, $i = 1$ designa, em geral, o elemento diagonal comprimido e $i = 2$ o elemento diagonal traccionado, ver a Figura 1.4(b). No caso de um único elemento diagonal, $i = 1$, quer ele esteja comprimido ou traccionado; ver a Figura 1.4(a)
-----	--

i e j inteiros utilizados como índices em juntas sobrepostas, i designa o elemento diagonal que sobrepõe e j designa o elemento diagonal que é sobreposto; ver a Figura 1.4(c)

(5) As relações entre tensões utilizadas na secção 7 são definidas do seguinte modo:

n relação $(\sigma_{0,Ed}/f_{y0})/\chi_{M5}$ (utilizada para as cordas RHS)

n_p relação $(\sigma_{p,Ed}/f_{y0})/\chi_{M5}$ (utilizada para as cordas CHS)

$\sigma_{0,Ed}$ tensão de compressão máxima a que está sujeita a corda na secção da junta

$\sigma_{p,Ed}$ valor de $\sigma_{0,Ed}$ subtraído da tensão devida às componentes paralelas ao eixo da corda dos esforços axiais nos elementos diagonais convergentes nessa junta; ver a Figura 1.4

(6) As relações geométricas utilizadas na secção 7 são definidas do seguinte modo:

β relação entre a largura ou o diâmetro médios dos elementos diagonais e o da corda:

– para juntas em T, Y e X:

$$\frac{d_1}{d_0} ; \frac{d_1}{b_0} \text{ ou } \frac{b_1}{b_0}$$

– para juntas em K e N:

$$\frac{d_1+d_2}{2 d_0} ; \frac{d_1+d_2}{2 b_0} \text{ ou } \frac{b_1+b_2+h_1+h_2}{4 b_0}$$

– para juntas em KT:

$$\frac{d_1+d_2+d_3}{3 d_0} ; \frac{d_1+d_2+d_3}{3 b_0} \text{ ou } \frac{b_1+b_2+b_3+h_1+h_2+h_3}{6 b_0}$$

β_p relação b_i/b_p

γ relação entre a largura ou o diâmetro da corda e o dobro da espessura da sua parede:

$$\frac{d_0}{2 t_0} ; \frac{b_0}{2 t_0} \text{ ou } \frac{b_0}{2 t_f}$$

η relação entre a altura do elemento diagonal e o diâmetro ou a largura da corda:

$$\frac{h_i}{d_0} \text{ ou } \frac{h_i}{b_0}$$

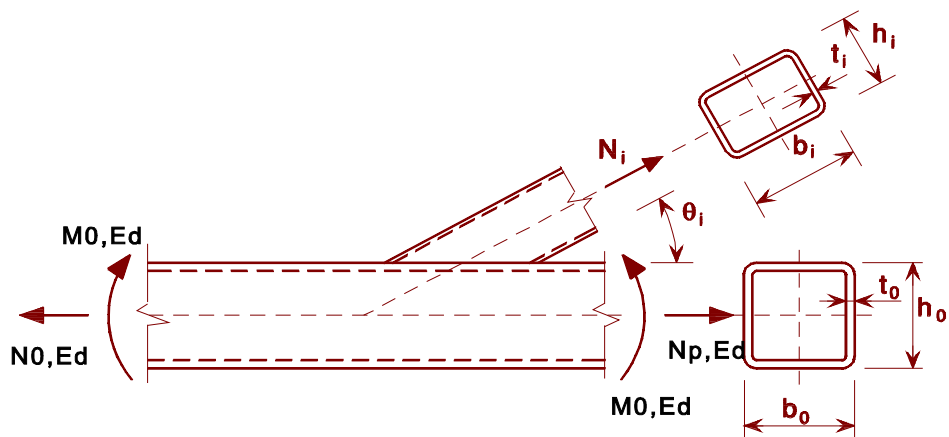
η_p relação h_i/b_p

λ_{ov} coeficiente de sobreposição, expressa em percentagem ($\lambda_{ov} = (q/p) \times 100 \%$), tal como representado na Figura 1.3(b)

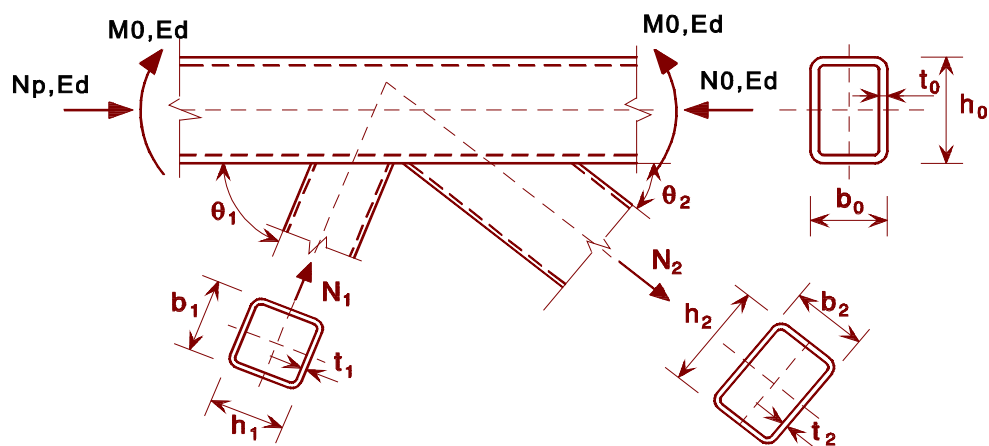
$\lambda_{ov,lim}$ valor do coeficiente de sobreposição a partir do qual a resistência ao corte localizado das ligações entre as diagonais e a parede da corda tem de ser verificada

(7) São especificados outros símbolos quando são utilizados.

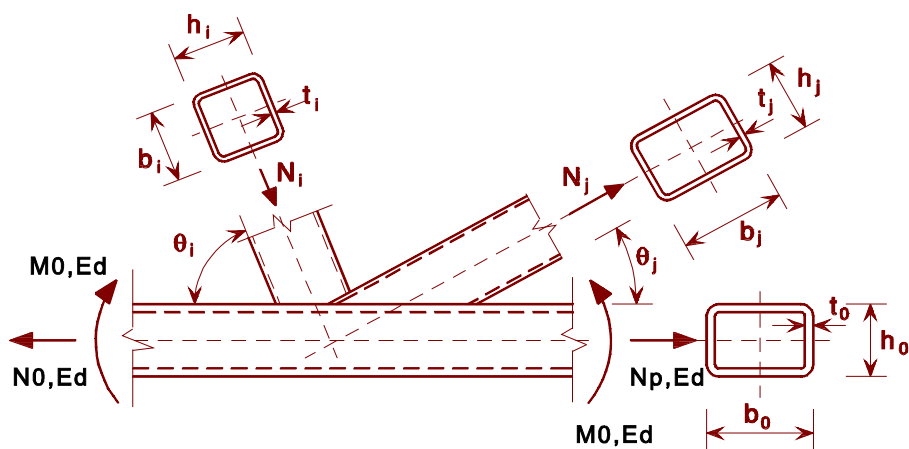
NOTA: Os símbolos relativos a secções circulares são definidos no Quadro 7.2.



a) Junta com um único elemento diagonal



b) Junta com afastamento entre elementos diagonais



c) Junta com sobreposição de dois elementos diagonais

Figura 1.4 – Dimensões e outros parâmetros em juntas entre perfis tubulares de uma viga triangulada

2 Bases de projecto

2.1 Pressupostos

(1) Os métodos de cálculo fornecidos na presente Norma admitem que a qualidade de execução respeita o que está especificado nas normas de execução listadas em 1.2 e que os materiais e os produtos de construção empregues são os especificados na EN 1993 ou em especificações de materiais e produtos aplicáveis.

2.2 Requisitos gerais

(1)P Todas as juntas devem ter uma resistência de cálculo tal que a estrutura seja capaz de satisfazer todos os requisitos fundamentais de projecto definidos na presente Norma e na EN 1993-1-1.

(2) Os coeficientes parciais de segurança, γ_M , para as juntas são fornecidos no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Coeficientes parciais de segurança para as ligações

Resistência dos elementos e das secções transversais	γ_{M0} , γ_{M1} e γ_{M2} ver a EN 1993-1-1
Resistência dos parafusos	γ_{M2}
Resistência dos rebites	
Resistência das cavilhas	
Resistência das soldaduras	
Resistência das chapas ao esmagamento	
Resistência ao escorregamento:	γ_{M3}
– no estado limite último (Categoria C)	
– no estado limite de utilização (Categoria B)	$\gamma_{M3,ser}$
Resistência ao esmagamento de um parafuso injectado	γ_{M4}
Resistência das juntas entre perfis tubulares em vigas trianguladas	γ_{M5}
Resistência das cavilhas no estado limite de utilização	$\gamma_{M6,ser}$
Pré-esforço dos parafusos de alta resistência	γ_{M7}
Resistência do betão	γ_c ver a EN 1992

NOTA: Os valores numéricos de γ_M poderão ser definidos no Anexo Nacional. Os valores recomendados são: $\gamma_{M2} = 1,25$; $\gamma_{M3} = 1,25$ e $\gamma_{M3,ser} = 1,1$; $\gamma_{M4} = 1,0$; $\gamma_{M5} = 1,0$; $\gamma_{M6,ser} = 1,0$; $\gamma_{M7} = 1,1$.

(3)P As juntas sujeitas a fadiga devem também satisfazer os princípios estabelecidos na EN 1993-1-9.

2.3 Esforços aplicados

(1)P A determinação dos esforços aplicados às juntas no estado limite último deve ser feita em conformidade com os princípios da EN 1993-1-1.

2.4 Resistência das juntas

- (1) A resistência de uma junta deverá ser determinada com base na resistência individual das suas componentes básicas.
- (2) No dimensionamento das juntas poderá utilizar-se uma análise elástica linear ou uma análise elasto-plástica.
- (3) Quando se utilizam peças de ligação de diferentes rigidezes para transmitir um esforço de corte, as peças de ligação de maior rigidez deverão ser dimensionadas por forma a transmitirem o esforço de cálculo. Uma excepção a esta metodologia de cálculo está expressa em 3.9.3.

2.5 Hipóteses de cálculo

- (1)P As juntas devem ser calculadas com base numa hipótese realista para a distribuição dos esforços. Para a determinação da distribuição dos esforços, devem ser adoptadas as seguintes hipóteses:
 - (a) os esforços considerados na análise estão em equilíbrio com os esforços aplicados às juntas;
 - (b) cada elemento ligado é capaz de resistir aos esforços;
 - (c) as deformações resultantes dessa distribuição não excedem a capacidade de deformação dos parafusos, rebites ou soldaduras e, também, das peças ligadas;
 - (d) a distribuição admitida para os esforços deve ser realista no que se refere às rigidezes relativas no interior da junta;
 - (e) as deformações admitidas para qualquer modelo de cálculo baseado numa análise elasto-plástica baseiam-se em rotações de corpos rígidos e/ou em deformações no seu plano que são fisicamente possíveis; e
 - (f) qualquer modelo utilizado está em conformidade com o que se infere de resultados experimentais (ver a EN 1990).
- (2) As regras de aplicação indicadas nesta Norma satisfazem 2.5(1).

2.6 Juntas solicitadas ao corte sujeitas a impactos, a vibrações e/ou a esforços alternados

- (1) Quando uma junta solicitada ao corte está sujeita a impactos ou a vibrações significativas, deverá utilizar-se um dos seguintes processos de ligação:
 - soldadura;
 - parafusos com dispositivos de bloqueio;
 - parafusos pré-esforçados;
 - parafusos injectados;
 - outros tipos de parafuso que impeçam eficazmente qualquer movimento das peças ligadas;
 - rebites.
- (2) Sempre que numa junta não for aceitável o escorregamento (por estar solicitada por um esforço de corte alternado ou por qualquer outro motivo), deverão utilizar-se parafusos pré-esforçados em ligações da Categoria B ou C (ver 3.4), parafusos ajustados (ver 3.6.1), rebites ou soldaduras.
- (3) Em estruturas de contraventamento, destinadas a resistir à acção do vento ou a assegurar a estabilidade, poderão utilizar-se parafusos nas ligações da Categoria A (ver 3.4).

2.7 Excentricidades nas intersecções

(1) Quando existem excentricidades nas intersecções, as juntas e os elementos deverão ser dimensionados tendo em conta os esforços daí resultantes, excepto em certos tipos particulares de estruturas para as quais se tenha demonstrado que tal não é necessário, ver 5.1.5.

(2) No caso de juntas de cantoneiras ou de secções em T, unidas quer por uma fiada única de parafusos quer por duas fiadas, qualquer eventual excentricidade deverá ser tida em conta conforme indicado em 2.7(1). As excentricidades no plano e fora do plano deverão ser determinadas considerando as posições relativas, do centro de gravidade do elemento e dos alinhamentos das furações no plano da ligação (ver a Figura 2.1). No caso de uma única cantoneira traccionada ligada por parafusos colocados numa aba, poderá ser utilizado o método simplificado de cálculo descrito em 3.10.3.

NOTA: O efeito da excentricidade em cantoneiras utilizadas como elementos de triangulação comprimidos está descrito na EN 1993-1-1, Anexo BB.1.2.

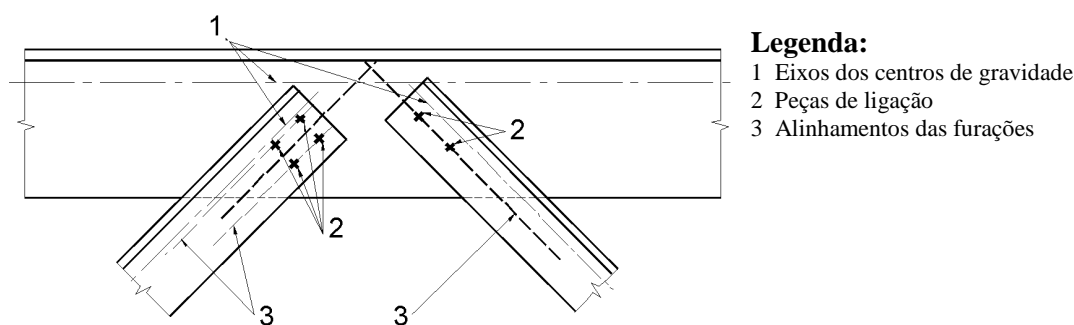


Figura 2.1 – Alinhamentos das furações

3 Ligações com parafusos, rebites ou cavilhas

3.1 Parafusos, porcas e anilhas

3.1.1 Generalidades

(1) Todos os parafusos, porcas e anilhas deverão obedecer aos requisitos de 1.2.4 - Normas de referência, Grupo 4.

(2) As regras da presente Norma são válidas para as classes de parafusos indicadas no Quadro 3.1.

(3) A tensão de cedência f_{yb} e a tensão de rotura à tracção f_{ub} para as classes de parafusos 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8 e 10.9 são as indicadas no Quadro 3.1. Nos cálculos de dimensionamento, estes valores deverão ser adoptados como valores característicos.

Quadro 3.1 – Valores nominais da tensão de cedência, f_{yb} , e da tensão de rotura à tracção, f_{ub} , para parafusos

Classe do parafuso	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

NOTA: O Anexo Nacional poderá excluir certas classes de parafusos.

3.1.2 Parafusos pré-esforçados

(1) Só os parafusos das classes 8.8 e 10.9 conformes aos requisitos de 1.2.4 - Normas de referência, Grupo 4, *High strength structural bolting for preloading*, poderão ser utilizados como parafusos pré-esforçados assegurando-se, em qualquer caso, que o aperto é efectuado em conformidade com os requisitos de 1.2.7 - Norma de referência, Grupo 7.

3.2 Rebites

(1) As propriedades do material, as dimensões e as tolerâncias dos rebites de aço deverão satisfazer os requisitos de 1.2.6 - Normas de referência, Grupo 6.

3.3 Chumbadouros

(1) Poderão utilizar-se os seguintes materiais para os chumbadouros:

- classes de aço que respeitem as disposições de 1.2.1 - Normas de referência, Grupo 1;
- classes de aço que respeitem as disposições de 1.2.4 - Normas de referência, Grupo 4;
- classes de aço utilizadas em varões de armadura, que respeitem a EN 10080;

desde que o valor nominal da tensão de cedência não exceda 640 N/mm^2 no caso de chumbadouros solicitados ao corte e não exceda 900 N/mm^2 nos outros casos.

3.4 Categorias de ligações aparafusadas

3.4.1 Ligações ao corte

(1) As ligações aparafusadas solicitadas ao corte deverão ser projectadas como pertencendo a uma das seguintes categorias:

a) Categoria A: Ligação resistente ao esmagamento

Nesta categoria, deverão utilizar-se parafusos das classes 4.6 a 10.9, inclusive. Não é requerido qualquer pré-esforço ou quaisquer disposições especiais para as superfícies em contacto. O valor de cálculo do esforço de corte no estado limite último não deverá exceder o valor de cálculo da resistência ao corte, determinado a partir de 3.6, nem o valor de cálculo da resistência ao esmagamento, determinado a partir de 3.6 e 3.7.

b) Categoria B: Ligação resistente ao escorregamento no estado limite de utilização

Nesta categoria, deverão utilizar-se parafusos pré-esforçados de acordo com 3.1.2(1). Não deverá ocorrer escorregamento no estado limite de utilização. O valor de cálculo da força de corte no estado limite de utilização não deverá ser superior ao valor de cálculo da resistência ao escorregamento, obtido de 3.9. O valor de cálculo do esforço de corte no estado limite último não deverá exceder o valor de cálculo da resistência ao corte, determinado a partir de 3.6, nem o valor de cálculo da resistência ao esmagamento, determinado a partir de 3.6 e 3.7.

c) Categoria C: Ligação resistente ao escorregamento no estado limite último

Nesta categoria, deverão utilizar-se parafusos pré-esforçados de acordo com 3.1.2(1). Não deverá ocorrer escorregamento no estado limite último. O valor de cálculo do esforço de corte no estado limite último não deverá exceder o valor de cálculo da resistência ao escorregamento, determinado a partir de 3.9, nem o valor de cálculo da resistência ao esmagamento, determinado a partir de 3.6 e 3.7. Além disso, no caso de uma ligação traccionada, deverá comprovar-se que, para o estado limite último, não é excedido o valor de cálculo da resistência plástica da secção útil que intercepta os furos dos parafusos, $N_{\text{net,Rd}}$, (ver 6.2 da EN 1993-1-1).

As verificações a fazer no dimensionamento destas ligações encontram-se resumidas no Quadro 3.2.

3.4.2 Ligações traccionadas

(1) As ligações aparafusadas solicitadas à tracção deverão ser projectadas como pertencendo a uma das seguintes categorias:

a) Categoria D: Ligações não pré-esforçadas

Nesta categoria, deverão utilizar-se parafusos das classes 4.6 a 10.9, inclusive. Não é necessário qualquer pré-esforço. Esta categoria não deverá ser utilizada no caso em que as ligações estejam sujeitas a variações frequentes do esforço de tracção. No entanto, esta categoria poderá ser utilizada em ligações calculadas para resistir às acções habituais do vento.

b) Categoria E: Ligações pré-esforçadas

Nesta categoria, deverão utilizar-se parafusos pré-esforçados das classes 8.8 e 10.9 com aperto controlado em conformidade com as disposições inscritas em 1.2.7 - Norma de referência, Grupo 7.

As verificações a fazer no dimensionamento destas ligações encontram-se resumidas no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Categorias de ligações aparafusadas

Categoria	Critérios	Observações
Ligações ao corte		
A resistente ao esmagamento	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Não é necessário qualquer pré-esforço. Poderão utilizar-se as classes de parafusos 4.6 a 10.9.
B resistente ao escorregamento no estado limite de utilização	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Deverão utilizar-se parafusos pré-esforçados das classes 8.8 ou 10.9. Para a resistência ao escorregamento no estado limite de utilização, ver 3.9.
C resistente ao escorregamento no estado limite último	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Deverão utilizar-se parafusos pré-esforçados das classes 8.8 ou 10.9. Para a resistência ao escorregamento no estado limite último, ver 3.9. $N_{net,Rd}$, ver 3.4.1(1) c).
Ligações à tracção		
D não pré-esforçada	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Não é necessário qualquer pré-esforço. Poderão utilizar-se as classes de parafusos 4.6 a 10.9. $B_{p,Rd}$, ver o Quadro 3.4.
E pré-esforçada	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Deverão utilizar-se parafusos pré-esforçados das classes 8.8 ou 10.9. $B_{p,Rd}$, ver o Quadro 3.4.
O valor de cálculo do esforço de tracção, $F_{t,Ed}$, deverá incluir qualquer eventual força devida ao efeito de alavanca, ver 3.11. Os parafusos solicitados simultaneamente a esforço de corte e a esforço de tracção deverão satisfazer também os critérios indicados no Quadro 3.4.		

NOTA: No caso de o pré-esforço não ser explicitamente utilizado no cálculo da resistência ao escorregamento mas ser necessário por razões de execução ou como uma medida de qualidade (por exemplo, para a durabilidade), o nível de pré-esforço pode ser especificado no Anexo Nacional.

3.5 Disposição dos furos de parafusos e de rebites

(1) As distâncias máxima e mínima, quer entre eixos dos parafusos e rebites, quer aos bordos e às extremidades das peças, são as indicadas no Quadro 3.3.

(2) Para as distâncias máxima e mínima, quer entre eixos dos parafusos e rebites, quer aos bordos, caso se trate de estruturas sujeitas a fadiga, ver a EN 1993-1-9.

Quadro 3.3 – Distância mínima e máxima entre eixos, distâncias às extremidades e aos bordos

Distâncias e entreeixos, ver a Figura 3.1	Mínimo	Máximo ^{1) 2) 3)}		
		Estruturas feitas de aços respeitando a EN 10025 com excepção dos aços respeitando a EN 10025-5		Estruturas feitas de aços conformes à EN 10025-5
		Aço exposto à atmosfera ou a outras influências corrosivas	Aço não exposto à atmosfera ou a outras influências corrosivas	Aço utilizado sem protecção
Distância à extremidade e_1	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		O maior dos valores $8t$ ou 125 mm
Distância ao bordo lateral e_2	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		O maior dos valores $8t$ ou 125 mm
Distância e_3 para furos ovalizados	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Distância e_4 para furos ovalizados	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Distância entre eixos p_1	$2,2d_0$	O menor dos valores $14t$ ou 200 mm	O menor dos valores $14t$ ou 200 mm	O menor dos valores $14t_{\min}$ ou 175 mm
Distância entre eixos $p_{1,0}$		O menor dos valores $14t$ ou 200 mm		
Distância entre eixos $p_{1,i}$		O menor dos valores $28t$ ou 400 mm		
Distância entre eixos p_2 ⁵⁾	$2,4d_0$	O menor dos valores $14t$ ou 200 mm	O menor dos valores $14t$ ou 200 mm	O menor dos valores $14t_{\min}$ ou 175 mm

¹⁾ Não existem valores máximos tanto para as distâncias entre eixos dos furos como para as distâncias à extremidade e ao bordo lateral, excepto nos seguintes casos:

- para elementos comprimidos a fim de evitar a encurvadura local e impedir a corrosão dos elementos expostos (os valores limites são fornecidos neste Quadro); e
- para elementos traccionados expostos a fim de impedir a corrosão (os valores limites são fornecidos neste Quadro).

²⁾ A resistência ao enfundamento local da chapa comprimida entre as peças da ligação deverá ser calculada de acordo com a EN 1993-1-1, utilizando $0,6 p_1$ para comprimento de encurvadura. Não é necessário verificar o enfundamento local entre as peças de ligação no caso de p_1/t ser inferior a 9ϵ . A distância ao bordo lateral não deverá exceder os requisitos relativos ao enfundamento para um elemento saliente de uma peça comprimida, ver a EN 1993-1-1. A distância à extremidade não é afectada por este requisito.

³⁾ t espessura da peça exterior ligada de menor espessura.

⁴⁾ Os limites das dimensões dos furos ovalizados são indicados em 1.2.7 - Norma de referência, Grupo 7.

⁵⁾ Para linhas de peças de ligação dispostas em quincôncio, poderá utilizar-se um espaçamento mínimo entre linhas de $p_2 = 1,2d_0$, desde que a distância mínima, L , entre quaisquer duas peças de ligação seja igual ou superior a $2,4d_0$, ver a Figura 3.1b).

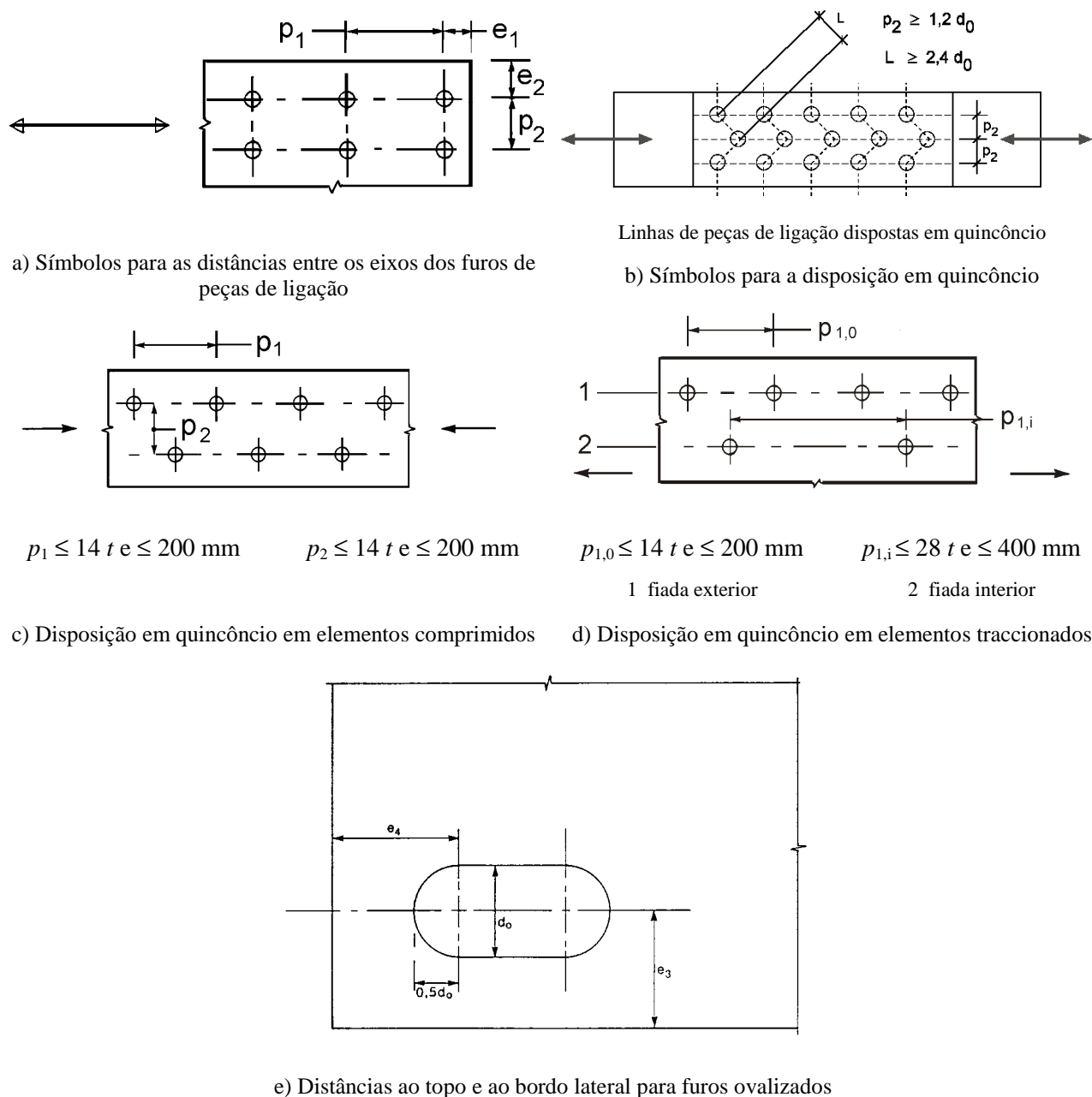


Figura 3.1 – Símbolos para as distâncias ao extremo e ao bordo lateral e para os espaçamentos das peças de ligação

3.6 Valor de cálculo da resistência individual das peças de ligação

3.6.1 Parafusos e rebites

(1) O valor de cálculo da resistência de uma peça de ligação sujeita a corte e/ou a tracção é indicado no Quadro 3.4.

(2) No caso de parafusos pré-esforçados em conformidade com 3.1.2(1), o valor de cálculo do pré-esforço, $F_{p,Cd}$, a utilizar nos cálculos de dimensionamento deverá ser considerado igual a:

$$F_{p,Cd} = 0,7 f_{ub} A_s / \chi_{M7} \quad (3.1)$$

NOTA: No caso em que o pré-esforço não é utilizado nos cálculos, ver a nota ao Quadro 3.2.

(3) Os valores de cálculo da resistência à tracção e ao esforço de corte da parte roscada de um parafuso, indicados no Quadro 3.4, só deverão ser utilizados para parafusos fabricados de acordo com 1.2.4 - Normas de referência, Grupo 4. Para parafusos com roscas abertas por corte, tais como os chumbadouros ou os tirantes fabricados a partir de varões redondos com roscas que respeitem a EN 1090, deverão utilizar-se os valores do Quadro 3.4. Para parafusos com roscas abertas por corte que não obedecem à EN 1090, os valores aplicáveis do Quadro 3.4 deverão ser multiplicados por um factor 0,85.

(4) O valor de cálculo da resistência ao corte, $F_{v,Rd}$, indicado no Quadro 3.4, só deverá ser utilizado no caso em que os parafusos são aplicados em furos cujas folgas nominais não excedem os valores especificados para os furos normalizados em 1.2.7 - Norma de referência, Grupo 7.

(5) Poderão também utilizar-se parafusos M12 e M14 em furos com uma folga de 2 mm desde que o valor de cálculo da resistência do grupo de parafusos baseado na pressão diametral seja inferior ou igual ao valor de cálculo da resistência do grupo de parafusos baseado no corte dos parafusos. Além disso, para os parafusos das classes 4.8, 5.8, 6.8, 8.8 e 10.9, o valor de cálculo da resistência ao corte $F_{v,Rd}$ deverá ser considerado igual a 0,85 vezes o valor indicado no Quadro 3.4.

(6) Os parafusos ajustados deverão ser calculados utilizando o método aplicável aos parafusos aplicados em furos normalizados.

(7) A parte roscada de um parafuso ajustado não deverá ser incluída no plano de corte.

(8) O comprimento em contacto com a chapa da parte roscada de um parafuso ajustado sujeito a esmagamento não deverá exceder 1/3 da espessura da chapa, ver a Figura 3.2.

(9) As tolerâncias dos furos para parafusos ajustados deverão respeitar a 1.2.7 - Norma de referência, Grupo 7.

(10) Em ligações por sobreposição simples com apenas uma linha de parafusos, ver a Figura 3.3, os parafusos deverão ter anilhas colocadas sob a cabeça e sob a porca. O valor de cálculo da resistência ao esmagamento, $F_{b,Rd}$, de cada parafuso deverá ser limitado a:

$$F_{b,Rd} \leq 1,5 f_u d t / \chi_{M2} \quad (3.2)$$

NOTA: Não deverão ser utilizadas ligações por sobreposição simples com um único rebite.

(11) No caso de parafusos das classes 8.8 ou 10.9 utilizados em ligações por sobreposição simples apenas com um único parafuso ou com uma única linha de parafusos, deverão aplicar-se anilhas de aço endurecido.

(12) Nos casos em que os parafusos ou rebites solicitados ao corte e ao esmagamento atravessam forras com uma espessura total t_p superior a um terço do diâmetro nominal d , ver a Figura 3.4, o valor de cálculo da resistência ao corte $F_{v,Rd}$, determinado como especificado no Quadro 3.4, deverá ser multiplicado por um coeficiente de redução β_p obtido por:

$$\beta_p = \frac{9d}{8d + 3t_p} \text{ mas } \beta_p \leq 1 \quad (3.3)$$

(13) No caso de elementos de ligação solicitados em corte duplo com forras em ambos os lados da junta, t_p deverá ser considerado igual à espessura da forra mais espessa.

(14) As ligações rebitadas deverão ser calculadas de modo a transmitir os esforços essencialmente por corte. No caso de tracção, o valor de cálculo do esforço de tracção, $F_{t,Ed}$, não deverá exceder o valor de cálculo da resistência à tracção, $F_{t,Rd}$, indicado no Quadro 3.4.

(15) Em rebites de aço S 235 pode considerar-se para o rebite na condição em que é cravado o valor de f_{ur} igual a 400 N/mm^2 .

(16) Como regra geral, o comprimento de aperto de um rebite não deverá exceder $4,5d$ no caso de rebitagem a martelo e $6,5d$ no caso de rebitagem à máquina.

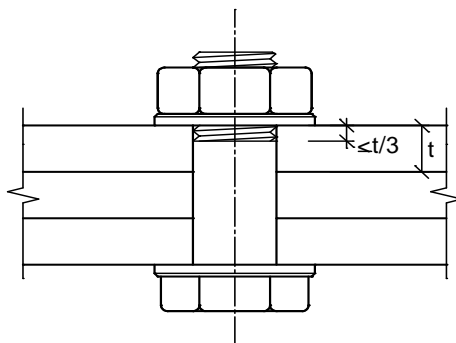


Figura 3.2 – Parte rosca da espiga na zona em esmagamento de parafusos ajustados

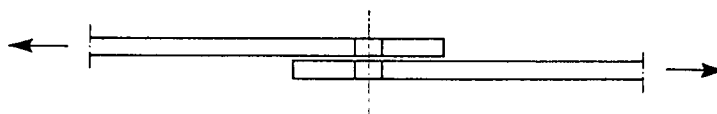


Figura 3.3 – Ligação por sobreposição simples com uma única linha de parafusos

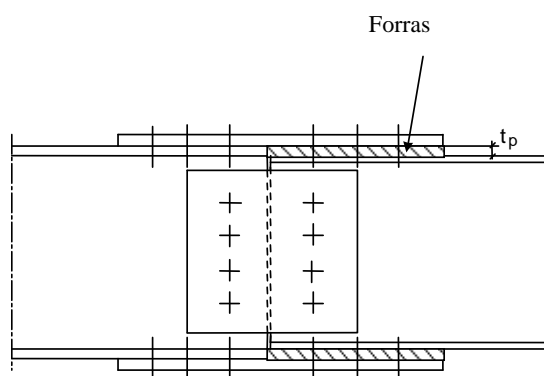


Figura 3.4 – Peças de ligação atravessando forras

Quadro 3.4 – Valor de cálculo da resistência individual de peças de ligação solicitadas ao corte e/ou à tracção

Modo de rotura	Parafusos	Rebites
Resistência ao corte por plano de corte	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ <p>– quando o plano de corte atravessa a parte roscada do parafuso (A é a área da secção resistente do parafuso A_s):</p> <p>– para as classes 4.6, 5.6 e 8.8: $\alpha_v = 0,6$</p> <p>– para as classes 4.8, 5.8, 6.8 e 10.9: $\alpha_v = 0,5$</p> <p>– quando o plano de corte atravessa a parte não roscada do parafuso (A é a área da secção transversal bruta do parafuso): $\alpha_v = 0,6$</p>	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$
Resistência ao esmagamento 1), 2), 3)	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$ em que α_b é o menor dos valores α_d , $\frac{f_{ub}}{f_u}$ e 1,0; na direcção de transmissão dos esforços: <p>– para parafusos de extremidade: $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$</p> <p>– para parafusos interiores: $\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$</p> perpendicularmente à direcção de transmissão dos esforços: <p>– para parafusos de extremidade: k_1 é o menor dos valores</p> $2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; \quad 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \quad \text{e} \quad 2,5$ <p>– para parafusos interiores: k_1 é o menor dos valores $1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7$ e 2,5</p>	
Resistência à tracção ²⁾	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>em que $k_2 = 0,63$ para parafusos com cabeça de embeber, nos outros casos $k_2 = 0,9$</p>	$F_{t,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$
Resistência ao punçoamento	$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$	Não é necessária verificação
Combinação de corte com tracção	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$	

1) A resistência ao esmagamento $F_{b,Rd}$ dos parafusos aplicados:

- em furos sobredimensionados é 0,8 vezes a resistência ao esmagamento dos parafusos em furos normalizados;
- em furos ovalizados, em que o eixo longitudinal do furo ovalizado é perpendicular à direcção dos esforços, é 0,6 vezes a resistência ao esmagamento dos parafusos aplicados em furos circulares normalizados.

2) Para parafusos com cabeça de embeber:

- a resistência ao esmagamento, $F_{b,Rd}$, deverá calcular-se para uma espessura de chapa t igual à espessura da chapa ligada diminuída de metade da profundidade do escareamento (altura da cabeça embebida do parafuso);
- para a determinação da resistência à tracção $F_{t,Rd}$, o ângulo e a profundidade do escareamento (altura da cabeça embebida do parafuso) deverão obedecer a 1.2.4 - Normas de referência, Grupo 4. Caso contrário a resistência à tracção $F_{t,Rd}$ deverá ser ajustada em conformidade.

3) Quando a força aplicada a um parafuso não é paralela ao bordo, a resistência ao esmagamento poderá ser verificada separadamente para as componentes, paralela e perpendicular ao bordo do esforço aplicado.

3.6.2 Parafusos injectados

3.6.2.1 Generalidades

(1) Os parafusos injectados poderão ser utilizados como alternativa aos parafusos e rebites correntes nas ligações das categorias A, B e C especificadas em 3.4.

(2) As disposições referentes ao fabrico e montagem dos parafusos injectados são fornecidas em 1.2.7 - Norma de referência, Grupo 7.

3.6.2.2 Valor de cálculo da resistência

(1) Para as ligações com parafusos injectados das classes 8.8 ou 10.9, deverá utilizar-se o método de cálculo explicitado em 3.6.2.2(2) a 3.6.2.2(6). Os parafusos deverão obedecer aos requisitos de 1.2.4 - Normas de referência, Grupo 4, mas deverá ser consultado 3.6.2.2(3) no caso de parafusos pré-esforçados.

(2) O valor de cálculo do esforço de corte no estado limite último de qualquer parafuso de uma ligação da categoria A não deverá exceder o menor dos seguintes valores: o valor de cálculo da resistência ao corte do parafuso ou de um grupo de parafusos obtido de acordo com 3.6 e 3.7; o valor de cálculo da resistência ao esmagamento da resina obtido de acordo com 3.6.2.2(5).

(3) Deverão ser utilizados parafusos injectados pré-esforçados nas ligações das categorias B e C, para as quais se deverá igualmente respeitar o teor da 3.1.2(1).

(4) O valor de cálculo do esforço de corte no estado limite de utilização em qualquer parafuso de uma ligação da categoria B e o valor de cálculo do esforço de corte no estado limite último em qualquer parafuso de uma ligação da categoria C não deverão exceder o valor de cálculo da resistência ao escorregamento do parafuso obtido de acordo com 3.9 para o estado limite considerado acrescido do valor de cálculo da resistência à pressão diametral da resina obtido de acordo com 3.6.2.2(5) para o estado limite considerado. Além disso, o valor de cálculo do esforço de corte no estado limite último de um parafuso de uma ligação de categoria B ou C não deverá exceder o valor de cálculo da resistência ao corte do parafuso obtido de acordo com 3.6, nem o valor de cálculo da resistência ao esmagamento do parafuso obtido de acordo com 3.6 e 3.7.

(5) O valor de cálculo da resistência à pressão diametral da resina, $F_{b,Rd,resin}$, poderá ser determinado a partir da seguinte expressão:

$$F_{b,Rd,resin} = \frac{k_t k_s d t_{b,resin} \beta f_{b,resin}}{\gamma_{M4}} \quad (3.4)$$

em que:

$F_{b,Rd,resin}$ resistência à pressão diametral de um parafuso injectado;

β coeficiente função da relação entre as espessuras das chapas ligadas tal como indicado no Quadro 3.5 e na Figura 3.5;

$f_{b,resin}$ resistência à pressão diametral da resina a determinar de acordo com 1.2.7 - Norma de referência, Grupo 7;

$t_{b,resin}$ espessura de apoio efectiva da resina, indicada no Quadro 3.5;

k_t = 1,0 para o estado limite de utilização (a longo prazo);
= 1,2 para o estado limite último;

k_s considerado igual a 1,0 para furos com folgas normalizadas ou (1,0 - 0,1 m) para furos sobredimensionados;

m diferença (em mm) entre as dimensões dos furos normalizados e as dos furos sobredimensionados. No caso de furos ovalizados curtos, como especificado em 1.2.7 - Norma de referência, Grupo 7, $m = 0,5 \times$ (a diferença (em mm) entre o comprimento e a largura do furo).

(6) No cálculo da resistência ao esmagamento de um parafuso com um comprimento de aperto superior a $3d$, deverá adoptar-se um valor não superior a $3d$ na determinação da espessura de apoio efectiva $t_{b,resin}$ (ver a Figura 3.6).

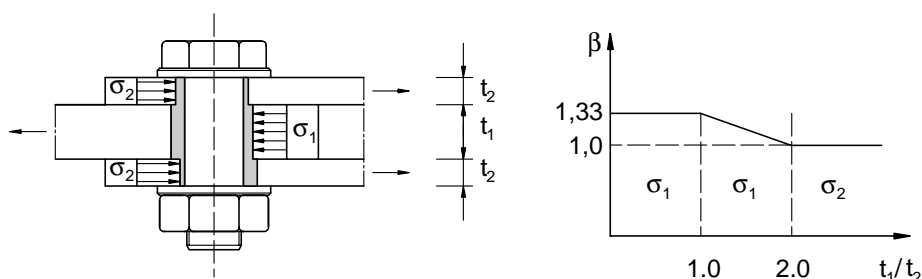


Figura 3.5 – Coeficiente β em função da relação entre as espessuras das chapas ligadas

Quadro 3.5 – Valores de β e $t_{b,resin}$

t_1 / t_2	β	$t_{b,resin}$
$\geq 2,0$	1,0	$2 t_2 \leq 1,5 d$
$1,0 < t_1 / t_2 < 2,0$	$1,66 - 0,33 (t_1 / t_2)$	$t_1 \leq 1,5 d$
$\leq 1,0$	1,33	$t_1 \leq 1,5 d$

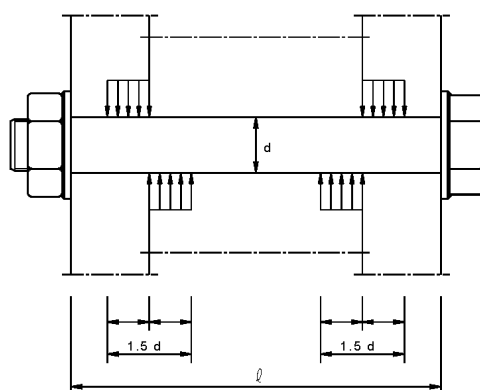


Figura 3.6 – Comprimento efectivo máximo para parafusos injectados compridos

3.7 Peças de ligação em grupo

(1) O valor de cálculo da resistência de um grupo de peças de ligação poderá ser considerado igual à soma dos valores de cálculo da resistência ao esmagamento, $F_{b,Rd}$, de cada peça de ligação individualmente, desde que o valor de cálculo da resistência ao corte, $F_{v,Rd}$, de cada peça de ligação seja igual ou superior ao seu valor de cálculo da resistência ao esmagamento, $F_{b,Rd}$. Caso contrário, o valor de cálculo da resistência de um

grupo de peças de ligação deverá ser considerado igual ao número de peças de ligação multiplicado pelo menor valor de cálculo da resistência de qualquer uma das peças de ligação.

3.8 Ligações compridas

(1) Quando a distância L_j entre os eixos das peças de ligação extremas de uma ligação medida na direcção da transmissão dos esforços (ver a Figura 3.7) é superior a $15d$, o valor de cálculo da resistência ao corte, $F_{v,Rd}$, de todas as peças de ligação, calculado de acordo com o Quadro 3.4, deverá ser multiplicado por um coeficiente de redução β_{Lf} , obtido por:

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \quad (3.5)$$

mas $\beta_{Lf} \leq 1,0$ e $\beta_{Lf} \geq 0,75$.

(2) O disposto em 3.8(1) não se aplica no caso em que a transmissão do esforço seja uniforme ao longo de todo o comprimento da ligação como acontece, por exemplo, com a transmissão do esforço de corte entre a alma e o banzo de uma secção.

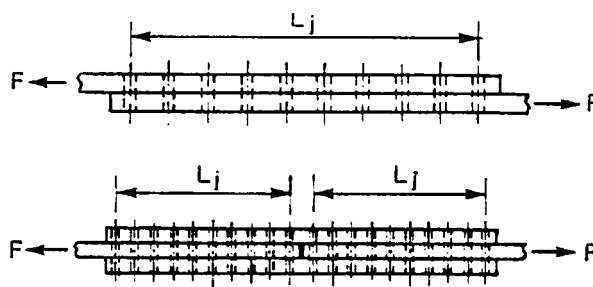


Figura 3.7 – Ligações compridas

3.9 Ligações resistentes ao escorregamento com parafusos das classes 8.8 ou 10.9

3.9.1 Valor de cálculo da resistência ao escorregamento

(1) O valor de cálculo da resistência ao escorregamento de um parafuso pré-esforçado da classe 8.8 ou 10.9 deverá ser considerado igual a:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C} \quad (3.6a)$$

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,C} \quad (3.6b)$$

em que:

- k_s parâmetro cujos valores são indicados no Quadro 3.6;
- n número dos planos de atrito;
- μ coeficiente de atrito obtido por ensaios específicos para a superfície de atrito, de acordo com 1.2.7 - Norma de referência, Grupo 7, ou, quando aplicável, indicado no Quadro 3.7.

(2) No caso de parafusos das classes 8.8 e 10.9, que respeitem a 1.2.4 - Normas de referência, Grupo 4, com aperto controlado em conformidade com 1.2.7 - Norma de referência, Grupo 7, a força de pré-esforço, $F_{p,C}$, a utilizar na expressão (3.6) deverá ser considerada igual a:

$$F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s \quad (3.7)$$

Quadro 3.6 – Valores de k_s

Descrição	k_s
Parafusos em furos normalizados	1,0
Parafusos em furos sobredimensionados ou em furos ovalizados curtos com o eixo maior perpendicular à direcção de transmissão dos esforços	0,85
Parafusos em furos ovalizados longos com o eixo maior perpendicular à direcção de transmissão dos esforços	0,7
Parafusos em furos ovalizados curtos com o eixo maior paralelo à direcção de transmissão dos esforços	0,76
Parafusos em furos ovalizados longos com o eixo maior paralelo à direcção de transmissão dos esforços	0,63

Quadro 3.7 – Coeficiente de atrito, μ , para parafusos pré-esforçados

Classe das superfícies de atrito (ver 1.2.7 - Norma de referência, Grupo 7)	Coeficiente de atrito μ
A	0,5
B	0,4
C	0,3
D	0,2
<p>NOTA 1: Os requisitos relativos aos ensaios e às inspecções são indicados em 1.2.7 - Norma de referência, Grupo 7.</p> <p>NOTA 2: A classificação de qualquer outro tratamento da superfície deverá basear-se em ensaios de provetes representativos das superfícies utilizadas na estrutura, mediante o processo indicado em 1.2.7 - Norma de referência, Grupo 7.</p> <p>NOTA 3: As definições das classes de superfície de atrito são indicadas em 1.2.7 - Norma de referência, Grupo 7.</p> <p>NOTA 4: No caso de superfícies pintadas poderá ocorrer, com o decorrer do tempo, uma perda de pré-esforço.</p>	

3.9.2 Combinação de tracção com corte

(1) Se uma ligação resistente ao escorregamento for submetida a um esforço de tracção, $F_{t,Ed}$ ou $F_{t,Ed,ser}$, para além do esforço de corte, $F_{v,Ed}$ ou $F_{v,Ed,ser}$, indutor do escorregamento, o valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso deverá ser considerado igual a:

para uma ligação da categoria B:
$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{M3,ser}} \quad (3.8a)$$

para uma ligação da categoria C:
$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}} \quad (3.8b)$$

(2) Se, numa ligação resistente à flexão, o esforço de contacto no lado comprimido equilibrar o esforço de tracção aplicado, não é requerida qualquer redução da resistência ao escorregamento.

3.9.3 Ligações híbridas

(1) Como excepção a 2.4(3), poderá admitir-se que os parafusos pré-esforçados das classes 8.8 e 10.9 nas ligações calculadas como resistentes ao escorregamento no estado limite último (categoria C de 3.4) transmitem a força de escorregamento conjuntamente com as soldaduras, desde que o aperto final dos parafusos seja efectuado após a execução da soldadura.

3.10 Redução da resistência dos elementos devida aos furos das ligações

3.10.1 Generalidades

(1) No cálculo dos elementos, as reduções da resistência devidas à existência dos furos deverão ser efectuadas de acordo com a EN 1993-1-1.

3.10.2 Resistência à rotura do bloco

(1) O destacamento do bloco é uma rotura por corte na fiada de parafusos situada na secção solicitada ao corte do grupo de furos, acompanhada da rotura por tracção ao longo da linha dos furos situada na superfície traccionada da periferia do grupo de parafusos. A Figura 3.8 exemplifica o destacamento do bloco.

(2) Para um grupo de parafusos simétricos sujeito a um carregamento centrado, o valor de cálculo da resistência ao destacamento do bloco, $V_{eff,1,Rd}$, é obtido por:

$$V_{eff,1,Rd} = f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1 / \sqrt{3}) f_y A_{nv} / \gamma_{M0} \quad (3.9)$$

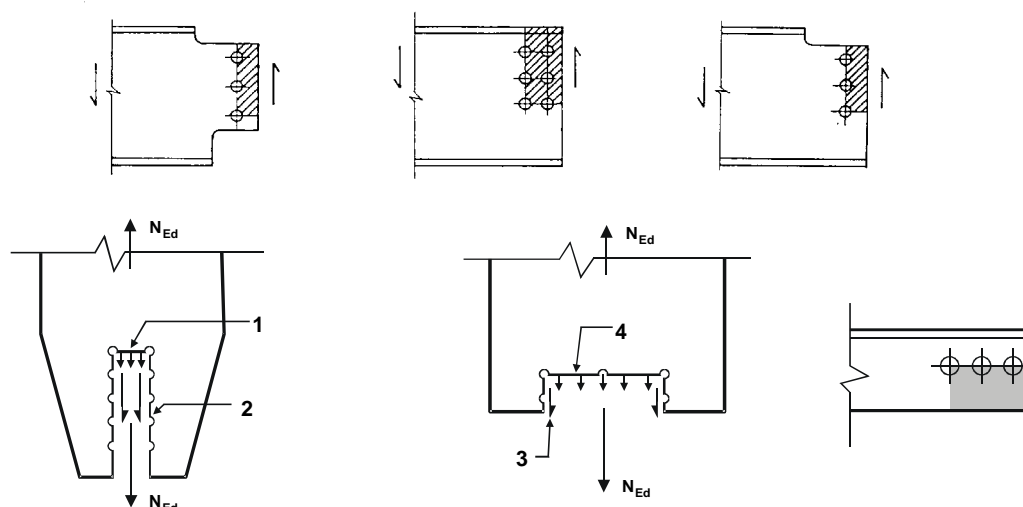
em que:

A_{nt} área útil solicitada à tracção;

A_{nv} área útil solicitada ao corte.

(3) Para um grupo de parafusos sujeito a um carregamento excêntrico, o valor de cálculo da resistência ao destacamento do bloco, $V_{eff,2,Rd}$, é obtido por:

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1 / \sqrt{3}) f_y A_{nv} / \gamma_{M0} \quad (3.10)$$



Legenda:

- 1 esforço de tracção reduzido
- 2 esforço de corte elevado

- 3 esforço de corte reduzido
- 4 esforço de tracção elevado

Figura 3.8 – Destacamento do bloco

3.10.3 Cantoneiras traccionadas ligadas por uma aba e outros elementos traccionados ligados assimetricamente

(1) A excentricidade das ligações, ver 2.7(1), e os efeitos das distâncias entre eixos e das distâncias aos bordos dos parafusos, deverão ser tidos em conta na determinação do valor de cálculo da resistência:

– de elementos assimétricos;

– de elementos simétricos ligados assimetricamente, tais como as cantoneiras ligadas por uma aba.

(2) Uma cantoneira simples traccionada, ligada numa aba por uma única fiada de parafusos, ver a Figura 3.9, poderá ser considerada como estando solicitada por uma carga centrada ao longo de uma secção útil, e o valor de cálculo da resistência última da secção útil deverá ser determinado do seguinte modo:

com 1 parafuso:
$$N_{u,Rd} = \frac{2,0(e_2 - 0,5d_0)t f_u}{\gamma_{M2}} \quad (3.11)$$

com 2 parafusos:
$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (3.12)$$

com 3 ou mais parafusos:
$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (3.13)$$

em que:

β_2 e β_3 coeficientes de redução função da distância p_1 , como indicado no Quadro 3.8. Para valores intermédios de p_1 , o valor de β poderá ser determinado por interpolação linear;

A_{net} área da secção útil da cantoneira. Para uma cantoneira com abas desiguais ligada pela aba menor, deverá considerar-se que A_{net} é igual à área útil da secção de uma cantoneira equivalente de abas iguais com dimensões iguais às da aba menor.

Quadro 3.8 – Coeficientes de redução β_2 e β_3

Distância	p_1	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$
2 parafusos	β_2	0,4	0,7
3 parafusos ou mais	β_3	0,5	0,7

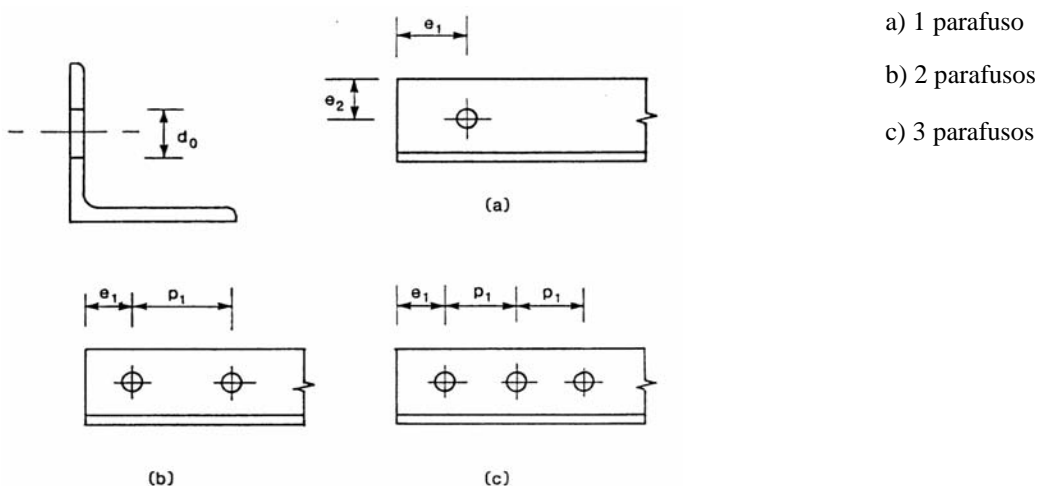


Figura 3.9 – Cantoneiras ligadas por uma aba

3.10.4 Cantoneiras de fixação

- (1) A cantoneira de fixação representada na Figura 3.10 liga cantoneiras e os seus parafusos ou rebites a um *gousset* ou a outra peça de apoio e deverá ser dimensionada para transmitir um esforço igual a 1,2 vezes o esforço aplicado na aba saliente (perpendicular à peça de apoio) da cantoneira ligada.
- (2) Os parafusos ou rebites que ligam a cantoneira de fixação à aba saliente da cantoneira ligada deverão ser dimensionados por forma a poderem transmitir um esforço axial igual ou superior a 1,4 vezes a parcela do esforço axial total suportada pela aba saliente da cantoneira ligada.
- (3) As cantoneiras de fixação de um perfil em U ou de um perfil semelhante deverão ser dimensionadas para transmitir um esforço igual a 1,1 vezes o esforço existente nos banzos do perfil aos quais estão ligadas.
- (4) Os parafusos ou rebites que ligam a cantoneira ao perfil em U ou a um perfil semelhante deverão ser dimensionados para transmitir um esforço igual a 1,2 vezes o esforço existente no banzo do perfil ao qual estão ligados.
- (5) Em nenhum caso deverão ser utilizados menos de dois parafusos ou rebites para ligar uma cantoneira de fixação a um *gousset* ou a outra peça de apoio.
- (6) A ligação de uma cantoneira de fixação a um *gousset* ou a outra peça de apoio deverá terminar na extremidade do elemento ligado. A ligação da cantoneira de fixação ao elemento deverá desenvolver-se desde a extremidade do elemento até uma secção para lá da ligação do elemento propriamente dito ao *gousset* ou a outra peça de apoio.

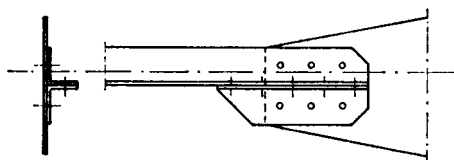


Figura 3.10 – Cantoneira de fixação

3.11 Forças de alavanca

- (1) As peças de ligação, nos casos em que têm que suportar esforços de tracção, deverão ser dimensionadas de modo a resistirem à força adicional resultante de um eventual efeito de alavanca.

NOTA: As regras de 6.2.4 têm implicitamente em conta o efeito de alavanca.

3.12 Distribuição dos esforços entre as peças de ligação para os estados limites últimos

- (1) Quando um momento é aplicado a uma junta, a distribuição de esforços poderá ser linear (isto é, proporcional à distância ao centro de rotação) ou plástica (isto é, qualquer distribuição que esteja em equilíbrio é aceitável desde que as resistências dos componentes não sejam excedidas e que a ductilidade dos componentes seja suficiente).
- (2) A distribuição elástica linear de esforços deverá ser aplicada nos casos seguintes:
 - quando se utiliza uma ligação aparafusada resistente ao escorregamento, da categoria C;
 - nas ligações solicitadas ao corte para as quais o valor de cálculo da resistência ao corte $F_{v,Rd}$ de um elemento de ligação é inferior ao valor de cálculo da resistência à pressão diametral $F_{b,Rd}$;
 - no caso em que as ligações estão sujeitas a impacto, a vibrações ou a inversão de esforços (à excepção das acções do vento).

(3) Quando uma junta é unicamente solicitada por um esforço de corte centrado, poderá admitir-se que o esforço é distribuído uniformemente entre as peças de ligação, desde que a dimensão e a classe destas peças sejam iguais.

3.13 Ligações com cavilhas

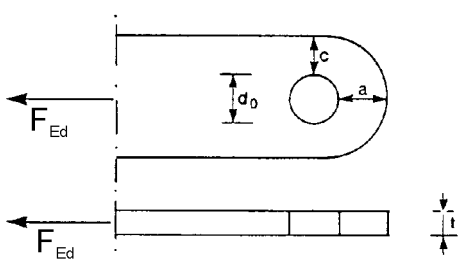
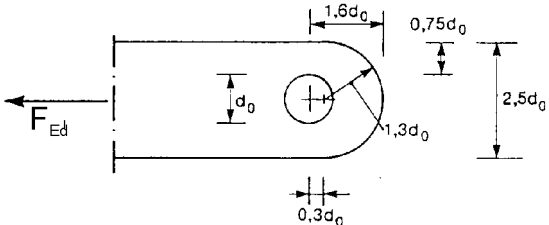
3.13.1 Generalidades

(1) As cavilhas deverão ser imobilizadas sempre que haja o risco de se soltarem.

(2) As ligações com cavilhas para as quais não é requerida qualquer capacidade de rotação poderão ser calculadas como ligações de um único parafuso, desde que o comprimento da cavilha seja inferior a 3 vezes o seu diâmetro, ver 3.6.1. Para todos os outros casos, deverá adoptar-se o método indicado em 3.13.2.

(3) Nos elementos ligados com cavilhas, a geometria do elemento não reforçado que contém a furação destinada à cavilha deverá satisfazer os requisitos dimensionais indicados no Quadro 3.9.

Quadro 3.9 – Requisitos geométricos para elementos com extremidades ligadas por cavilhas

<p>Tipo A: Espessura dada t</p>  $a \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{2d_0}{3} \quad : \quad c \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{d_0}{3}$
<p>Tipo B: Geometria dada</p>  $t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y}} \quad : \quad d_0 \leq 2,5t$

(4) Os elementos ligados por cavilhas deverão ser dispostos de modo a evitar qualquer excentricidade, e as suas dimensões deverão ser suficientes para assegurar a transferência dos esforços entre a secção do furo e as secções afastadas dela.

3.13.2 Cálculo das cavilhas

(1) As regras de dimensionamento para as cavilhas maciças de secção circular estão indicadas no Quadro 3.10.

(2) Os momentos numa cavilha deverão ser calculados admitindo a hipótese de as peças ligadas constituírem apoios simples. Em geral, deverá admitir-se que as reacções entre a cavilha e as peças ligadas são uniformemente distribuídas em cada peça ao longo do comprimento em contacto, tal como representado na Figura 3.11.

(3) Caso se pretenda que a mesma cavilha venha a ser montada mais do que uma vez (cavilha amovível), além do disposto em 3.13.1 a 3.13.2, a pressão diametral de contacto deverá satisfazer:

$$\sigma_{h,Ed} \leq f_{h,Rd} \quad (3.14)$$

em que:

$$\sigma_{h,Ed} = 0,591 \sqrt{\frac{E F_{b,Ed,ser} (d_0 - d)}{d^2 t}} \quad (3.15)$$

$$f_{h,Rd} = 2,5 f_y / \gamma_{M6,ser} \quad (3.16)$$

em que:

d diâmetro da cavilha;

d_0 diâmetro do furo da cavilha;

$F_{b,Ed,ser}$ valor de cálculo do esforço a transmitir em pressão diametral, na combinação característica de acções relativa aos estados limites de utilização.

Quadro 3.10 – Critérios de dimensionamento para ligações com cavilhas

Modo de rotura	Requisitos de dimensionamento
Resistência ao corte da cavilha	$F_{v,Rd} = 0,6 A f_{up} / \gamma_{M2} \geq F_{v,Ed}$
Resistência ao esmagamento da chapa e da cavilha No caso da cavilha ser amovível, este requisito deverá ser igualmente satisfeito.	$F_{b,Rd} = 1,5 t d f_y / \gamma_{M0} \geq F_{b,Ed}$ $F_{b,Rd,ser} = 0,6 t d f_y / \gamma_{M6,ser} \geq F_{b,Ed,ser}$
Resistência à flexão da cavilha No caso da cavilha ser amovível, este requisito deverá ser igualmente satisfeito.	$M_{Rd} = 1,5 W_{el} f_{yp} / \gamma_{M0} \geq M_{Ed}$ $M_{Rd,ser} = 0,8 W_{el} f_{yp} / \gamma_{M6,ser} \geq M_{Ed,ser}$
Resistência da cavilha a uma combinação de esforço de corte com flexão	$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$
d diâmetro da cavilha; f_y menor dos valores das tensões de cedência da cavilha e da peça ligada; f_{up} tensão de rotura à tracção da cavilha; f_{yp} tensão de cedência da cavilha; t espessura da peça ligada; A área da secção transversal da cavilha.	

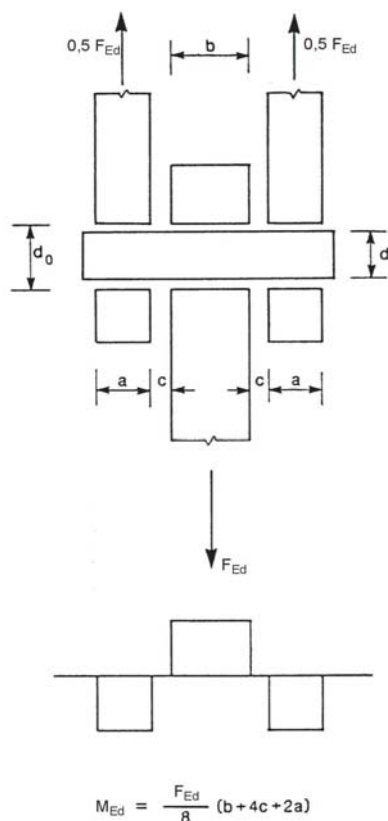


Figura 3.11 – Momento flector numa cavilha

4 Ligações soldadas

4.1 Generalidades

(1) O disposto nesta secção aplica-se a aços de construção soldáveis que respeitem a EN 1993-1-1 e a espessuras de material iguais ou superiores a 4 mm. Aplica-se, também, às ligações nas quais as propriedades mecânicas do metal de adição são compatíveis com as do metal base, ver 4.2.

No caso de soldaduras num material de menor espessura, deverá fazer-se referência à EN 1993-1-3 e para soldaduras em perfis tubulares estruturais com espessuras iguais ou superiores a 2,5 mm são fornecidas recomendações na secção 7 da presente Norma.

Para a soldadura de pernos, deverá fazer-se referência à EN 1994-1-1.

NOTA: Nas normas EN ISO 14555 e EN ISO 13918 estão indicadas recomendações adicionais sobre a soldadura de pernos.

(2) P As soldaduras sujeitas a fadiga devem também satisfazer os princípios estabelecidos na EN 1993-1-9.

(3) Salvo especificação em contrário, é, em geral, necessário o nível de qualidade C de acordo com a EN ISO 25817. A frequência de inspecção das soldaduras deverá ser especificada de acordo com as regras de 1.2.7 - Normas de referência, Grupo 7. O nível de qualidade das soldaduras deverá ser escolhido de acordo com a EN ISO 25817. Para o nível de qualidade das soldaduras utilizadas nas estruturas sujeitas à fadiga, ver a EN 1993-1-9.

(4) O arranque lamelar deverá ser evitado.

(5) Na EN 1993-1-10 são fornecidas indicações relativamente ao arranque lamelar.

4.2 Consumíveis para soldadura

(1) Todos os produtos para soldadura deverão obedecer às normas aplicáveis especificadas em 1.2.5 - Normas de referência, Grupo 5.

(2) Os valores especificados para a tensão de cedência, para a tensão de rotura à tracção, para a extensão na rotura e para a energia mínima obtida no ensaio de flexão por choque sobre provete de Charpy, todos referentes ao metal de adição, deverão ser equivalentes ou superiores aos valores especificados para o material base.

NOTA: Em geral, é seguro utilizar eléctrodos de classe superior à dos aços ligados.

4.3 Geometria e dimensões

4.3.1 Tipo de soldadura

(1) A presente Norma abrange o dimensionamento de soldaduras de ângulo, de soldaduras de ângulo em contornos de orifícios, de soldaduras de topo, de soldaduras de bujão e de soldaduras em bordos arredondados. As soldaduras de topo poderão ser com penetração total ou com penetração parcial. Tanto as soldaduras de ângulo em contornos de orifícios, como as soldaduras de bujão, poderão ser efectuadas em furos circulares ou em furos alongados.

(2) Os tipos mais comuns de juntas e soldaduras estão ilustrados na EN 12345.

4.3.2 Soldaduras de ângulo

4.3.2.1 Generalidades

(1) Poderão utilizar-se soldaduras de ângulo para a ligação de peças quando as superfícies de fusão formam entre si um ângulo compreendido entre 60° e 120°.

(2) Também são permitidos ângulos inferiores a 60°. No entanto, neste caso deverá considerar-se que a soldadura é uma soldadura de topo com penetração parcial.

(3) Para ângulos superiores a 120°, a resistência das soldaduras de ângulo deverá ser determinada por meio de ensaios de acordo com a EN 1990, Anexo D: Dimensionamento com apoio experimental.

(4) As soldaduras de ângulo que atingem as extremidades ou as faces laterais de uma peça deverão contornar o ângulo, prolongando-se, sem redução de secção numa extensão igual a pelo menos o dobro da dimensão do cateto do cordão de ângulo, a não ser que o acesso ou a configuração da junta torne este procedimento impraticável.

NOTA: No caso de soldaduras descontínuas, esta regra aplica-se unicamente ao último cordão descontínuo junto ao bordo.

(5) Estes prolongamentos de contorno deverão ser indicados nos desenhos.

(6) Para os casos em que se verifique excentricidade dos cordões de ângulo situados apenas num lado, ver 4.12.

4.3.2.2 Soldaduras de ângulo descontínuas

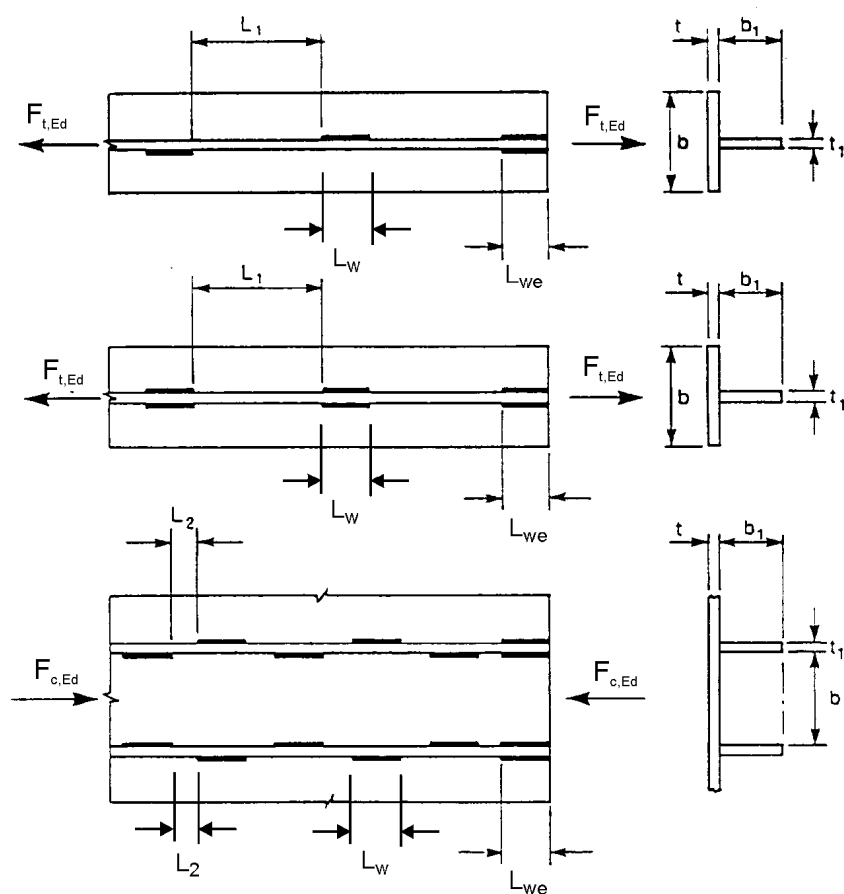
(1) Não deverão ser utilizadas soldaduras de ângulo descontínuas em ambientes corrosivos.

(2) Numa soldadura de ângulo descontínua, os afastamentos (L_1 ou L_2) entre as extremidades de cada comprimento de cordão, L_w , deverão satisfazer as condições da Figura 4.1.

(3) Numa soldadura de ângulo descontínua, o afastamento (L_1 ou L_2) deverá ser considerado igual ao menor dos valores da distância entre as extremidades dos cordões em faces opostas e da distância entre as extremidades dos cordões na mesma face.

(4) Em qualquer alinhamento de uma soldadura de ângulo descontínua deverá haver sempre uma extensão contínua de soldadura em cada extremidade da peça ligada.

(5) Num elemento composto em que as chapas estão ligadas por meio de soldaduras de ângulo descontínuas, deverá executar-se, em cada um dos lados da chapa e em cada extremidade, um cordão de soldadura contínuo com um comprimento igual a pelo menos três quartos da largura da chapa ligada mais estreita (ver a Figura 4.1).



$$L_{we} \geq \text{menor dos valores } (0,75 b ; 0,75 b_1)$$

Para elementos compostos tracionados:

$$L_1 \leq \text{menor dos valores } (16 t ; 16 t_1 ; 200 \text{ mm})$$

Para elementos compostos comprimidos ou solicitados ao corte:

$$L_2 \leq \text{menor dos valores } (12 t ; 12 t_1 ; 0,25 b ; 200 \text{ mm})$$

Figura 4.1 – Soldaduras de ângulo descontínuas

4.3.3 Soldaduras de ângulo em todo o contorno de orifícios

(1) As soldaduras de ângulo em contornos de orifícios constituídas por cordões de ângulos depositados na periferia de furos circulares ou alongados, só poderão ser utilizadas para transmitir esforço de corte ou para impedir o enfunamento ou a separação das peças sobrepostas.

(2) O diâmetro de um furo circular ou a largura de um furo alongado onde seja aplicada a soldadura de ângulo não deverá ser inferior a quatro vezes a espessura da peça furada.

(3) As extremidades dos furos alongados deverão ser semicirculares, excepto quando elas se prolongam até ao bordo da peça considerada.

(4) A distância entre os centros dos cordões de soldaduras de ângulo aplicados em contornos de orifícios não deverá exceder o valor necessário para evitar a encurvatura local das chapas, ver o Quadro 3.3.

4.3.4 Soldaduras de topo

(1) Uma soldadura de topo com penetração total é definida como sendo uma soldadura na qual se verifica uma penetração e uma fusão completas do metal de adição e do metal base na totalidade da espessura da junta.

(2) Uma soldadura de topo com penetração parcial é definida como sendo uma soldadura na qual a penetração na junta é inferior à totalidade da espessura do metal base.

(3) Não deverão ser utilizadas soldaduras de topo descontínuas.

(4) Para os casos em que exista excentricidade dos cordões de topo com penetração parcial num só lado, ver 4.12.

4.3.5 Soldaduras de bujão

(1) As soldaduras de bujão poderão ser utilizadas para:

- transmitir um esforço de corte;
- impedir o enfunamento ou a separação de peças sobrepostas; e
- ligar entre si os componentes de elementos compostos;

mas não deverão ser utilizadas para resistir a um esforço exterior de tracção.

(2) O diâmetro de um furo circular ou a largura de um furo alongado para uma soldadura de bujão deverá ter pelo menos mais 8 mm do que a espessura da peça furada.

(3) As extremidades dos furos alongados deverão ser semicirculares ou então deverão ter os cantos arredondados com raio não inferior à espessura da peça furada, excepto se as extremidades se prolongarem até ao bordo da peça considerada.

(4) A espessura da soldadura de bujão, aplicada numa peça de espessura inferior ou igual a 16 mm, deverá ser igual à espessura dessa peça. A espessura de uma soldadura de bujão em material base de espessura superior a 16 mm deverá ser igual ou superior a metade da espessura desse material, mas não inferior a 16 mm.

(5) A distância entre centros dos cordões de soldadura de bujão não deverá exceder o valor necessário para evitar a encurvadura local, ver o Quadro 3.3.

4.3.6 Soldaduras em contornos arredondados

(1) Para varões, o valor de cálculo da espessura efectiva do cordão de soldadura aplicado no contorno arredondado, quando perfeitamente ajustado à superfície do varão, está definido na Figura 4.2. A definição do valor de cálculo da espessura do cordão de soldadura aplicado no canto arredondado de um perfil tubular rectangular está expressa em 7.3.1(7).

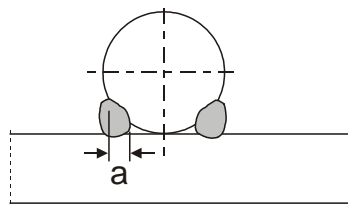


Figura 4.2 – Espessura efectiva do cordão de soldadura aplicado no contorno de um varão

4.4 Soldaduras com forras

- (1) No caso de soldaduras com forras, estas deverão ser cortadas à face com o bordo da peça que vai ser soldada para ficarem complanares com o bordo dessa peça.
- (2) No caso em que duas peças ligadas por soldadura são separadas por forras de espessura inferior à dimensão do cateto do cordão de ângulo necessário para transmitir o esforço, essa dimensão deverá ser aumentada da espessura da forra.
- (3) No caso em que duas peças ligadas por soldadura são separadas por forras de espessura igual ou superior à dimensão do cateto do cordão de ângulo necessário para transmitir o esforço, cada uma das duas peças deverá ser ligada à forra por uma soldadura capaz de transmitir o esforço de cálculo.

4.5 Valor de cálculo da resistência de um cordão de ângulo

4.5.1 Comprimento do cordão

- (1) O comprimento efectivo l_{eff} do cordão de ângulo deverá ser considerado igual ao comprimento em que o cordão tem a sua secção completa. Este comprimento poderá ser considerado igual ao comprimento total da soldadura reduzido do dobro da espessura útil, a . Desde que a espessura do cordão se mantenha constante ao longo de todo o seu comprimento, incluindo nas suas extremidades, não é necessário efectuar uma redução do comprimento efectivo quer no início quer no fim da soldadura.
- (2) Tratando-se de uma soldadura dimensionada para transmitir esforços, ela não deverá ter um comprimento efectivo inferior a 30 mm ou a 6 vezes a sua espessura, considerando-se o maior destes valores.

4.5.2 Espessura efectiva

- (1) A espessura efectiva, a , de um cordão de ângulo deverá ser considerada igual à altura do maior triângulo (com lados iguais ou desiguais) que pode ser inscrito no espaço limitado pelas faces a soldar e pela superfície da soldadura, medida perpendicularmente ao lado exterior desse triângulo, ver a Figura 4.3.
- (2) A espessura efectiva de um cordão de ângulo não deverá ser inferior a 3 mm.
- (3) Na determinação do valor de cálculo da resistência de um cordão de soldadura de ângulo com elevada penetração poderá ter-se em conta o acréscimo da espessura do cordão, ver a Figura 4.4, desde que se demonstre por meio de ensaios preliminares que a penetração pretendida pode ser consistentemente obtida.

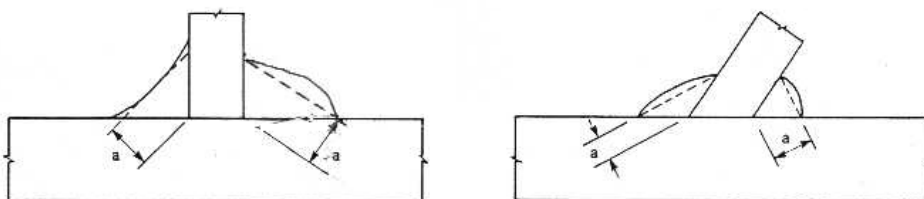


Figura 4.3 – Espessura de um cordão de ângulo

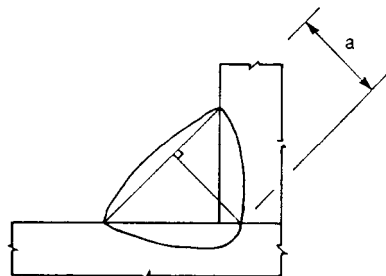


Figura 4.4 – Espessura de um cordão de soldadura com elevada penetração

4.5.3 Valor de cálculo da resistência de um cordão de ângulo

4.5.3.1 Generalidades

(1) O valor de cálculo da resistência de um cordão de ângulo deverá ser determinado ou pelo método direccional de 4.5.3.2 ou pelo método simplificado de 4.5.3.3.

4.5.3.2 Método direccional

(1) Neste método, os esforços transmitidos por unidade de comprimento da soldadura são decompostos em componentes paralelas e transversais ao eixo longitudinal da soldadura e, posteriormente, nos componentes perpendiculares e transversais ao plano que define a espessura do cordão.

(2) O valor de cálculo da área efectiva do cordão, A_w , deverá ser considerado igual a $A_w = \sum a \ell_{\text{eff}}$.

(3) Para efeito do cálculo deverá admitir-se que a área efectiva do cordão está concentrada na sua raiz.

(4) Admite-se uma distribuição uniforme de tensões na espessura do cordão de soldadura, o que conduz às tensões normais e às tensões de corte representadas na Figura 4.5, com as designações seguintes:

- σ_{\perp} tensão normal perpendicular à espessura;
- σ_{\parallel} tensão normal paralela ao eixo da soldadura;
- τ_{\perp} tensão tangencial (no plano da espessura) perpendicular ao eixo da soldadura;
- τ_{\parallel} tensão tangencial (no plano da espessura) paralela ao eixo da soldadura.

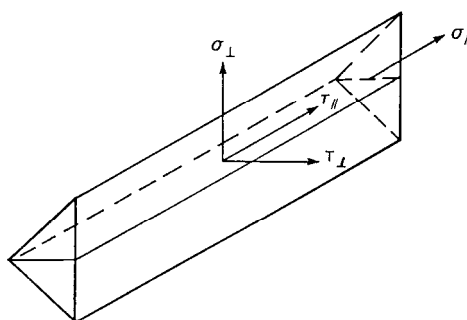


Figure 4.5 – Tensões no plano que define um cordão de ângulo

(5) Para determinação do valor de cálculo da resistência da soldadura não é tida em conta a tensão normal σ_{\parallel} paralela ao eixo da soldadura.

(6) Considera-se que o valor de cálculo da resistência do cordão de ângulo é suficiente se forem satisfeitas as duas condições seguintes:

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad \text{e} \quad \sigma_{\perp} \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2} \quad (4.1)$$

em que:

f_u valor nominal da tensão de rotura à tracção da peça ligada mais fraca;

β_w factor de correlação apropriado obtido do Quadro 4.1.

(7) As soldaduras entre peças de diferentes classes de resistência deverão ser calculadas adoptando as propriedades da classe de resistência mais baixa.

Quadro 4.1 – Factor de correlação β_w para soldaduras de ângulo

Norma e classe de aço			Factor de correlação β_w
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

4.5.3.3 Método simplificado para o cálculo da resistência de um cordão de ângulo

(1) Em alternativa a 4.5.3.2, poderá considerar-se adequado o valor de cálculo da resistência de um cordão de ângulo se, em qualquer das suas secções transversais, a resultante de todos os esforços por unidade de comprimento transmitidos pela soldadura satisfaz o seguinte critério:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad (4.2)$$

em que:

$F_{w,Ed}$ valor de cálculo do esforço actuante na soldadura por unidade de comprimento;

$F_{w,Rd}$ valor de cálculo da resistência da soldadura por unidade de comprimento.

(2) Independentemente da orientação do plano que define a espessura da soldadura em relação ao esforço aplicado, o valor de cálculo da resistência por unidade de comprimento $F_{w,Rd}$ deverá ser determinado com base em:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a \quad (4.3)$$

em que:

$f_{vw,d}$ valor de cálculo da resistência ao corte da soldadura.

(3) O valor de cálculo da resistência ao corte $f_{vw,d}$ da soldadura deverá ser determinado a partir de:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (4.4)$$

em que:

f_u e β_w definidos em 4.5.3.2(6).

4.6 Valor de cálculo da resistência das soldaduras de ângulo em contornos de orifícios

(1) O valor de cálculo da resistência de uma soldadura de ângulo aplicada em todo o contorno de um orifício deverá ser determinado através de um dos métodos indicados em 4.5.

4.7 Valor de cálculo da resistência das soldaduras de topo

4.7.1 Soldaduras de topo com penetração total

(1) O valor de cálculo da resistência de uma soldadura de topo com penetração total deverá ser considerado igual ao valor de cálculo da resistência da peça ligada mais fraca, desde que a soldadura seja executada com consumíveis adequados que possam produzir provetes de ensaio da soldadura que tenham, tanto a tensão de cedência como a tensão de rotura mínimas, pelo menos iguais às especificadas para o metal base.

4.7.2 Soldaduras de topo com penetração parcial

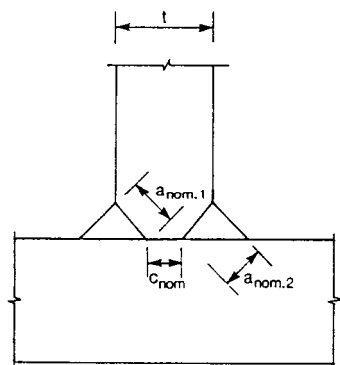
(1) O valor de cálculo da resistência de uma soldadura de topo com penetração parcial deverá ser determinado utilizando o método indicado em 4.5.2(3) para um cordão de ângulo com elevada penetração.

(2) A espessura de uma soldadura de topo com penetração parcial não deverá ser superior à profundidade da penetração susceptível de ser obtida de modo consistente, ver 4.5.2(3).

4.7.3 Junta de topo em T

(1) O valor de cálculo da resistência de uma junta de topo em T, constituída por duas soldaduras de topo de penetração parcial reforçadas por cordões de ângulo, poderá ser determinado como se tratasse de uma soldadura de topo com penetração total (ver 4.7.1) desde que a espessura nominal total dos cordões, excluindo o afastamento não soldado, não seja inferior à espessura t da parte que constitui a haste da ligação em T, e na condição de o afastamento não soldado não ter largura superior ao menor dos valores ($t / 5$) ou 3 mm, ver a Figura 4.6.

(2) O valor de cálculo da resistência de uma soldadura de topo em T que não satisfaz os requisitos de 4.7.3(1) deverá ser determinado utilizando o método indicado em 4.5 para uma soldadura de ângulo ou para uma soldadura com elevada penetração, conforme a profundidade da penetração. A espessura do cordão deverá ser determinada de acordo com as disposições fornecidas para os cordões de ângulo (ver 4.5.2) ou para as soldaduras de topo com penetração parcial (ver 4.7.2), consoante o caso.



$$a_{\text{nom},1} + a_{\text{nom},2} \geq t$$

c_{nom} deverá ser o menor dos valores entre $t/5$ e 3 mm

Figura 4.6 – Penetração total efectiva de soldaduras de topo em T

4.8 Valor de cálculo da resistência de soldaduras de bujão

(1) O valor de cálculo da resistência $F_{w,Rd}$ de uma soldadura de bujão (ver 4.3.3) deverá ser considerado igual a:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} A_w \quad (4.5)$$

em que:

$f_{vw,d}$ valor de cálculo da resistência ao corte de uma soldadura, indicado em 4.5.3.3(3);

A_w valor de cálculo da área efectiva do cordão que deverá ser considerado igual à área do furo.

4.9 Distribuição das forças

(1) A distribuição das forças numa ligação soldada poderá ser calculada assumindo um comportamento elástico ou um comportamento plástico em conformidade com as disposições expressas em 2.4 e 2.5.

(2) É aceitável assumir uma distribuição simplificada dos esforços nas soldaduras.

(3) Ao verificar a resistência de uma soldadura não é necessário considerar as tensões residuais nem as tensões não relacionadas com a transmissão dos esforços. Esta disposição aplica-se especificamente à tensão normal paralela ao eixo da soldadura.

(4) As ligações soldadas deverão ser dimensionadas de modo a terem uma adequada capacidade de deformação. No entanto, não se deverá ter em conta a ductilidade das soldaduras.

(5) Nas juntas em que se poderão vir a formar rótulas plásticas, as soldaduras deverão ser calculadas de modo a terem uma resistência de cálculo pelo menos igual à da peça ligada mais fraca.

(6) Em outras juntas, para as quais seja requerida uma determinada capacidade de deformação, devido à possibilidade de ocorrerem alongamentos excessivos, as soldaduras deverão ter uma resistência suficiente para que não atinjam a rotura antes de a plastificação do material de base se estender à totalidade das secções adjacentes.

(7) Se o valor de cálculo da resistência de uma soldadura descontínua é determinado a partir do comprimento total ℓ_{tot} , o esforço de corte exercido na soldadura por unidade de comprimento $F_{w,Ed}$ deverá ser multiplicado pelo factor $(e+\ell)/\ell$, ver a Figura 4.7.

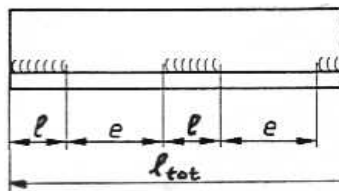


Figura 4.7 – Cálculo dos esforços exercidos nas soldaduras descontínuas

4.10 Ligações a banzos não reforçados

(1) No caso em que uma chapa (ou o banzo de uma viga) é soldada a um banzo não reforçado de uma secção em I, H ou outra, ver a Figura 4.8, e desde que seja satisfeito o critério indicado em 4.10(3), a força aplicada perpendicularmente ao banzo não reforçado não deverá exceder qualquer dos valores de cálculo da resistência a seguir indicados:

- o da alma do elemento em I ou em H onde é soldada, tal como expresso em 6.2.6.2 ou 6.2.6.3 consoante o caso;
- o de uma chapa transversal soldada num perfil RHS, indicado no Quadro 7.13;
- o do banzo onde é soldada, indicado na expressão (6.20) em 6.2.6.4.3(1), calculado admitindo que a força aplicada está distribuída numa largura efectiva do banzo, b_{eff} , expressa ou em 4.10(2) ou em 4.10(4), consoante o caso.

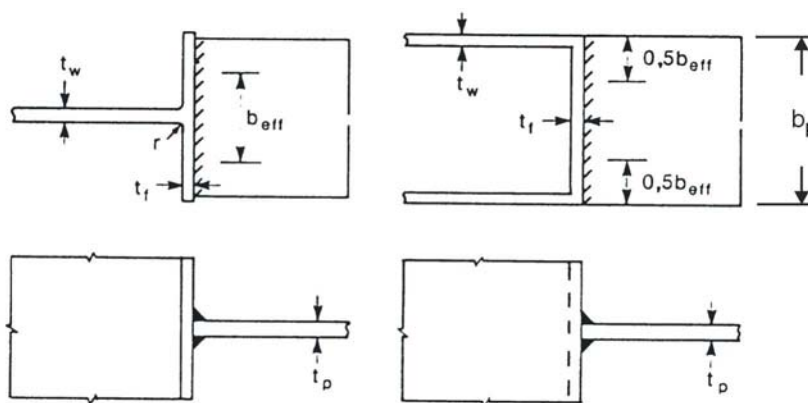


Figura 4.8 – Largura efectiva de uma ligação em T não reforçada

(2) Para um perfil em I ou em H não reforçado, a largura efectiva b_{eff} deverá ser obtida a partir de:

$$b_{eff} = t_w + 2s + 7k t_f \quad (4.6a)$$

em que:

$$k = (t_f / t_p) (f_{y,f} / f_{y,p}) \text{ mas } k \leq 1; \quad (4.6b)$$

$f_{y,f}$ tensão de cedência do banzo de um perfil em I ou em H;

$f_{y,p}$ tensão de cedência da chapa soldada de um perfil em I ou em H.

A dimensão s deverá ser obtida a partir de:

- para um perfil em I ou em H laminado: $s = r$ (4.6c)

– para uma peça de secção em I ou em H, soldada: $s = \sqrt{2} a$ (4.6d)

(3) Para um banzo não reforçado de um perfil em I ou H, deverá ser satisfeito o seguinte critério:

$$b_{\text{eff}} \geq (f_{y,p} / f_{u,p}) b_p \quad (4.7)$$

em que:

$f_{u,p}$ resistência última da chapa soldada ao perfil em I ou H;

b_p largura da chapa soldada ao perfil em I ou H.

Caso contrário, a junta deverá ser reforçada.

(4) No caso de outras peças, com secções em caixão ou perfis em U, em que a largura da chapa ligada é semelhante à largura do banzo, a largura efectiva b_{eff} deverá ser obtida a partir de:

$$b_{\text{eff}} = 2t_w + 5t_f \text{ mas } b_{\text{eff}} \leq 2t_w + 5k t_f \quad (4.8)$$

NOTA: Para perfis tubulares, ver o Quadro 7.13.

(5) Mesmo se $b_{\text{eff}} \leq b_p$, as soldaduras que ligam a chapa ao banzo têm de ser calculadas de modo a resistir a um esforço igual ao valor de cálculo da resistência da chapa, $b_p t_p f_{y,p} / \gamma_{M0}$, considerando uma distribuição uniforme de tensões.

4.11 Ligações compridas

(1) Nas ligações por sobreposição, a resistência de cálculo de um cordão de ângulo deverá ser multiplicada por um coeficiente de redução β_{Lw} , destinado a ter em conta os efeitos da distribuição não uniforme de tensões ao longo do seu comprimento.

(2) O disposto em 4.11 não se aplica quando a distribuição de tensões ao longo do cordão corresponde à distribuição de tensões no metal de base adjacente como, por exemplo, no caso de uma soldadura que liga o banzo e a alma de uma viga de alma cheia.

(3) Nas ligações por sobreposição de comprimento superior a $150a$, o coeficiente de redução β_{Lw} deverá ser considerado igual a $\beta_{Lw,1}$ obtido por:

$$\beta_{Lw,1} = 1,2 - 0,2L_j / (150a) \text{ mas } \beta_{Lw,1} \leq 1,0 \quad (4.9)$$

em que:

L_j comprimento total da sobreposição na direcção de transmissão dos esforços.

(4) No caso de cordões de soldadura com um comprimento superior a 1,7 m, utilizados para ligação dos reforços transversais em elementos formados por chapas, o coeficiente de redução β_{Lw} poderá ser considerado igual a $\beta_{Lw,2}$ obtido por:

$$\beta_{Lw,2} = 1,1 - L_w / 17 \text{ mas } \beta_{Lw,2} \leq 1,0 \text{ e } \beta_{Lw,2} \geq 0,6 \quad (4.10)$$

em que:

L_w comprimento da soldadura (em metros).

4.12 Soldaduras de ângulo em cordão único ou soldaduras de topo com penetração parcial executadas num só lado, solicitadas por forças excêntricas

(1) Sempre que possível, deverão ser evitadas as excentricidades locais.

(2) A excentricidade local (em relação à linha de acção do esforço aplicado) deverá ser tida em conta nos seguintes casos:

- sempre que um momento flector em relação ao eixo longitudinal da soldadura origina tracções na raiz do cordão, ver a Figura 4.9(a);
- sempre que um esforço de tracção transmitido perpendicularmente ao eixo longitudinal da soldadura produz um momento flector, do qual resulta um esforço de tracção na raiz do cordão, ver a Figura 4.9(b).

(3) Não é necessário ter em conta a excentricidade local se a soldadura fizer parte de um conjunto de soldaduras aplicadas no perímetro da secção de um perfil tubular.

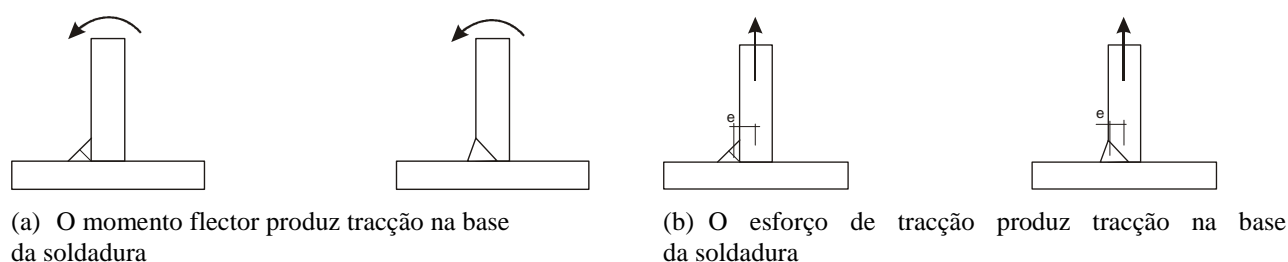


Figura 4.9 – Cordões de ângulo únicos e soldaduras de topo com penetração parcial num só lado

4.13 Cantoneiras ligadas por uma só aba

(1) Nas cantoneiras ligadas por uma só aba, poderá ter-se em conta os efeitos da excentricidade nas ligações soldadas com sobreposição das extremidades adoptando uma área efectiva da secção transversal e tratando, em seguida, o elemento como sendo uma peça com esforço axial centrado (nessa área efectiva da secção).

(2) No caso de uma cantoneira de abas iguais, ou de uma cantoneira de abas desiguais ligada pela aba maior, a área efectiva poderá ser considerada igual à área bruta.

(3) No caso de uma cantoneira de abas desiguais ligada pela aba mais pequena, para a determinação da resistência de cálculo da secção transversal, a área efectiva a considerar deverá ser igual à área bruta da secção transversal de uma cantoneira equivalente de abas iguais em que ambas as abas têm dimensões iguais às da aba mais pequena, ver a EN 1993-1-1. No entanto, para a determinação do valor de cálculo da resistência à encurvadura de uma cantoneira comprimida, ver a EN 1993-1-1, deverá utilizar-se a área da secção bruta real.

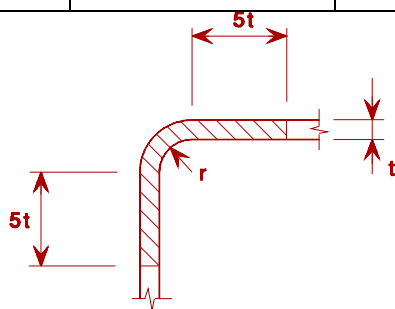
4.14 Soldadura em zonas enformadas a frio

(1) Poderá executar-se uma soldadura num comprimento igual a $5t$ para cada lado de uma zona enformada a frio, ver o Quadro 4.2, desde que seja satisfeita uma das seguintes condições:

- as zonas enformadas a frio serem normalizadas depois da enformagem a frio mas antes da soldadura;
- a relação r/t satisfaça a condição relevante indicada no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Condições para soldadura em zonas enformadas a frio e para o material adjacente

r/t	Extensão devida à enformagem a frio (%)	Espessura máxima (mm)		
		Em geral		Aço calado a alumínio (Al $\geq 0,02$ %)
		Acções estáticas predominantes	Fadiga predominante	
≥ 25	≤ 2	qualquer	qualquer	qualquer
≥ 10	≤ 5	qualquer	16	qualquer
$\geq 3,0$	≤ 14	24	12	24
$\geq 2,0$	≤ 20	12	10	12
$\geq 1,5$	≤ 25	8	8	10
$\geq 1,0$	≤ 33	4	4	6



NOTA: As secções tubulares enformadas a frio de acordo com a EN 10219, caso não satisfaçam os limites indicados no Quadro 4.2 podem ser consideradas como satisfazendo esses limites se a sua espessura não exceder 12,5 mm e se forem constituídas por aço calado a alumínio de qualidade J2H, K2H, MH, MLH, NH ou NLH, cumprindo ainda os valores limites $C \leq 0,18$ %, $P \leq 0,020$ % e $S \leq 0,012$ %.

Para os outros casos, a soldadura é permitida numa distância inferior a 5t a partir dos cantos, caso possa ser demonstrado por ensaios que a soldadura é adequada para essa aplicação em particular.

5 Análise, classificação e modelação

5.1 Análise global

5.1.1 Generalidades

(1) Os efeitos do comportamento das juntas na distribuição dos esforços numa estrutura e nas deformações globais da estrutura deverão, em geral, ser tidos em conta, mas poderão ser desprezados quando são suficientemente reduzidos.

(2) Para avaliar se é necessário ter em conta, na análise, os efeitos do comportamento das juntas, poderá fazer-se a seguinte distinção entre três modelos simplificados de juntas:

- articulada, quando se poderá considerar que a junta não transmite momentos flectores;
- contínua, quando se poderá admitir que o comportamento da junta não tem qualquer efeito na análise;
- semicontínua, para as quais o comportamento da junta tem de ser tomado em consideração na análise estrutural.

(3) O tipo de modelo da junta apropriado para cada caso deverá ser determinado com base no Quadro 5.1, em função da classificação da junta e do método de análise escolhido.

(4) A relação momento-rotação de cálculo característica de uma junta, a utilizar na análise, poderá ser simplificada adoptando-se qualquer curva apropriada, incluindo uma aproximação linear (por exemplo, bilinear ou trilinear), desde que essa curva simplificada se situe totalmente sob a curva da relação momento-rotação de cálculo característica.

Quadro 5.1 – Tipos de modelos de junta

Método de análise global	Classificação da junta		
Elástica	Nominalmente articulada	Rígida	Semi-rígida
Rígido-plástica	Nominalmente articulada	Resistência total	Resistência parcial
Elasto-plástica	Nominalmente articulada	Rígida e resistência total	Semi-rígida e resistência parcial Semi-rígida e resistência total Rígida e resistência parcial
Tipo de modelo da junta	Articulada	Contínua	Semicontínua

5.1.2 Análise global elástica

(1) As juntas deverão ser classificadas em função da sua rigidez de rotação, ver 5.2.2.

(2) As juntas deverão ter resistência suficiente para transmitir os esforços actuantes que resultam da análise estrutural.

(3) No caso de uma junta semi-rígida, deverá, em geral, ser utilizada na análise a rigidez de rotação S_j correspondente ao momento flector $M_{j,Ed}$. Se $M_{j,Ed}$ não exceder $2/3 M_{j,Rd}$, poderá adoptar-se a rigidez de rotação inicial, $S_{j,ini}$, na análise global, ver a Figura 5.1(a).

(4) Como simplificação das disposições de 5.1.2(3) poderá, na análise, considerar-se a rigidez de rotação igual a $S_{j,ini}/\eta$, para todos os valores do momento $M_{j,Ed}$, tal como representado na Figura 5.1(b), em que η é o coeficiente de modificação da rigidez indicado no Quadro 5.2.

(5) Para as juntas de perfis em H ou em I, S_j toma o valor indicado em 6.3.1.

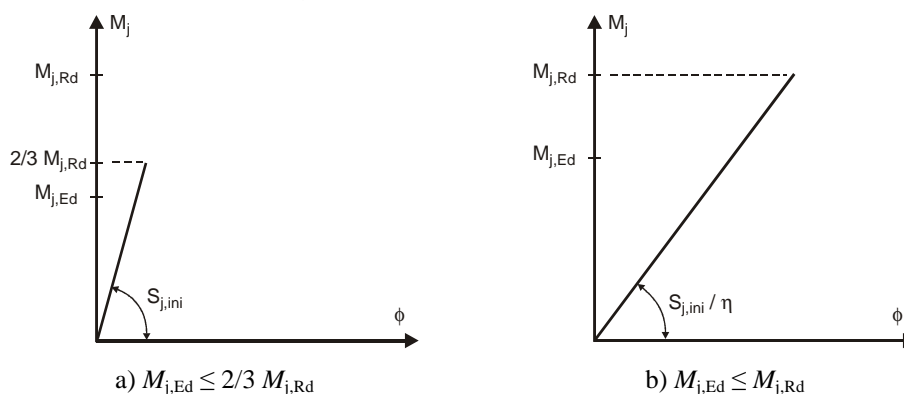


Figura 5.1 – Rigidez de rotação a utilizar na análise global elástica

Quadro 5.2 – Coeficiente de modificação da rigidez η

Tipo de ligação	Juntas viga-coluna	Outros tipos de junta (viga-viga, de continuidade de vigas, da base de colunas)
Soldada	2	3
Chapas de extremidade aparafusadas	2	3
Cantoneiras de apoio de banzo aparafusadas	2	3,5
Chapas de base	-	3

5.1.3 Análise global rígido-plástica

- (1) As juntas deverão ser classificadas em função da sua resistência, ver 5.2.3.
- (2) Para as juntas de perfis em H ou em I, $M_{j,Rd}$ toma o valor indicado em 6.2.
- (3) Para as juntas de perfis tubulares, poderá utilizar-se o método indicado na secção 7.
- (4) A capacidade de rotação de uma junta deverá ser suficiente para assegurar as rotações resultantes da análise estrutural.
- (5) Para as juntas de perfis em H ou em I, a capacidade de rotação deverá ser verificada de acordo com 6.4.

5.1.4 Análise global elasto-plástica

- (1) As juntas deverão ser classificadas em função da sua rigidez (ver 5.2.2) e da sua resistência (ver 5.2.3).
- (2) Para as juntas de perfis em H ou em I, o valor de $M_{j,Rd}$ está indicado em 6.2, o de S_j em 6.3.1 e o de ϕ_{Cd} em 6.4.
- (3) Para as juntas de perfis tubulares, poderá utilizar-se o método indicado na secção 7.
- (4) Para determinar a distribuição dos esforços deverá ser utilizada a relação momento-rotação característica de cada junta.
- (5) Como simplificação, poderá adoptar-se a relação de cálculo bilinear momento-rotação representada na Figura 5.2. O coeficiente de modificação da rigidez η deverá ser obtido do Quadro 5.2.

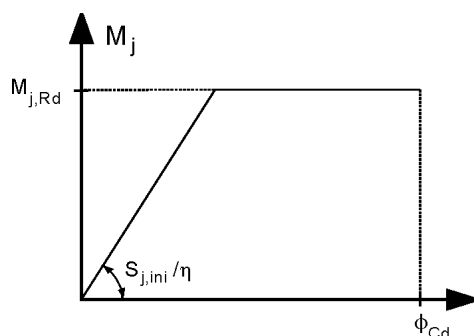


Figura 5.2 – Relação momento-rotação de cálculo bilinear simplificada

5.1.5 Análise global de vigas trianguladas

(1) As disposições de 5.1.5 aplicam-se apenas a estruturas cujas juntas são verificadas de acordo com a secção 7.

(2) A distribuição dos esforços axiais numa viga triangulada poderá ser determinada admitindo a hipótese de os elementos ligados terem juntas articuladas (ver também 2.7).

(3) Os momentos secundários ao nível das juntas, devidos à rigidez de rotação das juntas, poderão ser desprezados tanto no cálculo dos elementos como no das juntas, desde que as duas condições seguintes sejam satisfeitas:

- a geometria da juntas esteja no domínio de validade especificado nos Quadros 7.1, 7.8, 7.9 ou 7.20, conforme o caso;
- a relação entre o comprimento teórico e a altura do elemento no plano da viga triangulada não é inferior ao valor mínimo adequado. Para as estruturas de edifícios, poderá considerar-se que o valor mínimo adequado é igual a 6. Poderão aplicar-se valores superiores noutras Partes da EN 1993;
- a excentricidade está dentro dos limites especificados em 5.1.5(5).

(4) Os momentos devidos a cargas transversais (no plano ou fora do plano) aplicadas entre os nós da viga deverão ser considerados no dimensionamento dos elementos. Se forem satisfeitas as condições expressas em 5.1.5(3):

- os elementos diagonais poderão ser considerados como articulados nas cordas, pelo que não é necessário distribuir por eles os momentos resultantes de cargas transversais aplicadas às cordas e vice-versa;
- as cordas poderão ser consideradas como vigas contínuas, simplesmente apoiadas nos nós.

(5) Os momentos resultantes de excentricidades poderão ser desprezados no dimensionamento de cordas traccionadas e dos elementos diagonais. Poderão também ser desprezados no cálculo das juntas se as excentricidades estiverem dentro dos seguintes limites:

$$-0,55 d_0 \leq e \leq 0,25 d_0 \quad (5.1a)$$

$$-0,55 h_0 \leq e \leq 0,25 h_0 \quad (5.1b)$$

em que:

e excentricidade definida na Figura 5.3;

d_0 diâmetro da corda;

h_0 altura da corda, no plano da viga triangulada.

(6) Quando as excentricidades estão dentro dos limites indicados em 5.1.5(5), os momentos resultantes das excentricidades deverão ser tidos em conta no dimensionamento de cordas comprimidas. Neste caso, os momentos devidos à excentricidade deverão ser distribuídos entre as cordas comprimidas de cada lado da junta, em função dos seus coeficientes de rigidez relativa, I/L , em que L é o comprimento teórico do elemento, medido entre nós da viga.

(7) Quando as excentricidades estão fora dos limites indicados em 5.1.5(5), os momentos resultantes das excentricidades deverão ser tidos em conta no dimensionamento das juntas e dos elementos. Neste caso, os momentos devidos à excentricidade deverão ser distribuídos entre todos os elementos que convergem na junta, em função dos seus coeficientes de rigidez relativa, I/L .

(8) As tensões numa corda devidas aos momentos considerados no seu dimensionamento também deverão ser tidas em conta na determinação dos factores k_m , k_n e k_p utilizados no cálculo das juntas, ver os Quadros 7.2 a 7.5, 7.10 e 7.12 a 7.14.

(9) Os casos em que os momentos deverão ser tidos em consideração estão resumidos no Quadro 5.3.

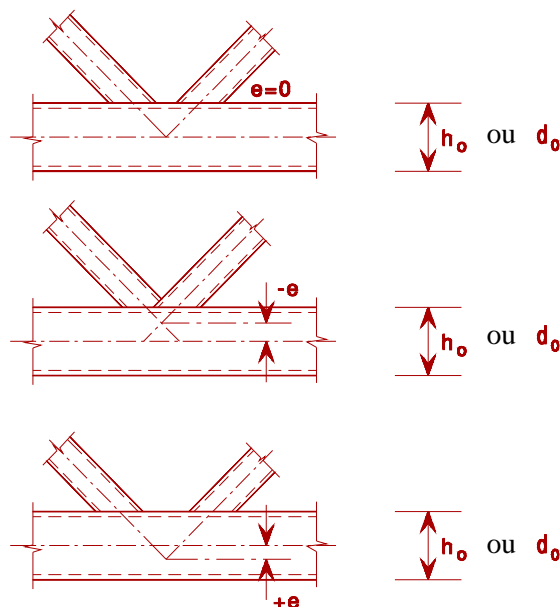


Figura 5.3 – Excentricidade das juntas

Quadro 5.3 – Consideração dos momentos flectores

Tipo de componente	Origem do momento flector		
	Efeitos secundários	Carregamento transversal	Excentricidade
Corda comprimida	Não, caso 5.1.5(3) seja satisfeito	Sim	Sim
Corda traccionada			Não, caso 5.1.5(3) e (5) sejam satisfeitos
Elemento diagonal			Não, caso 5.1.5(3) e (5) sejam satisfeitos
Junta			Não, caso 5.1.5(3) e (5) sejam satisfeitos

5.2 Classificação das juntas

5.2.1 Generalidades

(1) A pormenorização construtiva de qualquer junta deverá ser coerente com as hipóteses consideradas no método de análise adoptado, sem afectar de modo desfavorável qualquer outra parte da estrutura.

(2) As juntas poderão ser classificadas segundo a sua rigidez (ver 5.2.2) e segundo a sua resistência (ver 5.2.3).

NOTA: O Anexo Nacional poderá fornecer informações adicionais a 5.2.2.1(2) sobre a classificação das juntas de acordo com a sua rigidez e com a sua resistência.

5.2.2 Classificação segundo a rigidez

5.2.2.1 Generalidades

(1) Uma junta poderá ser classificada como rígida, nominalmente articulada ou semi-rígida em função da sua rigidez de rotação, através da comparação da sua rigidez de rotação inicial, $S_{j,ini}$, com os limites de classificação indicados em 5.2.2.5.

NOTA: As regras para a determinação de $S_{j,ini}$ para as juntas de perfis em H ou em I são estabelecidas em 6.3.1. Na presente Norma não são indicadas regras para a determinação de $S_{j,ini}$ em juntas de perfis tubulares.

(2) Uma junta poderá ser classificada com base em resultados experimentais, na experiência de aplicações anteriores em casos semelhantes com resultados ou através de cálculos baseados em resultados de ensaios.

5.2.2.2 Juntas nominalmente articuladas

(1) Uma junta nominalmente articulada deverá ser capaz de transmitir os esforços, sem a ocorrência de momentos significativos que possam afectar de modo desfavorável os elementos ou a estrutura no seu todo.

(2) Uma junta nominalmente articulada deverá ser capaz de sofrer as rotações resultantes das acções de cálculo.

5.2.2.3 Juntas rígidas

(1) Poderá considerar-se que uma junta que é classificada como rígida tem rigidez de rotação suficiente para justificar uma análise baseada na continuidade total.

5.2.2.4 Juntas semi-rígidas

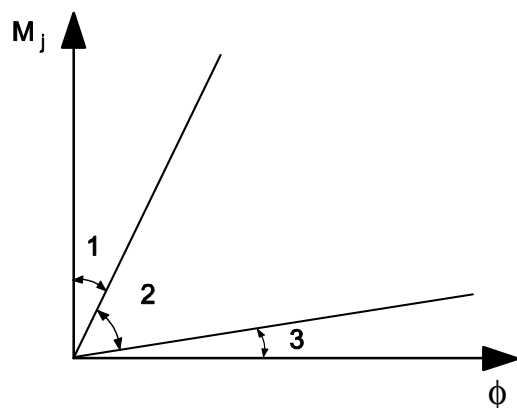
(1) Uma junta que não satisfaça as condições de uma junta rígida nem as de uma junta nominalmente articulada deverá ser classificada como junta semi-rígida.

NOTA: As juntas semi-rígidas asseguram uma interacção quantificável entre os elementos ligados, em conformidade com a relação momento-rotação de cálculo das juntas.

(2) As juntas semi-rígidas deverão ser capazes de transmitir os esforços aplicados.

5.2.2.5 Limites de classificação

(1) Os limites de classificação das juntas que não sejam bases de colunas estão indicados em 5.2.2.1(1) e na Figura 5.4.



Zona 1: rígida, se $S_{j,ini} \geq k_b EI_b / L_b$

em que:

$k_b = 8$ para pórticos em que o sistema de contraventamento reduz o deslocamento horizontal em pelo menos 80 %

$k_b = 25$ para outros pórticos, desde que em todos os pisos $K_b/K_c \geq 0,1$ ^{*)}

Zona 2: semi-rígida

Todas as juntas na zona 2 deverão ser classificadas como semi-rígidas. As juntas nas zonas 1 ou 3 poderão, também, facultativamente, ser tratadas como semi-rígidas.

Zona 3: nominalmente articulada, se $S_{j,ini} \leq 0,5 EI_b / L_b$

^{*)} Para pórticos em que $K_b/K_c < 0,1$, as juntas deverão ser classificadas como semi-rígidas.

K_b valor médio de I_b/L_b para todas as vigas do nível acima desse andar;

K_c valor médio de I_c/L_c para todas as colunas desse andar;

I_b momento de inércia da secção de uma viga;

I_c momento de inércia da secção de uma coluna;

L_b vão de uma viga (entre eixos das colunas);

L_c altura de piso de uma coluna.

Figura 5.4 – Classificação das juntas segundo a rigidez

(2) As bases das colunas poderão ser classificadas como rígidas desde que sejam satisfeitas as seguintes condições:

– nos pórticos em que o sistema de contraventamento reduz o deslocamento horizontal em pelo menos 80 % e em que os efeitos das deformações poderão ser desprezados:

– se $\bar{\lambda}_0 \leq 0,5$; (5.2a)

– se $0,5 < \bar{\lambda}_0 < 3,93$ e $S_{j,ini} \geq 7 (2 \bar{\lambda}_0 - 1) EI_c / L_c$; (5.2b)

– se $\bar{\lambda}_0 \geq 3,93$ e $S_{j,ini} \geq 48 EI_c / L_c$; (5.2c)

– nos outros casos se $S_{j,ini} \geq 30 EI_c / L_c$; (5.2d)

em que:

$\bar{\lambda}_0$ esbelteza de uma coluna cujas extremidades se admitem articuladas;

I_c, L_c definidos na Figura 5.4.

5.2.3 Classificação segundo a resistência

5.2.3.1 Generalidades

(1) Uma junta poderá ser classificada como de resistência total, nominalmente articulada ou de resistência parcial comparando o valor de cálculo do seu momento resistente, $M_{j,Rd}$, com os valores de cálculo dos

momentos resistentes dos elementos ligados. Para a classificação de uma junta, o valor de cálculo da resistência de um elemento deverá ser considerado como sendo igual ao do seu segmento adjacente à junta.

5.2.3.2 Juntas nominalmente articuladas

- (1) Uma junta nominalmente articulada deverá ser capaz de transmitir os esforços, sem a ocorrência de momentos significativos que possam afectar de modo desfavorável os elementos ou a estrutura no seu todo.
- (2) Uma junta nominalmente articulada deverá ter capacidade para permitir as rotações resultantes das acções de cálculo.
- (3) Uma junta poderá ser classificada como nominalmente articulada se o valor de cálculo do seu momento resistente, $M_{j,Rd}$, não for superior a 0,25 vezes o valor de cálculo do momento resistente requerido para uma junta de resistência total, desde que também tenha uma capacidade de rotação suficiente.

5.2.3.3 Juntas de resistência total

- (1) O valor de cálculo da resistência de uma junta de resistência total deverá ser pelo menos igual ao dos elementos ligados.
- (2) Uma junta poderá ser classificada como de resistência total se satisfizer os critérios da Figura 5.5.

a) No topo da coluna

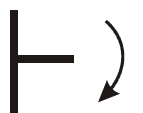


$M_{j,Rd}$

em que:

$$M_{j,Rd} \geq M_{b,pl,Rd} \text{ ou } M_{j,Rd} \geq M_{c,pl,Rd}$$

b) Num nível intermédio da coluna



$M_{j,Rd}$

em que:

$$M_{j,Rd} \geq M_{b,pl,Rd} \text{ ou } M_{j,Rd} \geq 2 M_{c,pl,Rd}$$

$M_{b,pl,Rd}$ valor de cálculo do momento plástico resistente de uma viga;

$M_{c,pl,Rd}$ valor de cálculo do momento plástico resistente de uma coluna.

Figura 5.5 – Juntas de resistência total

5.2.3.4 Juntas de resistência parcial

- (1) Uma junta que não satisfaz as condições requeridas para ser uma junta de resistência total ou uma junta nominalmente articulada deverá ser classificada como junta de resistência parcial.

5.3 Modelação das juntas viga-coluna

- (1) Para modelar a deformabilidade de uma junta, deverá ser tida em conta a deformação por esforço transversal do painel de alma e a deformação de rotação das ligações.
- (2) As configurações das juntas deverão ser concebidas e dimensionadas por forma a resistirem aos momentos flectores, $M_{b1,Ed}$ e $M_{b2,Ed}$, aos esforços normais, $N_{b1,Ed}$ e $N_{b2,Ed}$, e aos esforços transversos, $V_{b1,Ed}$ e $V_{b2,Ed}$, aplicados às juntas pelos elementos ligados, ver a Figura 5.6.
- (3) O esforço transversal resultante, $V_{wp,Ed}$, no painel de alma deverá ser calculado do seguinte modo:

$$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed})/z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed})/2 \quad (5.3)$$

em que:

z braço do binário, ver 6.2.7.

(4) Para modelar uma junta de forma a reproduzir o mais fielmente possível o comportamento previsto, deverão ser modelados separadamente o painel de alma solicitado ao corte e cada uma das ligações, tendo em conta os esforços nos elementos que estão ligados na periferia do painel de alma, ver as Figuras 5.6(a) e 5.7.

(5) Como alternativa mais simples a 5.3(4), uma configuração de junta com viga num lado apenas poderá ser modelada como uma única junta e uma configuração de junta com vigas nos dois lados poderá ser modelada como duas juntas separadas, uma de cada lado, mas com interação recíproca. Em consequência, uma configuração de junta viga-coluna com vigas nos dois lados tem duas relações momento-rotação, uma para a junta direita e outra para a junta esquerda.

(6) Numa junta viga-coluna com vigas nos dois lados, cada junta deverá ser modelada como uma mola rotacional separada, tal como representado na Figura 5.8. A relação momento-rotação característica de cada mola tem em consideração o comportamento do painel de alma solicitado ao corte, bem como a influência das ligações relevantes.

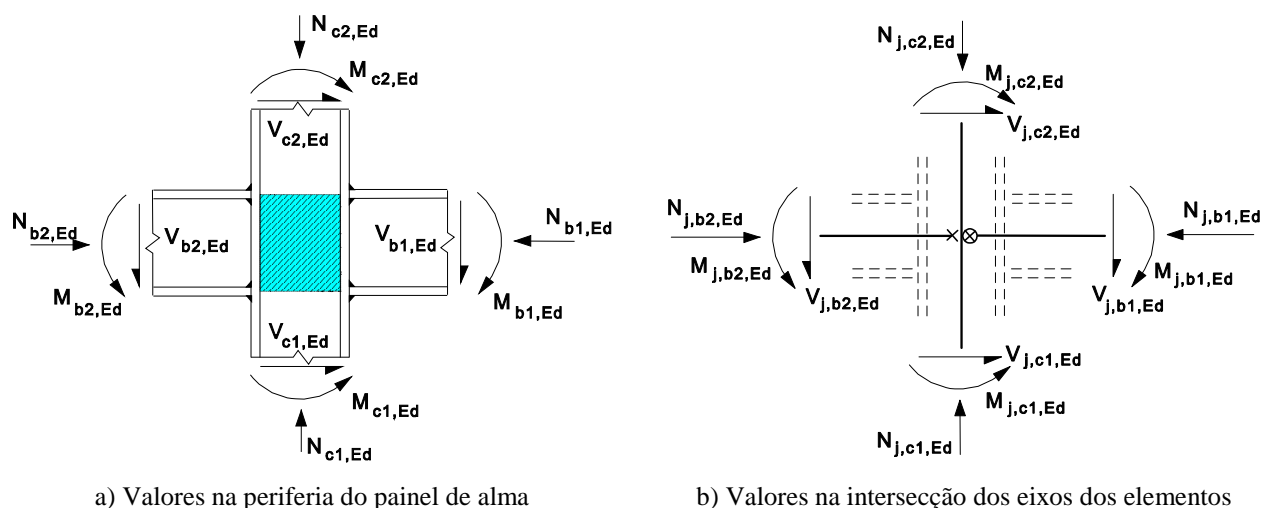
(7) Na determinação do valor de cálculo do momento resistente e da rigidez de rotação de cada uma das juntas, a eventual influência do painel de alma solicitado ao corte deverá ser tida em conta por meio dos parâmetros de transformação β_1 e β_2 , em que:

β_1 valor do parâmetro de transformação β para a junta direita;

β_2 valor do parâmetro de transformação β para a junta esquerda.

NOTA: Os parâmetros de transformação β_1 e β_2 são utilizados directamente em 6.2.7.2(7) e 6.3.2(1). São igualmente utilizados em 6.2.6.2(1) e 6.2.6.3(4) tendo em consideração o Quadro 6.3 para obter o coeficiente de redução ω para o esforço transversal.

(8) Valores aproximados de β_1 e β_2 , baseados nos valores dos momentos nas vigas, $M_{b1,Ed}$ e $M_{b2,Ed}$, que estão ligadas na periferia do painel de alma, ver a Figura 5.6(a), poderão ser obtidos do Quadro 5.4.



A Figura indica o sentido positivo dos esforços correspondente à convenção de sinais utilizada nas expressões (5.3) e (5.4).

Figura 5.6 – Esforços actuantes na junta

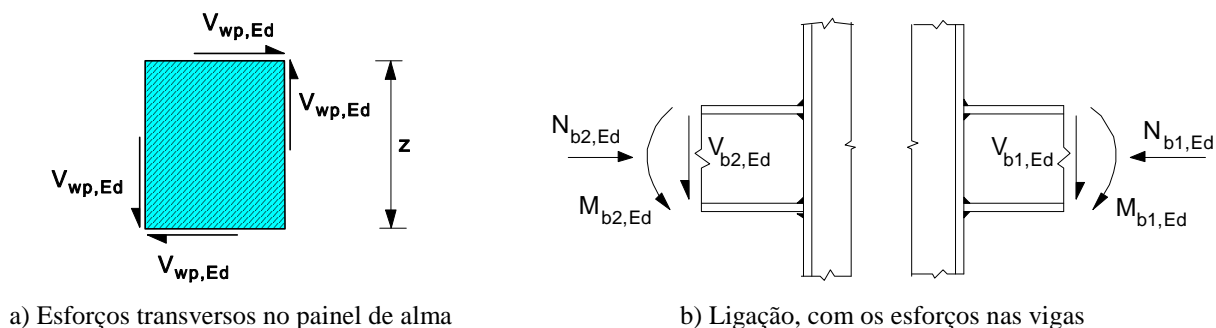
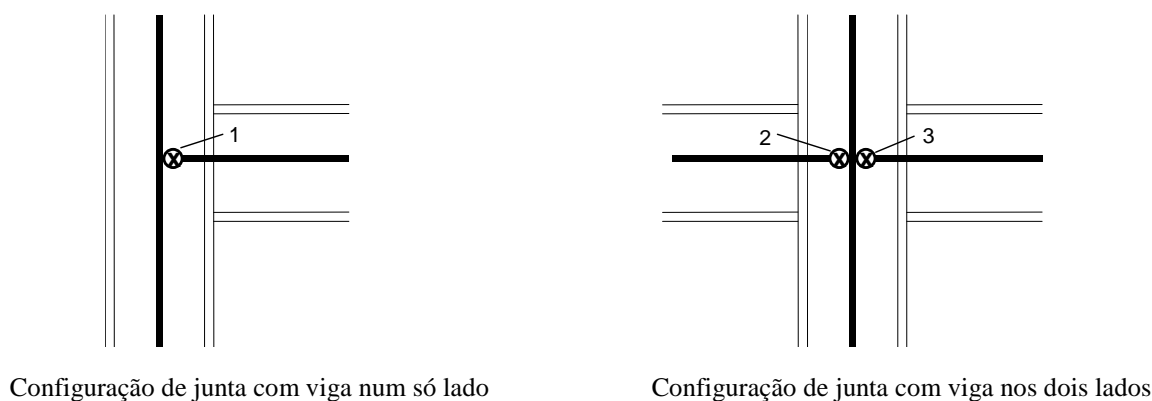


Figura 5.7 – Esforços actuantes no painel de alma ao nível das ligações



Legenda:

- 1 Junta
- 2 Junta 2: lado esquerdo
- 3 Junta 1: lado direito

Figura 5.8 – Modelação da junta

(9) Como alternativa a 5.3(8), valores mais precisos de β_1 e β_2 baseados nos valores dos momentos nas vigas, $M_{j,b1,Ed}$ e $M_{j,b2,Ed}$, na intersecção dos eixos dos elementos, poderão ser determinados com base no modelo simplificado representado na Figura 5.6(b), do seguinte modo:

$$\beta_1 = \left| 1 - M_{j,b2,Ed} / M_{j,b1,Ed} \right| \leq 2 \quad (5.4a)$$

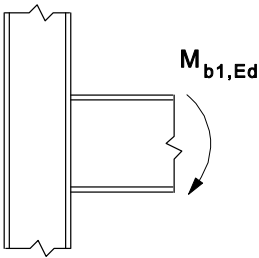
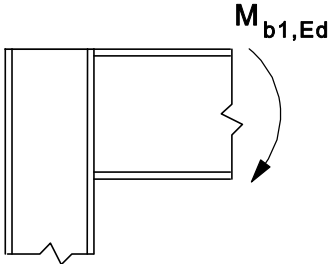
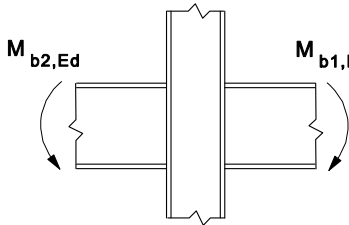
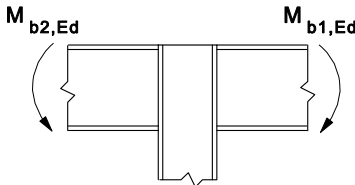
$$\beta_2 = \left| 1 - M_{j,b1,Ed} / M_{j,b2,Ed} \right| \leq 2 \quad (5.4b)$$

em que:

- $M_{j,b1,Ed}$ momento na intersecção aplicado pela viga do lado direito;
- $M_{j,b2,Ed}$ momento na intersecção aplicado pela viga do lado esquerdo.

(10) No caso de uma configuração com vigas em dois lados de uma junta viga-coluna não reforçada, na qual as alturas das duas vigas não são iguais, deverá ser tida em conta a distribuição real das tensões de corte no painel de alma da coluna ao determinar o valor de cálculo do momento resistente.

Quadro 5.4 – Valores aproximados para o parâmetro de transformação β

Tipo de configuração da junta		Acção	Valor de β
		$M_{b1,Ed}$	$\beta \approx 1$
		$M_{b1,Ed} = M_{b2,Ed}$	$\beta = 0$ ^{*)}
		$M_{b1,Ed} / M_{b2,Ed} > 0$	$\beta \approx 1$
		$M_{b1,Ed} / M_{b2,Ed} < 0$	$\beta \approx 2$
		$M_{b1,Ed} + M_{b2,Ed} = 0$	$\beta \approx 2$

^{*)} Neste caso, o valor de β é o valor exacto e não um valor aproximado.

6 Juntas estruturais de perfis em H ou em I

6.1 Generalidades

6.1.1 Bases

(1) A presente secção contém métodos de cálculo utilizados para a determinação das propriedades estruturais de juntas em qualquer tipo de pórtico. Para a aplicação destes métodos, uma junta deverá ser modelada como um conjunto de componentes básicos, ver 1.4(1).

(2) Os componentes básicos utilizados na presente Norma estão identificados no Quadro 6.1 e as suas propriedades deverão ser determinadas de acordo com o disposto na presente Norma. Poderão ser utilizados outros componentes básicos desde que as suas propriedades se baseiem em resultados de ensaios ou em métodos analíticos e numéricos justificados por ensaios, ver a EN 1990.

NOTA: Os métodos de cálculo para os componentes básicos das juntas estabelecidos na presente Norma são de aplicação geral e podem ser também aplicados a componentes semelhantes de outras configurações de juntas. No entanto, os métodos de cálculo específicos indicados para a determinação do valor de cálculo do momento resistente, da rigidez de rotação e da capacidade de rotação de uma junta baseiam-se numa determinada hipótese de distribuição dos esforços para as configurações de juntas representadas na Figura 1.2. Para outras configurações de juntas, os métodos de cálculo a utilizar para a determinação do valor de cálculo do momento resistente, da rigidez de rotação e da capacidade de rotação deverão basear-se em hipóteses adequadas de distribuição dos esforços.

6.1.2 Propriedades estruturais

6.1.2.1 Relação de cálculo momento-rotação

(1) Uma junta poderá ser representada por uma mola rotacional unindo os eixos dos elementos ligados no ponto de intersecção, tal como representado na Figura 6.1(a) e (b) para uma junta viga-coluna com viga num só lado. As propriedades da mola podem ser expressas sob a forma de uma relação momento-rotação de cálculo que representa a relação entre o momento flector, $M_{j,Ed}$, aplicado a uma junta e a correspondente rotação ϕ_{Ed} entre os elementos ligados. Em geral, a relação de cálculo momento-rotação é não linear, como representado na Figura 6.1(c).

(2) Uma relação de cálculo momento-rotação, ver a Figura 6.1(c), deverá definir as seguintes três principais propriedades estruturais:

- momento resistente;
- rigidez de rotação;
- capacidade de rotação.

NOTA: Em certos casos, o comportamento momento-rotação real de uma junta inclui uma certa rotação devida a efeitos tais como o escorregamento dos parafusos, as folgas e, no caso de bases de colunas, as interações fundação-terreno. Daqui pode resultar uma significativa rotação inicial que poderá ter de ser incluída na relação de cálculo momento-rotação.

(3) A relação de cálculo momento-rotação de uma junta viga-coluna deverá ser coerente com as hipóteses consideradas na análise global da estrutura e com as hipóteses consideradas para o cálculo dos elementos, ver a EN 1993-1-1.

(4) Poderá admitir-se que as relações de cálculo momento-rotação das juntas e das bases das colunas para secções em perfil em I e em H, obtidas com base em 6.3.1(4), satisfazem os requisitos de 5.1.1(4) relativos à simplificação daquelas relações para efeitos de análise global.

6.1.2.2 Valor de cálculo do momento resistente

(1) O valor de cálculo do momento resistente, $M_{j,Rd}$, que é igual ao momento máximo da relação de cálculo momento-rotação, ver a Figura 6.1(c), deverá ser calculado tal como indicado em 6.1.3(4).

6.1.2.3 Rigidez de rotação

(1) A rigidez de rotação S_j , que é a rigidez secante conforme representado na Figura 6.1(c), deverá ser calculada como indicado em 6.3.1(4). Para a relação de cálculo momento-rotação característica de uma junta, esta definição de S_j aplica-se até à rotação ϕ_{Xd} para a qual $M_{j,Ed}$ atinge o nível de $M_{j,Rd}$, mas não a rotações superiores, ver a Figura 6.1(c). A rigidez de rotação inicial, $S_{j,ini}$, que é a inclinação da relação de cálculo momento-rotação na zona elástica, deverá ser calculada tal como indicado em 6.1.3(4).

6.1.2.4 Capacidade de rotação

(1) O valor de cálculo da capacidade de rotação ϕ_{Cd} de uma junta, que é igual à rotação máxima da relação de cálculo momento-rotação, ver a Figura 6.1(c), deverá ser calculado como indicado em 6.1.3(4).

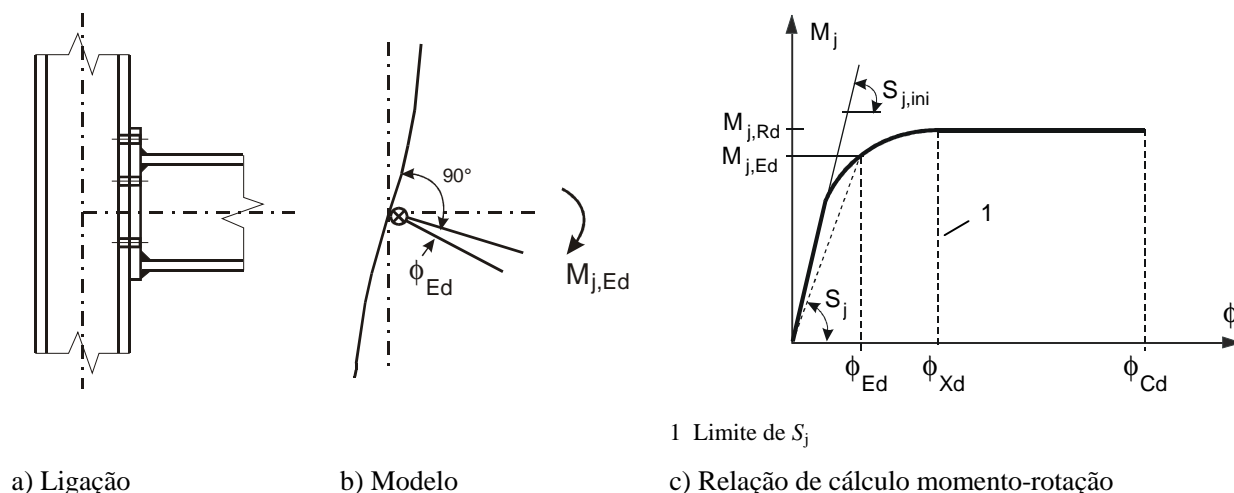


Figura 6.1 – Relação de cálculo momento-rotação característica de uma junta

6.1.3 Componentes básicos de uma junta

(1) A relação de cálculo momento-rotação de uma junta depende das propriedades dos seus componentes básicos, que deverão fazer parte dos que são referidos em 6.1.3(2).

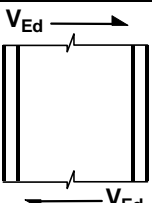
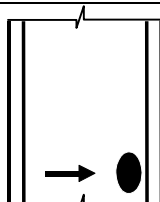
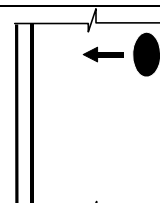
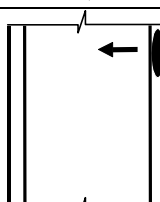
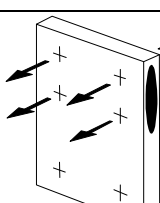
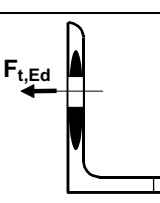
(2) Os componentes básicos da junta deverão ser os que estão identificados no Quadro 6.1 juntamente com as referências às regras de aplicação que deverão ser utilizadas para a avaliação das suas propriedades estruturais.

(3) Certos componentes da junta poderão ser reforçados. Em 6.2.4.3 e 6.2.6 estão indicados pormenores de execução para diversos processos de reforço.

(4) As relações entre as propriedades dos componentes básicos de uma junta e as propriedades estruturais da junta deverão ser aquelas que estão expressas nas seguintes secções:

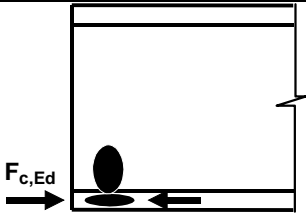
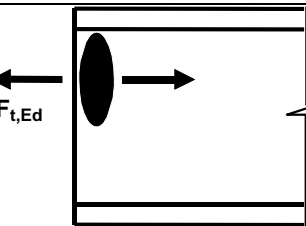
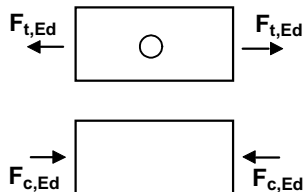
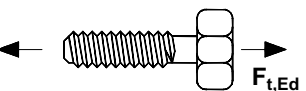
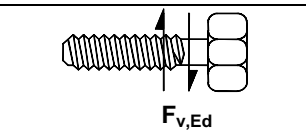
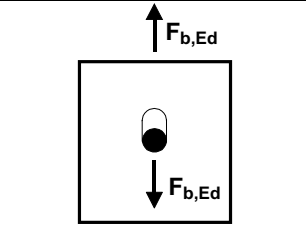
- 6.2.7 e 6.2.8 para o momento resistente;
- 6.3.1 para a rigidez de rotação;
- 6.4 para a capacidade de rotação.

Quadro 6.1 – Componentes básicos das juntas

Componente			Referência às regras de aplicação		
			Resistência de cálculo	Coefficiente de rigidez	Capacidade de rotação
1	Painel de alma de coluna solicitado ao corte		6.2.6.1	6.3.2	6.4.2 e 6.4.3
2	Alma de coluna em compressão transversal		6.2.6.2	6.3.2	6.4.2 e 6.4.3
3	Alma de coluna em tracção transversal		6.2.6.3	6.3.2	6.4.2 e 6.4.3
4	Banzo de coluna em flexão		6.2.6.4	6.3.2	6.4.2 e 6.4.3
5	Chapa de extremidade em flexão		6.2.6.5	6.3.2	6.4.2
6	Cantoneira de banzo em flexão		6.2.6.6	6.3.2	6.4.2

(continua)

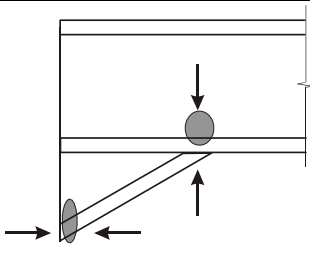
Quadro 6.1 – Componentes básicos das juntas (continuação)

Componente			Referência às regras de aplicação		
			Resistência de cálculo	Coefficiente de rigidez	Capacidade de rotação
7	Banzo e alma de viga ou de coluna em compressão		6.2.6.7	6.3.2	*)
8	Alma de viga à tracção		6.2.6.8	6.3.2	*)
9	Chapa à tracção ou compressão		à tracção: – EN 1993-1-1 à compressão: – EN 1993-1-1	6.3.2	*)
10	Parafusos à tracção		Com o banzo da coluna: – 6.2.6.4 com a chapa de extremidade: – 6.2.6.5 com a cantoneira de banzo: – 6.2.6.6	6.3.2	6.4.2
11	Parafusos ao corte		3.6	6.3.2	6.4.2
12	Parafusos em esmagamento (no banzo da viga, no banzo da coluna, na chapa de extremidade ou na cantoneira)		3.6	6.3.2	*)

*) Informação não disponível nesta Parte.

(continua)

Quadro 6.1 – Componentes básicos das juntas (conclusão)

Componente			Referência às regras de aplicação		
			Resistência de cálculo	Coeficiente de rigidez	Capacidade de rotação
13	Betão à compressão incluindo a argamassa de selagem		6.2.6.9	6.3.2	*)
14	Chapa de base de coluna em flexão sob a acção de compressão		6.2.6.10	6.3.2	*)
15	Chapa de base de coluna em flexão sob a acção de tracção		6.2.6.11	6.3.2	*)
16	Chumbadouros à tracção		6.2.6.12	6.3.2	*)
17	Chumbadouros ao corte		6.2.2	*)	*)
18	Chumbadouros ao esmagamento		6.2.2	*)	*)
19	Soldaduras		4	6.3.2	*)
20	Esquadro de reforço de viga		6.2.6.7	6.3.2	*)
*) Informação não disponível nesta Parte.					

6.2 Valor de cálculo da resistência

6.2.1 Esforços

- (1) Poderá admitir-se que as tensões devidas aos esforços num elemento não afectam os valores de cálculo da resistência dos componentes básicos de uma junta, excepto nos casos especificados em 6.2.1(2) e 6.2.1(3).
- (2) A tensão longitudinal numa coluna deverá ser tida em conta para a determinação do valor de cálculo da resistência da alma da coluna à compressão, ver 6.2.6.2(2).
- (3) O esforço transversal no painel de alma de uma coluna deverá ser tido em conta para a determinação do valor de cálculo da resistência dos seguintes componentes básicos:
 - alma da coluna em compressão transversal, ver 6.2.6.2;
 - alma da coluna em tracção transversal, ver 6.2.6.3.

6.2.2 Esforço transverso

(1) Nas juntas soldadas, assim como nas juntas aparafusadas com chapas de extremidade, as soldaduras que ligam a alma da viga deverão ser dimensionadas por forma a assegurarem a transmissão do esforço transverso da viga à junta, sem qualquer contribuição das soldaduras dos banzos da viga.

(2) Nas juntas aparafusadas com chapas de extremidade, a resistência de cada linha de parafusos sujeitos à actuação conjunta de esforço transverso e tracção deverá ser verificada através do critério indicado no Quadro 3.4, considerando o esforço total de tracção no parafuso, no qual se inclui qualquer esforço devido ao efeito de alavanca.

NOTA: Como simplificação, poderá admitir-se que os parafusos que deverão resistir à tracção atingem a sua resistência total à tracção desde que o valor de cálculo do esforço transverso não exceda a soma:

- a) do valor de cálculo da resistência total ao esforço transverso dos parafusos que não são necessários para resistir à tracção; com
- b) (0,4/1,4) vezes o valor de cálculo da resistência total ao esforço transverso dos parafusos que também contribuem para a resistência à tracção.

(3) Nas ligações aparafusadas com cantoneiras de banzo, poderá admitir-se que a cantoneira que liga o banzo comprimido da viga transmite o esforço transverso da viga à coluna, desde que:

- a folga g entre a extremidade da viga e a face da coluna não seja superior à espessura t_a da cantoneira;
- o esforço não exceda o valor de cálculo da resistência ao esforço transverso dos parafusos que ligam a cantoneira à coluna;
- a alma da viga satisfaça o requisito da secção 6 da EN 1993-1-5.

(4) O valor de cálculo da resistência ao esforço transverso de uma junta poderá ser determinado com base na distribuição dos esforços nessa junta, e nos valores de cálculo das resistências dos seus componentes básicos para esse tipo de esforços, ver o Quadro 6.1.

(5) Nas chapas de base, se não forem colocados quaisquer elementos específicos para assegurar a resistência ao esforço transverso, tais como conectores rígidos ou pernos de cabeça, deverá demonstrar-se que, o valor de cálculo da força de atrito da chapa de base, ver 6.2.2(6), adicionado, no caso em que os furos para os chumbadouros têm folgas normalizadas, ao valor de cálculo da resistência ao corte dos chumbadouros, ver 6.2.2(7), é suficiente para transmitir o valor de cálculo do esforço transverso aplicado. O valor de cálculo da resistência ao esmagamento do betão deverá ser calculado de acordo com a EN 1992.

(6) Na base de uma coluna, o valor de cálculo da resistência ao atrito $F_{f,Rd}$ entre a chapa de base e a argamassa de selagem deverá ser determinado do seguinte modo:

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} N_{c,Ed} \quad (6.1)$$

em que:

$C_{f,d}$ coeficiente de atrito entre a chapa de base e a camada de argamassa. Poderão utilizar-se os seguintes valores:

- para uma argamassa de areia e cimento $C_{f,d} = 0,20$;
- para outros tipos de argamassa, o coeficiente de atrito $C_{f,d}$ deverá ser determinado por meio de ensaios de acordo com a EN 1990, Anexo D;

$N_{c,Ed}$ valor de cálculo do esforço normal de compressão na coluna.

NOTA: Se a coluna é solicitada por um esforço normal de tracção, $F_{f,Rd} = 0$.

(7) Na base de uma coluna, o valor de cálculo da resistência ao esforço transverso de um chumbadouro, $F_{vb,Rd}$, deverá ser considerado igual ao menor dos valores $F_{1,vb,Rd}$ e $F_{2,vb,Rd}$ em que:

$F_{1,vb,Rd}$ valor de cálculo da resistência ao esforço transversal do chumbadouro, conforme 3.6.1;

$$F_{2,vb,Rd} = \frac{\alpha_{bc} f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (6.2)$$

em que:

$$\alpha_{bc} = 0,44 - 0,0003 f_{yb};$$

f_{yb} tensão de cedência do chumbadouro, com $235 \text{ N/mm}^2 \leq f_{yb} \leq 640 \text{ N/mm}^2$.

(8) O valor de cálculo da resistência ao esforço transversal, $F_{v,Rd}$, entre uma chapa de base de uma coluna e uma camada de argamassa deverá ser determinado do seguinte modo:

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + n F_{vb,Rd} \quad (6.3)$$

em que:

n número de chumbadouros na chapa de base.

(9) O betão e as armaduras do maciço da base deverão ser dimensionados de acordo com a EN 1992.

6.2.3 Momentos flectores

(1) O valor de cálculo do momento resistente de uma junta poderá ser determinado a partir da distribuição dos esforços nessa junta e dos valores de cálculo das resistências dos seus componentes básicos para esse tipo de esforços, ver o Quadro 6.1.

(2) Desde que o esforço axial, N_{Ed} , no elemento ligado não exceda 5 % do valor de cálculo da resistência da sua secção transversal, $N_{pl,Rd}$, o valor de cálculo do momento resistente, $M_{j,Rd}$, de uma junta viga-coluna ou de uma emenda de viga poderá ser determinado utilizando o método indicado em 6.2.7.

(3) O valor de cálculo do momento resistente, $M_{j,Rd}$, de uma base de coluna poderá ser determinado utilizando o método indicado em 6.2.8.

(4) Em todas as juntas, as dimensões das soldaduras deverão ser tais que o valor de cálculo do momento resistente da junta, $M_{j,Rd}$, seja sempre condicionado pelo valor de cálculo da resistência dos seus outros componentes básicos, e não pelo valor de cálculo da resistência das soldaduras.

(5) Numa junta viga-coluna ou numa emenda de viga na qual se pretende que se forme uma rótula plástica e que haja rotação sob a acção de um dado caso de carga, as soldaduras deverão ser dimensionadas para resistir aos efeitos de um momento cujo valor é, pelo menos, igual ao menor dos seguintes:

- o valor de cálculo do momento resistente plástico do elemento ligado, $M_{pl,Rd}$;
- α vezes o valor de cálculo do momento resistente da junta, $M_{j,Rd}$;

em que:

$\alpha = 1,4$ - para pórticos em que o sistema de contraventamento satisfaz o critério (5.1) da secção 5.2.1(3) da EN 1993-1-1 relativo ao deslocamento lateral;

$\alpha = 1,7$ - nos restantes casos.

(6) No caso de uma junta aparafusada com mais de uma linha de parafusos traccionados, a contribuição de qualquer linha de parafusos poderá, por simplificação, ser desprezada desde que sejam também desprezadas as contribuições de todas as outras linhas mais próximas do centro de compressão.

6.2.4 Peça em T equivalente traccionada

6.2.4.1 Generalidades

(1) Nas ligações aparafusadas, poderá utilizar-se um modelo formado por uma peça em T equivalente, traccionada para obter o valor de cálculo da resistência de cada um dos seguintes componentes básicos:

- banzo de coluna em flexão;
- chapa de extremidade em flexão;
- cantoneira de banzo em flexão;
- tracção na chapa de base em flexão.

(2) Em 6.2.6 estão indicados os métodos de modelação destes componentes básicos como banzos de uma peça em T equivalente, incluindo os valores a adoptar para e_{\min} , ℓ_{eff} e m .

(3) Poderá admitir-se que os eventuais modos de rotura do banzo de uma peça em T equivalente são semelhantes aos previstos para o componente básico que ele representa.

(4) O comprimento total efectivo $\sum \ell_{\text{eff}}$ de uma peça em T equivalente, ver a Figura 6.2, deverá ser tal que o valor de cálculo da resistência do seu banzo seja equivalente ao do componente básico da junta que ele representa.

NOTA: O comprimento efectivo de uma peça em T equivalente é um comprimento teórico e não corresponde necessariamente ao comprimento físico do componente básico da junta que ela representa.

(5) O valor de cálculo da resistência à tracção de um banzo de uma peça em T deverá ser determinado em conformidade com o Quadro 6.2.

NOTA: Os efeitos de alavanca estão implicitamente considerados quando se determina o valor de cálculo da resistência à tracção de acordo com o indicado no Quadro 6.2.

(6) Nos casos em que se poderão desenvolver forças de alavanca, ver o Quadro 6.2, o valor de cálculo da resistência à tracção do banzo de uma peça em T, $F_{T,Rd}$, deverá ser considerado igual ao menor dos valores correspondentes aos três modos de rotura possíveis 1, 2 e 3.

(7) Nos casos em que não se poderão desenvolver forças de alavanca, o valor de cálculo da resistência à tracção de um banzo de uma peça em T, $F_{T,Rd}$, deverá ser considerado igual ao menor dos valores dos dois modos de rotura possíveis de acordo com o Quadro 6.2.

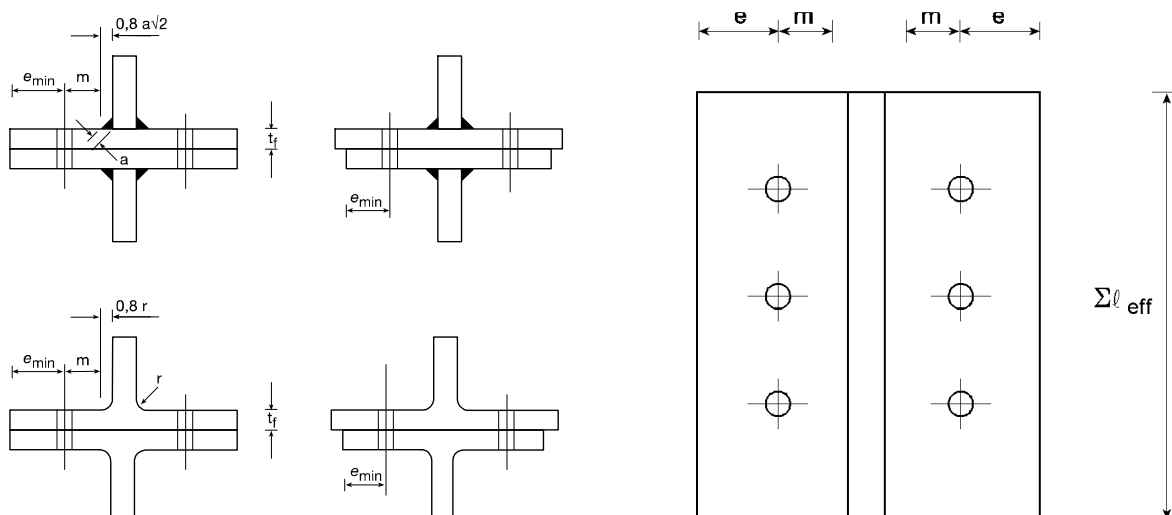


Figura 6.2 – Dimensões do banzo de uma peça em T equivalente

Quadro 6.2 – Valor de cálculo da resistência $F_{T,Rd}$ do banzo de uma peça em T

	Possibilidade de ocorrerem forças de alavanca, ou seja $L_b \leq L_b^*$		Sem forças de alavanca
Modo 1	Método 1	Método 2 (método alternativo)	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
sem contra-chapas	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n-2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn-e_w(m+n)}$	
com contra-chapas	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n-2e_w)M_{pl,1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn-e_w(m+n)}$	
Modo 2	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m+n}$		
Modo 3	$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$		

Modo 1: Plastificação total do banzo

Modo 2: Rotura dos parafusos com plastificação do banzo

Modo 3: Rotura dos parafusos

L_b – comprimento do parafuso sujeito a alongamento, considerado igual ao comprimento de aperto (espessura total do material e das anilhas), adicionado a metade da soma da altura da cabeça com a altura da porca; ou

– comprimento do chumbadouro sujeito a alongamento, considerado igual à soma de 8 vezes o diâmetro nominal da rosca do chumbadouro com as espessuras da camada de argamassa de selagem, da chapa, da anilha e, ainda, com metade da altura da porca;

$$L_b^* = \frac{8,8m^3 A_s n_b}{\sum \ell_{eff,1} t_f^3};$$

$F_{T,Rd}$ valor de cálculo da resistência à tracção de um banzo de uma peça em T;

Q força de alavanca;

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,1} t_f^2 f_y / \gamma_{M0};$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,2} t_f^2 f_y / \gamma_{M0};$$

$$M_{bp,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,1} t_{bp}^2 f_{y,bp} / \gamma_{M0};$$

$n = e_{min}$ mas $n \leq 1,25 m$;

$F_{t,Rd}$ valor de cálculo da resistência à tracção de um parafuso, ver o Quadro 3.4;

n_b número de linhas de parafusos (com dois parafusos em cada linha);

$\sum F_{t,Rd}$ valor total de $F_{t,Rd}$ para todos os parafusos da peça em T;

$\sum \ell_{eff,1}$ valor de $\sum \ell_{eff}$ para o modo 1;

$\sum \ell_{eff,2}$ valor de $\sum \ell_{eff}$ para o modo 2;

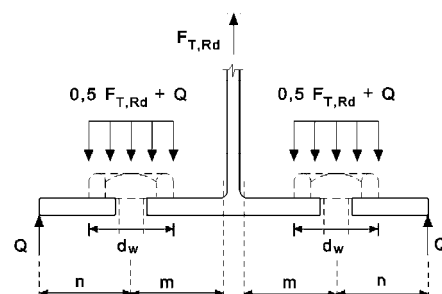
e_{min} , m e t_f representados na Figura 6.2;

$f_{y,bp}$ tensão de cedência das contrachapas;

t_{bp} espessura das contrachapas;

$e_w = d_w / 4$;

d_w diâmetro da anilha, ou diâmetro dos círculos circunscritos na cabeça do parafuso ou na porca, conforme o caso.



NOTA 1: Em juntas aparafusadas viga-coluna ou emendas de vigas, poderá admitir-se a ocorrência de forças de alavanca.

NOTA 2: No método 2, admite-se que a força aplicada ao banzo de uma peça em T por um parafuso está uniformemente distribuída sob a anilha, ou sob a cabeça do parafuso ou sob a porca, conforme o caso, ver a Figura, em vez de concentrada ao nível do eixo do parafuso. Esta hipótese conduz a um valor mais elevado para o modo 1, mas deixa inalterados os valores de $F_{T,1-2,Rd}$ e os modos 2 e 3.

6.2.4.2 Linhas de parafusos isoladas, grupos de parafusos e grupos de linhas de parafusos

(1) Embora os esforços nos parafusos de cada linha de uma peça em T real sejam, habitualmente, iguais, quando se utiliza um banzo de uma peça em T equivalente para modelar um dos componentes básicos indicados em 6.2.4.1(1), deverá prever-se a hipótese de surgirem esforços diferentes nos parafusos em cada linha.

(2) Quando se utiliza o método da peça em T equivalente para modelar um grupo de linhas de parafusos poderá ser necessário dividir o grupo em linhas de parafusos separadas e utilizar uma peça em T equivalente para modelar cada uma delas.

(3) Quando se utiliza o método da peça em T na modelação de um grupo de linhas de parafusos, deverão ser satisfeitas as seguintes condições:

a) a força em cada linha de parafusos não deverá exceder o valor de cálculo da resistência, determinado considerando apenas essa fiada de parafusos isolada;

b) a força total em cada grupo de linhas de parafusos, que compreende duas ou mais linhas consecutivas de parafusos, dentro do mesmo grupo, não deverá exceder o valor de cálculo da resistência desse grupo de linhas de parafusos.

(4) Na determinação do valor de cálculo da resistência à tracção de um componente básico representado pelo banzo de uma peça em T equivalente, deverão ser calculados os seguintes parâmetros:

a) o valor de cálculo da resistência de uma linha de parafusos isolada, determinado considerando apenas essa linha de parafusos;

b) a contribuição de cada linha de parafusos para o valor de cálculo da resistência de duas ou mais linhas consecutivas de parafusos situadas dentro de um mesmo grupo, determinada considerando apenas essas linhas.

(5) No caso de uma linha de parafusos isolada, $\sum \ell_{\text{eff}}$ deverá ser considerado igual ao comprimento efectivo ℓ_{eff} tabelado em 6.2.6 para essa linha de parafusos considerada como estando isolada.

(6) No caso de um grupo de linhas de parafusos, $\sum \ell_{\text{eff}}$ deverá ser considerado igual à soma dos comprimentos efectivos ℓ_{eff} tabelados em 6.2.6 para cada uma das linhas relevantes de parafusos, considerada como parte integrante de um grupo de parafusos.

6.2.4.3 Contrachapas

(1) Poderão ser utilizadas contrachapas para reforçar o banzo de uma coluna em flexão, tal como representado na Figura 6.3.

(2) Cada contrachapa deverá prolongar-se pelo menos até ao bordo do banzo da coluna e até uma distância máxima de 3 mm do limite da curva de concordância do perfil ou do cordão de soldadura.

(3) A contrachapa deverá prolongar-se para além da linha activa de parafusos traccionados mais afastada, tal como indicado na Figura 6.3.

(4) Quando se utilizam contrachapas, o valor de cálculo da resistência da peça em T, $F_{T,Rd}$, deverá ser determinado utilizando o método indicado no Quadro 6.2.

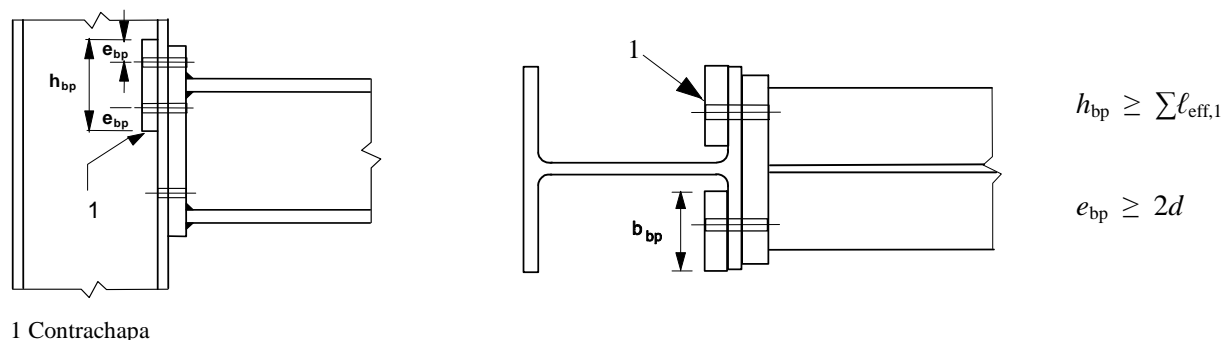


Figura 6.3 – Banzo de coluna com contrachapas

6.2.5 Peça em T equivalente comprimida

(1) Nas juntas aço-betão, o banzo de uma peça em T equivalente comprimida poderá ser utilizado como modelo para obter os valores de cálculo das resistências, para a combinação dos seguintes componentes básicos:

- a chapa de base em aço flectida sob o efeito da pressão na fundação;
- o betão e/ou a argamassa de selagem comprimido.

(2) O comprimento total efectivo ℓ_{eff} e a largura total efectiva b_{eff} de uma peça em T equivalente deverão ser tais que o valor de cálculo da resistência à compressão da peça em T seja equivalente ao do componente básico da junta que ela representa.

NOTA: Os valores do comprimento efectivo e da largura efectiva de uma peça em T equivalente são valores teóricos para essas dimensões e poderão ser diferentes das dimensões físicas do componente básico representado.

(3) O valor de cálculo da resistência à compressão localizada do banzo de uma peça em T, $F_{C,Rd}$, deverá ser determinado do modo seguinte:

$$F_{C,Rd} = f_{jd} b_{\text{eff}} \ell_{\text{eff}} \quad (6.4)$$

em que:

b_{eff} largura efectiva do banzo de uma peça em T, ver 6.2.5(5) e 6.2.5(6);

ℓ_{eff} comprimento efectivo do banzo de uma peça em T, ver 6.2.5(5) e 6.2.5(6);

f_{jd} valor de cálculo da resistência da junta à compressão localizada, ver 6.2.5(7).

(4) Deverá admitir-se que as forças transmitidas através de uma peça em T se distribuem uniformemente, tal como representado na Figura 6.4(a) e (b). A pressão na superfície de apoio assim obtida não deverá exceder o valor de cálculo da resistência à compressão localizada f_{jd} e a largura de apoio adicional, c , não deverá exceder:

$$c = t [f_y / (3 f_{jd} \gamma_{M0})]^{0,5} \quad (6.5)$$

em que:

t espessura do banzo da peça em T;

f_y tensão de cedência do material do banzo da peça em T.

(5) Quando a saliência real do componente básico da junta representado pela peça em T é inferior a c , a área efectiva deverá ser considerada igual à representada na Figura 6.4(a).

(6) No caso em que a saliência real do componente básico da junta representado pela peça em T é, em qualquer dos lados, superior a c , deverá ser desprezada a área de saliência situada para além da largura c , ver a Figura 6.4(b).

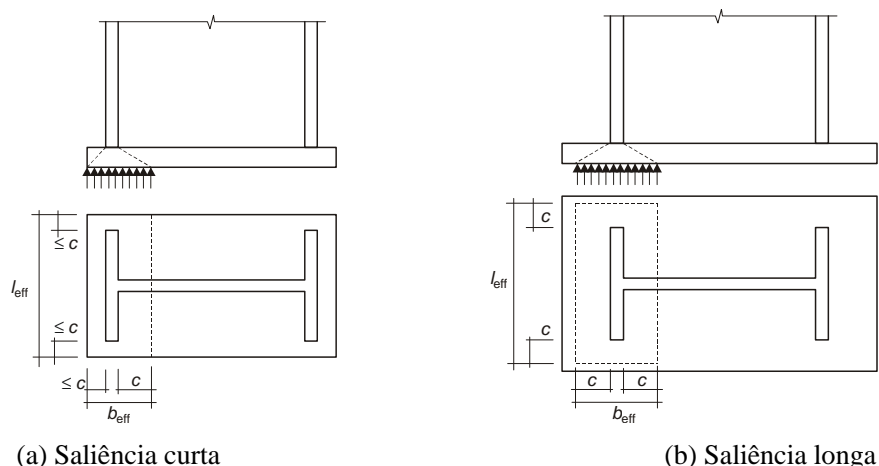


Figura 6.4 – Área da peça em T equivalente, comprimida

(7) O valor de cálculo da resistência à compressão localizada da junta f_{jd} deverá ser determinado com base em:

$$f_{jd} = \beta_j F_{Rdu} / (b_{eff} l_{eff}) \quad (6.6)$$

em que:

β_j coeficiente do material de apoio da junta, que poderá ser considerado igual a $2/3$ desde que o valor característico da resistência da argamassa de selagem não seja inferior a 0,2 vezes o valor característico da resistência do betão da fundação e a espessura da argamassa de selagem não seja superior a 0,2 vezes a menor dimensão (em planta) da chapa em aço da base. Nos casos em que a espessura da argamassa de selagem é superior a 50 mm, o valor característico da sua resistência deverá ser pelo menos igual ao do betão da fundação;

F_{Rdu} valor de cálculo da força concentrada resistente indicado na EN 1992, em que A_{c0} é considerado igual a $(b_{eff} l_{eff})$.

6.2.6 Resistência de cálculo dos componentes básicos

6.2.6.1 Pannel de alma da coluna solicitado ao corte

(1) Os métodos de cálculo indicados desde 6.2.6.1(2) até 6.2.6.1(14) são válidos se a esbelteza da alma da coluna respeitar a condição $d_c/t_w \leq 69\epsilon$.

(2) Para uma junta com viga num só lado, ou com vigas nos dois lados, na qual as alturas das vigas são semelhantes, o valor de cálculo da resistência plástica ao esforço transversal $V_{wp,Rd}$ de um painel de alma de coluna não reforçado, sujeito a um valor de cálculo do esforço transversal $V_{wp,Ed}$, ver 5.3(3), deverá ser obtido através da expressão:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 f_{y,wc} A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \quad (6.7)$$

em que:

A_{vc} área de corte da coluna, ver a EN 1993-1-1.

(3) O valor de cálculo da resistência ao esforço transversal poderá ser aumentado pela utilização de reforços ou de chapas de alma adicionais.

(4) Quando se utilizam reforços transversais à alma tanto na zona comprimida como na zona traccionada, o valor de cálculo da resistência plástica ao esforço transversal do painel de alma da coluna $V_{wp,Rd}$ poderá ser aumentado de $V_{wp,add,Rd}$ obtido por:

$$V_{wp,add,Rd} = \frac{4M_{pl,fc,Rd}}{d_s} \quad \text{mas} \quad V_{wp,add,Rd} \leq \frac{2M_{pl,fc,Rd} + 2M_{pl,st,Rd}}{d_s} \quad (6.8)$$

em que:

d_s distância entre os eixos dos reforços;

$M_{pl,fc,Rd}$ valor de cálculo do momento resistente plástico de um banzo da coluna;

$M_{pl,st,Rd}$ valor de cálculo do momento resistente plástico de um reforço.

NOTA: Nas juntas soldadas, cada reforço transversal deverá estar alinhado com o correspondente banzo de viga.

(5) Quando se utilizam reforços de almas diagonais, o valor de cálculo da resistência plástica ao esforço transversal da alma de uma coluna deverá ser determinado de acordo com a EN 1993-1-1.

NOTA: Em juntas viga-coluna com vigas dos dois lados e sem reforços diagonais nas almas das colunas, admite-se que as duas vigas têm alturas semelhantes.

(6) Nos casos em que a alma de uma coluna é reforçada com uma chapa de alma adicional, ver a Figura 6.5, a área de corte A_{vc} poderá ser aumentada de $b_s t_{wc}$. Se for adicionada uma chapa de alma suplementar na outra face da alma, a área de corte não deverá ser novamente aumentada.

(7) Poderão também ser utilizadas chapas de alma adicionais para aumentar a rigidez de rotação de uma junta através do acréscimo da rigidez da alma da coluna solicitada ao corte, à compressão ou à tracção, ver 6.3.2(1).

(8) A classe do aço da chapa de alma adicional deverá ser igual à do aço da coluna.

(9) A largura b_s deverá ser tal que a chapa de alma adicional se prolongue pelo menos até ao limite da curva de concordância ou da soldadura.

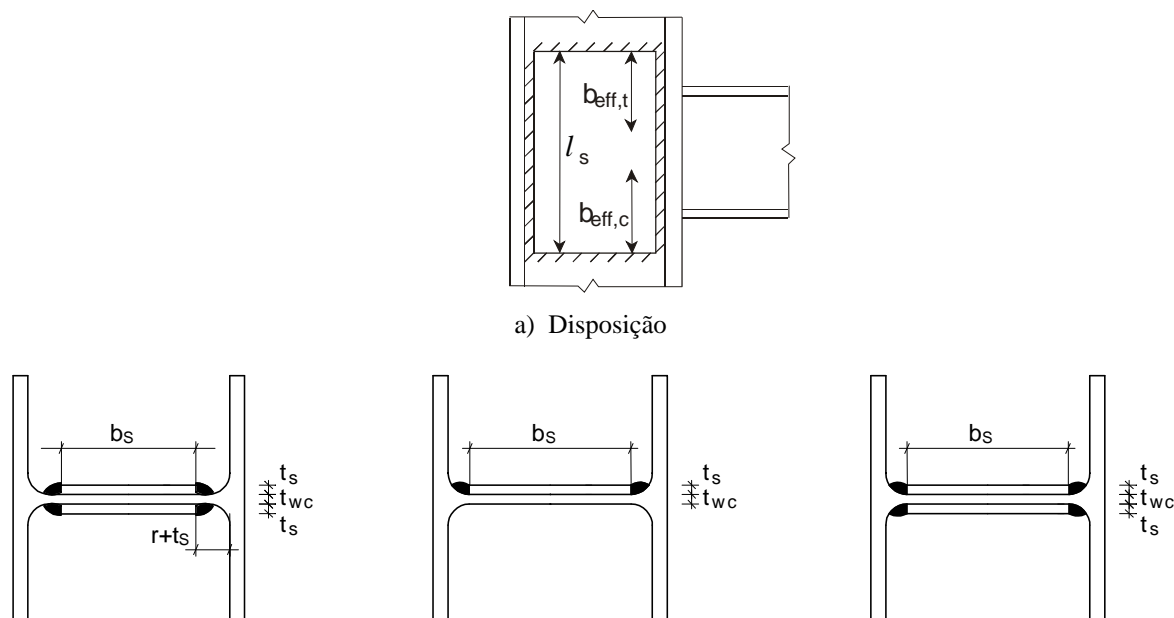
(10) O comprimento ℓ_s deverá ser tal que a chapa de alma adicional ocupe toda a altura efectiva da alma, traccionada e comprimida, ver a Figura 6.5.

(11) A espessura t_s da chapa de alma adicional não deverá ser inferior à da alma da coluna t_{wc} .

(12) As soldaduras entre a chapa de alma adicional e o perfil deverão ser dimensionadas para resistir aos esforços de cálculo aplicados.

(13) A largura b_s de uma chapa de alma adicional deverá ser inferior a $40\epsilon t_s$.

(14) Em ambientes não corrosivos poderão ser utilizadas soldaduras descontínuas.



NOTA: Deverá ser avaliada a exequibilidade da soldadura no canto.

b) Exemplos de secção transversal com soldaduras longitudinais

Figura 6.5 – Exemplos de chapas de alma adicionais

6.2.6.2 Alma da coluna sujeita a compressão transversal

(1) O valor de cálculo da resistência da alma não reforçada de uma coluna solicitada a uma compressão transversal deverá ser determinado com base nas expressões:

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \text{ mas } F_{c,wc,Rd} \leq \frac{\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}} \quad (6.9)$$

em que:

ω coeficiente de redução para ter em conta os eventuais efeitos de interacção com o esforço de corte no painel de alma da coluna, de acordo com o Quadro 6.3;

$b_{eff,c,wc}$ largura efectiva da alma comprimida da coluna:

– para uma ligação soldada:

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_b + 5(t_{fc} + s) \quad (6.10)$$

a_c , r_c e a_b estão indicados na Figura 6.6;

– para uma ligação aparafusada com chapa de extremidade:

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_p + 5(t_{fc} + s) + s_p \quad (6.11)$$

s_p comprimento obtido por difusão a 45° na chapa de extremidade (no mínimo t_p e, desde que o comprimento da chapa de extremidade para além do banzo seja suficiente, até $2t_p$);

– para uma ligação aparafusada com cantoneiras a fixar os banzos:

$$b_{eff,c,wc} = 2t_a + 0,6r_a + 5(t_{fc} + s) \quad (6.12)$$

- para uma coluna em perfil laminado em I ou em H: $s = r_c$;
- para uma coluna soldada com secção em I ou em H: $s = \sqrt{2} a_c$;

ρ coeficiente de redução para o enfunamento da chapa:

$$\text{– se } \bar{\lambda}_p \leq 0,72: \rho = 1,0; \quad (6.13a)$$

$$\text{– se } \bar{\lambda}_p > 0,72: \rho = (\bar{\lambda}_p - 0,2) / \bar{\lambda}_p^2; \quad (6.13b)$$

$\bar{\lambda}_p$ esbelteza da chapa:

$$\bar{\lambda}_p = 0,932 \sqrt{\frac{b_{\text{eff},c,wc} d_{wc} f_{y,wc}}{E t_{wc}^2}} \quad (6.13c)$$

- para uma coluna em perfil laminado em I ou em H: $d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + r_c)$;
- para uma coluna soldada com secção em I ou em H: $d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + \sqrt{2} a_c)$;

k_{wc} coeficiente cujo valor está indicado em 6.2.6.2(2).

Quadro 6.3 – Coeficiente de redução ω para a interacção com o esforço de corte

Parâmetro de transformação β	Coeficiente de redução ω
$0 \leq \beta \leq 0,5$	$\omega = 1$
$0,5 < \beta < 1$	$\omega = \omega_1 + 2(1 - \beta)(1 - \omega_1)$
$\beta = 1$	$\omega = \omega_1$
$1 < \beta < 2$	$\omega = \omega_1 + (\beta - 1)(\omega_2 - \omega_1)$
$\beta = 2$	$\omega = \omega_2$
$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}}$	$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2(b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}}$
A_{vc} área de corte da coluna, ver 6.2.6.1;	
β parâmetro de transformação, ver 5.3(7).	

(2) Nos casos em que a tensão de compressão longitudinal máxima na alma, $\sigma_{\text{com,Ed}}$, devida ao esforço axial e ao momento flector na coluna é superior a $0,7 f_{y,wc}$ (junto da curva de concordância numa secção laminada ou do limite do cordão de soldadura numa secção soldada), o seu efeito no valor de cálculo da resistência da alma comprimida da coluna deverá ser tido em conta multiplicando o valor de $F_{c,wc,Rd}$ determinado pela expressão (6.9) por um coeficiente de redução k_{wc} tal que:

- quando $\sigma_{\text{com,Ed}} \leq 0,7 f_{y,wc}$: $k_{wc} = 1$;
- quando $\sigma_{\text{com,Ed}} > 0,7 f_{y,wc}$: $k_{wc} = 1,7 - \sigma_{\text{com,Ed}} / f_{y,wc}$. (6.14)

NOTA: Em geral, o coeficiente de redução k_{wc} é 1,0 e não é necessária qualquer redução. Pode, portanto, ser omitido nos cálculos preliminares quando a tensão longitudinal é desconhecida e o seu valor verificado posteriormente.

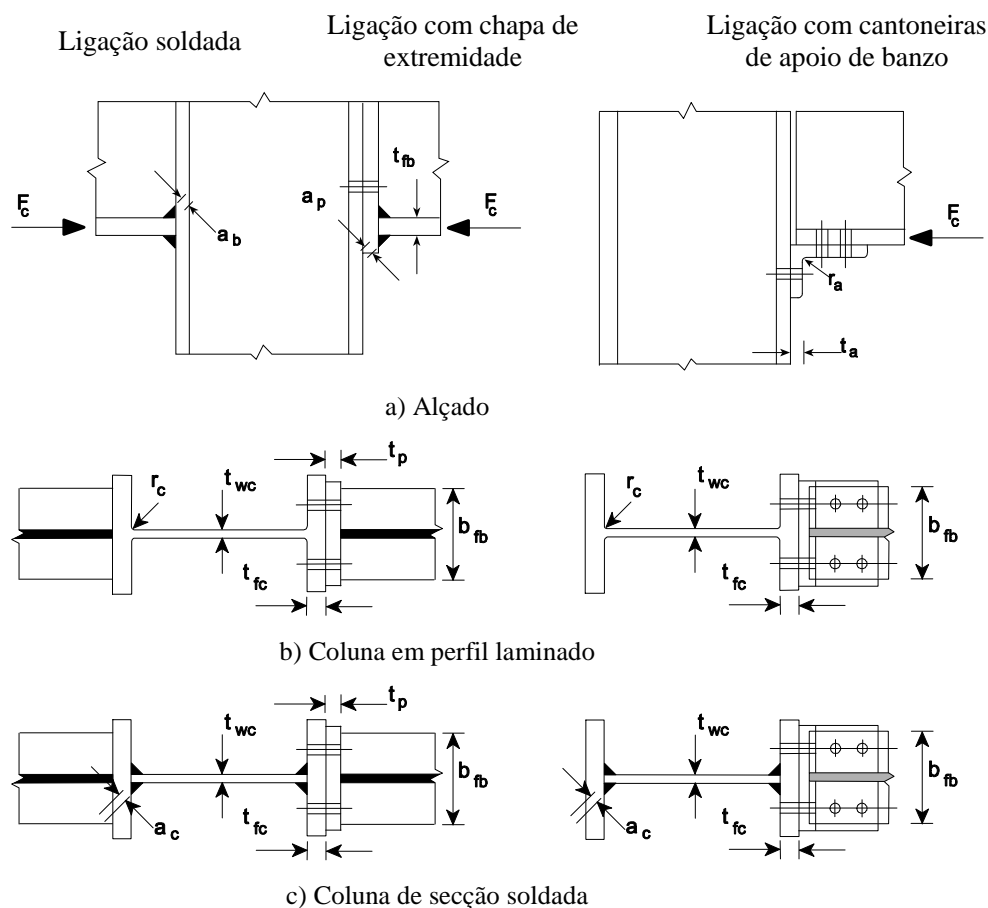


Figura 6.6 – Compressão transversal numa coluna não reforçada

(3) O modo de encurvadura por compressão da alma não reforçada de uma coluna, com deslocamento relativo dos banzos, ilustrado na Figura 6.7, deverá, em geral, ser impedido por meio de fixações adequadas.

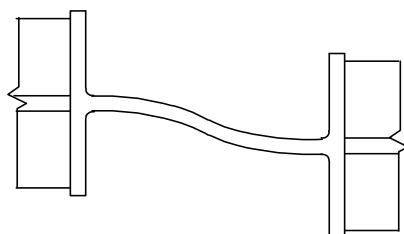


Figura 6.7 – Modo de encurvadura por deslocamento relativo dos banzos de uma alma não reforçada

(4) Poderão ser utilizados reforços ou chapas de alma adicionais para aumentar o valor de cálculo da resistência da alma de uma coluna sujeita a compressão transversal.

(5) Poderão ser utilizados reforços transversais ou configurações adequadas de reforços diagonais (associados a reforços transversais ou como alternativa a estes) a fim de aumentar o valor de cálculo da resistência da alma da coluna à compressão.

NOTA: Nas ligações soldadas, os reforços transversais deverão ficar alinhados com os banzos da viga. Nas ligações aparafusadas, o reforço situado na zona comprimida deverá estar alinhado com o centro de compressão tal como definido na Figura 6.15.

(6) Quando a alma de uma coluna é reforçada com uma chapa de alma adicional que respeite a secção 6.2.6.1, a espessura efectiva da alma poderá ser considerada igual a $1,5 t_{wc}$ se for acrescentada uma única chapa de alma, ou a $2,0 t_{wc}$ se forem acrescentadas chapas de alma adicionais em ambas as faces da alma. No cálculo do coeficiente de redução ω para os eventuais efeitos das tensões tangenciais, a área de corte A_{vc} da alma só poderá ser aumentada dentro dos limites autorizados para a determinação do valor de cálculo da resistência ao esforço transversal, ver 6.2.6.1(6).

6.2.6.3 Alma da coluna sujeita a tracção transversal

(1) O valor de cálculo da resistência da alma de uma coluna, não reforçada, solicitada à tracção transversal deverá ser determinado pela expressão:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \quad (6.15)$$

em que:

ω coeficiente de redução para ter em conta a interacção com o esforço de corte no painel de alma da coluna.

(2) Para uma ligação soldada, a largura efectiva $b_{eff,t,wc}$ da alma traccionada de uma coluna deverá ser obtida pela expressão:

$$b_{eff,t,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} a_b + 5(t_{fc} + s) \quad (6.16)$$

em que:

- para uma coluna em perfil laminado em I ou em H: $s = r_c$;
- para uma coluna soldada com secção em I ou em H: $s = \sqrt{2} a_c$;

onde:

a_c e r_c estão representados na Figura 6.8 e a_b está representado na Figura 6.6.

(3) Para uma ligação aparafusada, a largura efectiva $b_{eff,t,wc}$ da alma traccionada da coluna deverá ser considerada igual ao comprimento efectivo da peça em T equivalente que representa o banzo da coluna, ver 6.2.6.4.

(4) O coeficiente de redução ω para ter em conta os eventuais efeitos do esforço de corte no painel de alma da coluna deverá ser determinado com base no Quadro 6.3, utilizando o valor de $b_{eff,t,wc}$ indicado em 6.2.6.3(2) ou 6.2.6.3(3), conforme o caso.

(5) Poderão utilizar-se reforços ou chapas de alma adicionais para aumentar o valor de cálculo da resistência à tracção da alma de uma coluna.

(6) Poderão utilizar-se reforços transversais e/ou disposições adequadas de reforços diagonais para aumentar a resistência de cálculo da alma traccionada de uma coluna.

NOTA: Nas juntas soldadas, os reforços transversais ficam alinhados com os banzos da viga.

(7) As soldaduras entre os reforços diagonais e o banzo da coluna deverão ser soldaduras de enchimento com um cordão de selagem que garantam uma espessura total de cordão igual à espessura dos reforços.

(8) Se a alma de uma coluna é reforçada com chapas de alma adicionais que respeitem a secção 6.2.6.1, o valor de cálculo da resistência à tracção depende da espessura dos cordões das soldaduras longitudinais de ligação das chapas de alma adicionais. Deverá considerar-se para espessura efectiva da alma $t_{w,eff}$:

– quando as soldaduras longitudinais são cordões de topo com penetração total e com uma espessura de cordão $a \geq t_s$, então:

– para uma chapa de alma adicional: $t_{w,eff} = 1,5 t_{wc}$ (6.17)

– para chapas de alma adicionais em ambas as faces: $t_{w,eff} = 2,0 t_{wc}$ (6.18)

– quando as soldaduras longitudinais são cordões de ângulo com uma espessura $a \geq t_s / \sqrt{2}$, então, quer para uma quer para duas chapas de alma adicionais:

– para as classes de aço S 235, S 275 ou S 355: $t_{w,eff} = 1,4 t_{wc}$ (6.19a)

– para as classes de aço S 420 ou S 460: $t_{w,eff} = 1,3 t_{wc}$ (6.19b)

(9) No cálculo do coeficiente de redução ω que tem em conta os eventuais efeitos das tensões tangenciais, a área de corte A_{vc} da alma de uma coluna reforçada com chapas de alma adicionais só poderá ser aumentada dentro dos limites autorizados para a determinação do valor de cálculo da resistência ao esforço transversal, ver 6.2.6.1(6).

6.2.6.4 Banzo da coluna em flexão transversal

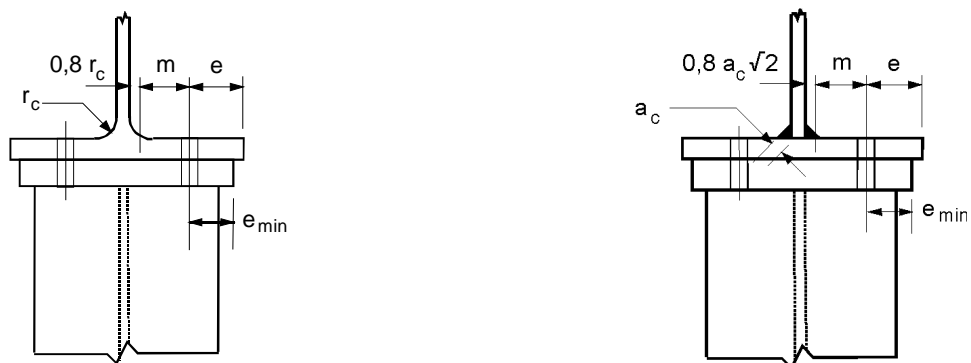
6.2.6.4.1 Banzo da coluna não reforçado, ligação aparafusada

(1) O valor de cálculo da resistência e o modo de rotura de um banzo de coluna não reforçado sujeito a flexão transversal, juntamente com os parafusos traccionados a ele associados, deverão ser considerados idênticos aos do banzo de uma peça em T equivalente, ver 6.2.4, simultaneamente para:

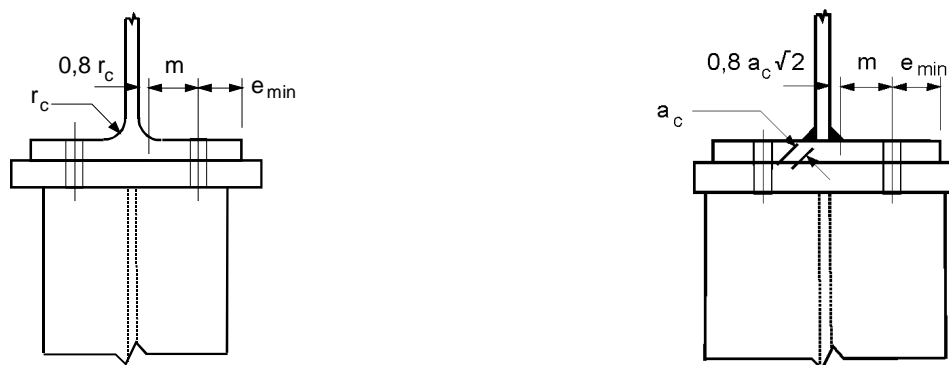
- cada linha isolada de parafusos que tenha de resistir à tracção;
- cada grupo de linhas de parafusos que tenha de resistir à tracção.

(2) As dimensões e_{min} e m a utilizar em 6.2.4 deverão ser determinadas com base na Figura 6.8.

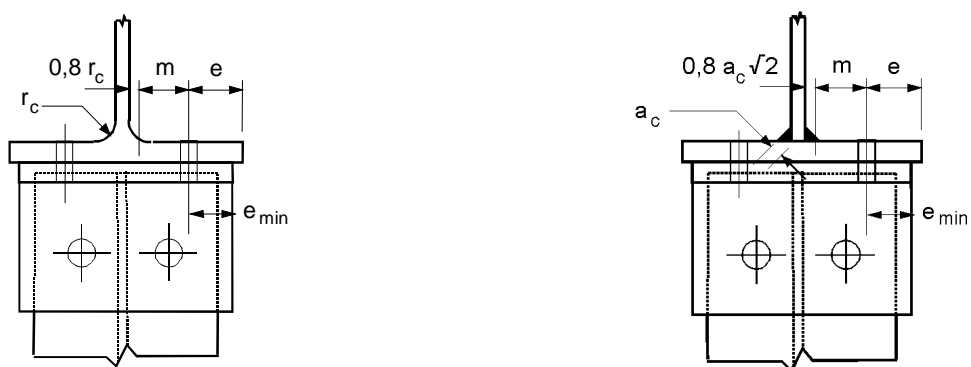
(3) O comprimento efectivo do banzo de uma peça em T equivalente deverá ser determinado de acordo com 6.2.4.2, para cada linha de parafusos e para o grupo de parafusos, com base nos valores indicados no Quadro 6.4 para cada linha de parafusos.



a) Chapa de extremidade soldada mais estreita do que o banzo da coluna



b) Chapa de extremidade soldada mais larga do que o banzo da coluna



c) Cantoneiras de ligação de banzos

Figura 6.8 – Definições de e , e_{min} , r_c e m

Quadro 6.4 – Comprimentos efectivos para o banzo não reforçado de uma coluna

Localização da linha de parafusos	Linha de parafusos considerada isoladamente		Linha de parafusos considerada como parte de um grupo de linhas	
	Com troços circulares $\ell_{\text{eff,cp}}$	Sem troços circulares $\ell_{\text{eff,nc}}$	Com troços circulares $\ell_{\text{eff,cp}}$	Sem troços circulares $\ell_{\text{eff,nc}}$
Linha de parafusos interior	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Linha de parafusos de extremidade	O menor dos valores: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	O menor dos valores: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	O menor dos valores: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	O menor dos valores: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Modo 1:	$\ell_{\text{eff},1} = \ell_{\text{eff,nc}}$ mas $\ell_{\text{eff},1} \leq \ell_{\text{eff,cp}}$		$\sum \ell_{\text{eff},1} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$ mas $\sum \ell_{\text{eff},1} \leq \sum \ell_{\text{eff,cp}}$	
Modo 2:	$\ell_{\text{eff},2} = \ell_{\text{eff,nc}}$		$\sum \ell_{\text{eff},2} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$	
e_1	distância entre os centros dos parafusos da última linha e a extremidade adjacente livre do banzo da coluna, medida na direcção do eixo da coluna (ver as linhas 1 e 2 na Figura 6.9).			

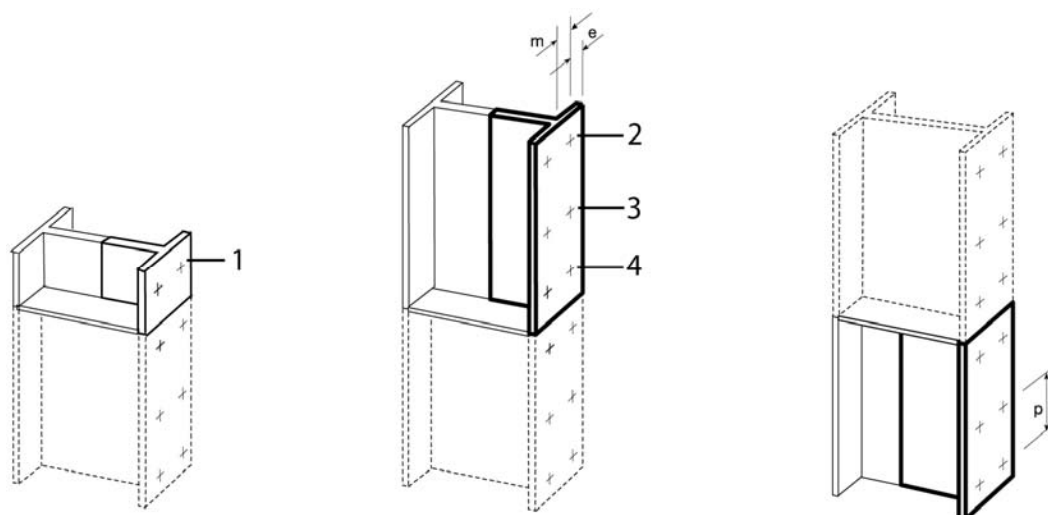
6.2.6.4.2 Banzo de coluna reforçado, junta com chapa de extremidade aparafusada ou com cantoneiras de apoio

(1) Poderão utilizar-se reforços transversais e/ou disposições adequadas de reforços diagonais para aumentar o valor de cálculo da resistência à flexão do banzo de uma coluna.

(2) O valor de cálculo da resistência e o modo de rotura de um banzo de coluna reforçado sujeito a flexão transversal, juntamente com os parafusos traccionados a ele associados, deverão ser considerados idênticos aos de um banzo de uma peça em T equivalente, ver 6.2.4, para:

- cada linha isolada de parafusos que tenha de resistir à tracção;
- cada grupo de linhas de parafusos que tenha de resistir à tracção.

(3) Os grupos de linhas de parafusos em cada um dos lados de um reforço deverão ser modelados como banzos de peças em T equivalentes individuais, ver a Figura 6.9. O valor de cálculo da resistência e o modo de rotura deverão ser determinados separadamente para cada peça em T equivalente.



Legenda:

- 1 Linha de parafusos de extremidade adjacente a um reforço
- 2 Linha de parafusos de extremidade
- 3 Linha de parafusos interior
- 4 Linha de parafusos adjacente a um reforço

Figura 6.9 – Modelação de um banzo de coluna reforçado sob a forma de peças em T separadas

- (4) As dimensões e_{\min} e m a utilizar em 6.2.4 deverão ser determinadas com base na Figura 6.8.
- (5) O comprimento efectivo do banzo de uma peça em T equivalente, ℓ_{eff} , deverá ser determinado de acordo com 6.2.4.2 utilizando os valores fornecidos no Quadro 6.5 para cada linha de parafusos. O valor de α a utilizar no Quadro 6.5 deverá ser obtido da Figura 6.11.
- (6) Os reforços deverão satisfazer os requisitos especificados em 6.2.6.1.

Quadro 6.5 – Comprimentos efectivos para o banzo reforçado de uma coluna

Localização da linha de parafusos	Linha de parafusos considerada isoladamente		Linha de parafusos considerada como parte de um grupo de linhas	
	Com troços circulares $\ell_{\text{eff,cp}}$	Sem troços circulares $\ell_{\text{eff,nc}}$	Com troços circulares $\ell_{\text{eff,cp}}$	Sem troços circulares $\ell_{\text{eff,nc}}$
Linha de parafusos adjacente a um reforço	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Outra linha de parafusos interior	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Outra linha de parafusos, de extremidade	O menor dos valores: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	O menor dos valores: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	O menor dos valores: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	O menor dos valores: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Linha de parafusos de extremidade adjacente a um reforço	O menor dos valores: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)$	não aplicável	não aplicável
Para o Modo 1:	$\ell_{\text{eff},1} = \ell_{\text{eff,nc}}$ mas $\ell_{\text{eff},1} \leq \ell_{\text{eff,cp}}$		$\sum \ell_{\text{eff},1} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$ mas $\sum \ell_{\text{eff},1} \leq \sum \ell_{\text{eff,cp}}$	
Para o Modo 2:	$\ell_{\text{eff},2} = \ell_{\text{eff,nc}}$		$\sum \ell_{\text{eff},2} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$	
α deverá ser obtido da Figura 6.11.				
e_1 distância entre os centros dos parafusos da última linha e o reforço adjacente do banzo da coluna, medida na direcção do eixo da coluna (ver as linhas 1 e 4 na Figura 6.9).				

6.2.6.4.3 Banzo de coluna não reforçado, ligação soldada

(1) Numa ligação soldada, o valor de cálculo da resistência $F_{fc,Rd}$ do banzo de uma coluna não reforçado sujeito à flexão, devida à tracção ou à compressão exercidas pelo banzo de uma viga, deverá ser obtido pela expressão:

$$F_{fc,Rd} = b_{eff,b,fc} t_{fb} f_{y,fb} / \gamma_{M0} \quad (6.20)$$

em que:

$b_{eff,b,fc}$ largura efectiva b_{eff} definida em 4.10 em que o banzo da viga é considerado como uma chapa.

NOTA: Ver também os requisitos especificados em 4.10.

6.2.6.5 Chapa de extremidade sujeita à flexão

(1) O valor de cálculo da resistência e o modo de rotura de uma chapa de extremidade solicitada à flexão, juntamente com os parafusos traccionados a ela associados, deverão ser considerados idênticos aos do banzo de uma peça em T equivalente, ver 6.2.4, para:

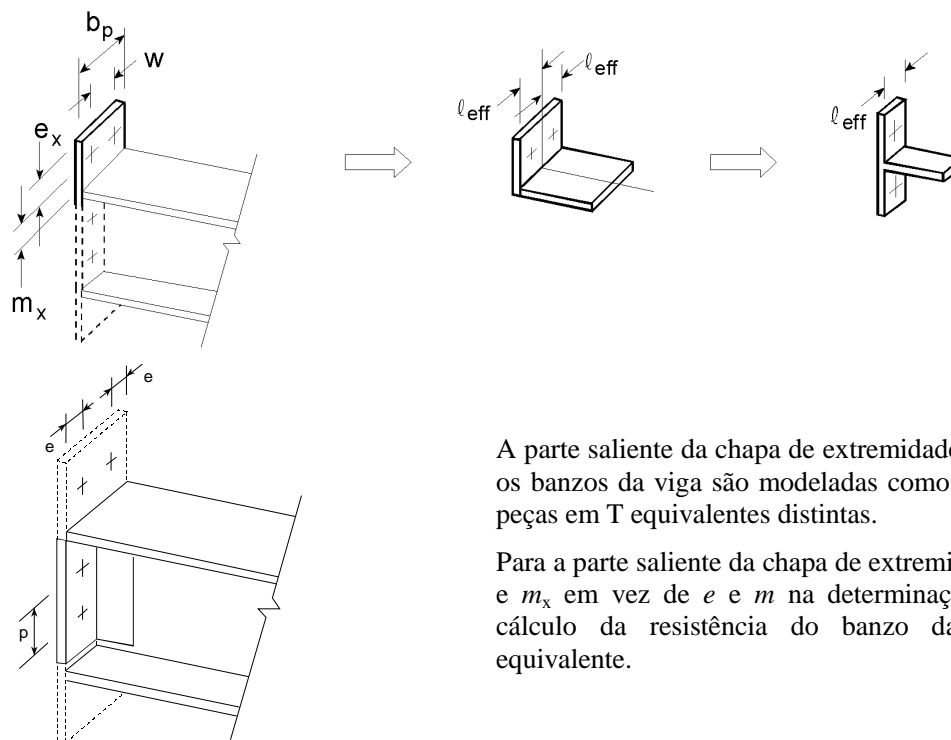
- cada linha isolada de parafusos que tenha de resistir à tracção;
- cada grupo de linhas de parafusos que tenha de resistir à tracção.

(2) Os grupos de linhas de parafusos situados em cada um dos lados de qualquer reforço ligado à chapa de extremidade deverão ser tratados como peças em T equivalentes separadas. Nas chapas de extremidade salientes, a fiada de parafusos na parte saliente deverá também ser tratada como uma peça em T equivalente distinta, ver a Figura 6.10. O valor de cálculo da resistência e o modo de rotura deverão ser determinados separadamente para cada peça em T equivalente.

(3) A dimensão e_{min} necessária para a aplicação da secção 6.2.4 deverá ser obtida da Figura 6.8, para a parte da chapa de extremidade localizada entre os banzos da viga. Para a parte saliente da chapa de extremidade, e_{min} deverá ser considerado igual a e_x , ver a Figura 6.10.

(4) O comprimento efectivo do banzo de uma peça em T equivalente, ℓ_{eff} , deverá ser determinado de acordo com 6.2.4.2 utilizando os valores indicados no Quadro 6.6 para cada linha de parafusos.

(5) Os valores de m e m_x a utilizar no Quadro 6.6 deverão ser obtidos da Figura 6.10.



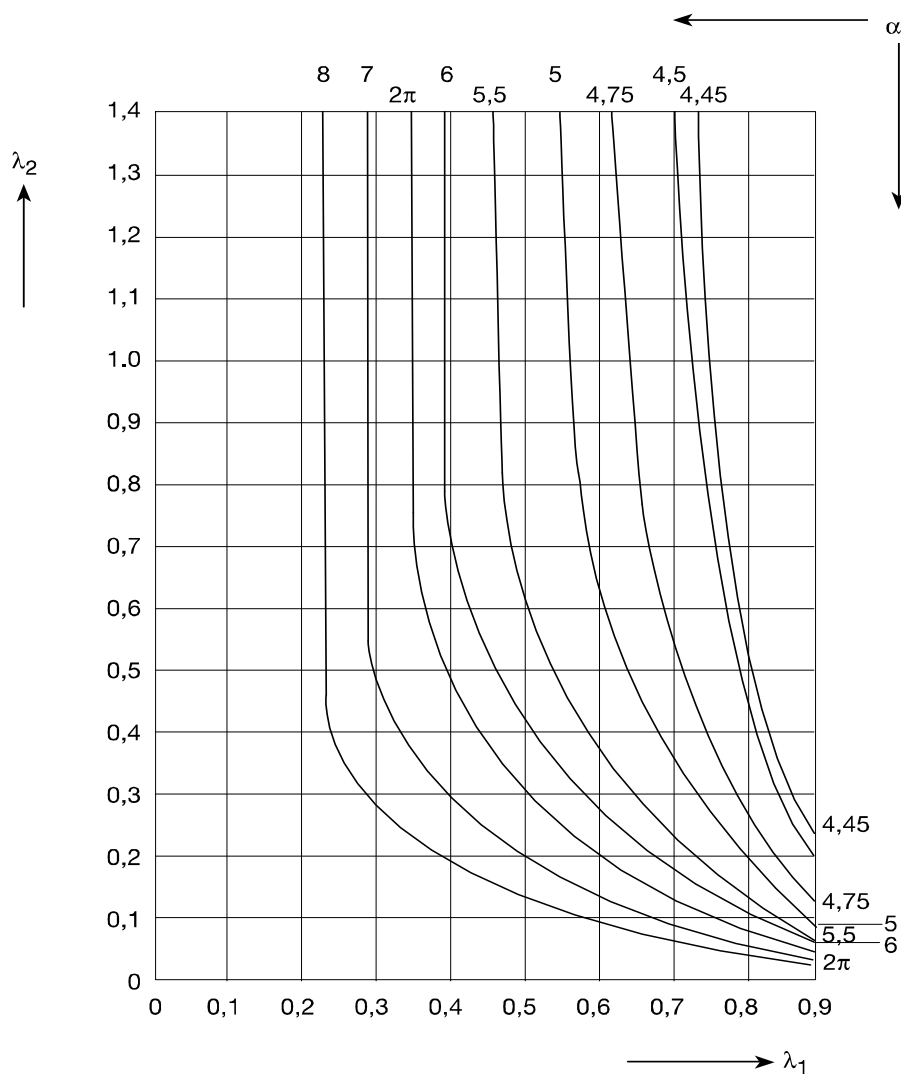
A parte saliente da chapa de extremidade e a parte entre os banzos da viga são modeladas como dois banzos de peças em T equivalentes distintas.

Para a parte saliente da chapa de extremidade, utilizar e_x e m_x em vez de e e m na determinação do valor de cálculo da resistência do banzo da peça em T equivalente.

Figura 6.10 – Modelação de uma chapa de extremidade saliente sob a forma de peças em T separadas

Quadro 6.6 – Comprimentos efectivos de uma chapa de extremidade

Localização da linha de parafusos	Linha de parafusos considerada isoladamente		Linha de parafusos considerada como parte de um grupo de linhas	
	Com troços circulares $\ell_{\text{eff,cp}}$	Sem troços circulares $\ell_{\text{eff,nc}}$	Com troços circulares $\ell_{\text{eff,cp}}$	Sem troços circulares $\ell_{\text{eff,nc}}$
Linha de parafusos na parte saliente do banzo traccionado da viga	O menor dos valores: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	O menor dos valores: $4m_x + 1,25e_x$ $e+2m_x+0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w+2m_x+0,625e_x$	—	—
Primeira linha de parafusos sob o banzo traccionado da viga	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Outra linha de parafusos interior	$2\pi m$	$4m + 1,25 e$	$2p$	p
Outra linha de parafusos, de extremidade	$2\pi m$	$4m + 1,25 e$	$\pi m + p$	$2m+0,625e+0,5p$
Modo 1:	$\ell_{\text{eff},1} = \ell_{\text{eff,nc}}$ mas $\ell_{\text{eff},1} \leq \ell_{\text{eff,cp}}$		$\sum \ell_{\text{eff},1} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$ mas $\sum \ell_{\text{eff},1} \leq \sum \ell_{\text{eff,cp}}$	
Modo 2:	$\ell_{\text{eff},2} = \ell_{\text{eff,nc}}$		$\sum \ell_{\text{eff},2} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$	
α deverá ser obtido da Figura 6.11.				



$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e}$$

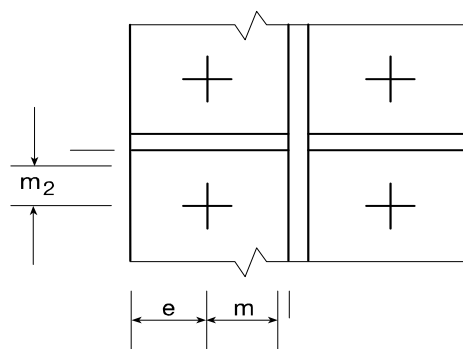


Figura 6.11 – Valores de α para banzos reforçados de colunas e para chapas de extremidade

6.2.6.6 Cantoneira de ligação de banzo em flexão

- (1) O valor de cálculo da resistência e o modo de rotura de uma cantoneira de ligação de banzo aparafusada sujeita à flexão, juntamente com os parafusos traccionados a ela associados, deverão ser considerados idênticos aos do banzo de uma peça em T equivalente, ver 6.2.4.
- (2) O comprimento efectivo ℓ_{eff} do banzo da peça em T equivalente deverá ser considerado igual a $0,5b_a$, em que b_a é o comprimento da cantoneira de ligação, ver a Figura 6.12.
- (3) As dimensões e_{min} e m para utilização em 6.2.4 deverão ser determinadas conforme indicado na Figura 6.13.

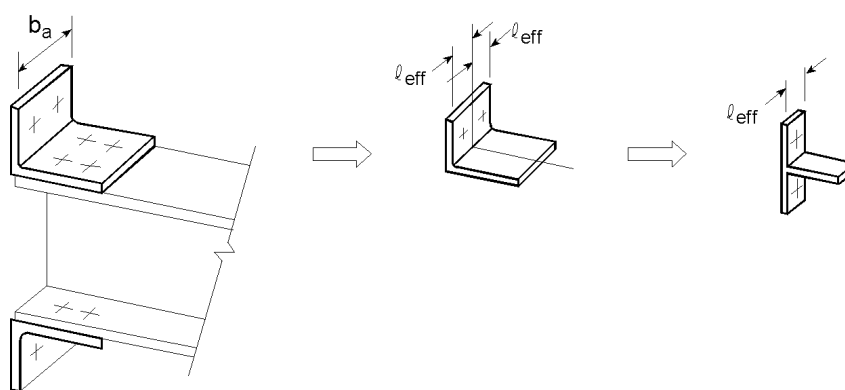
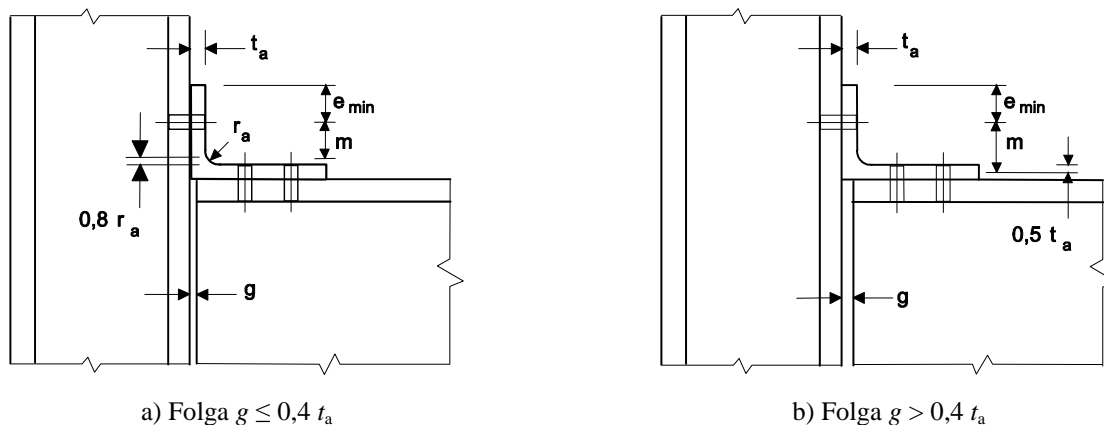


Figura 6.12 – Comprimento efectivo ℓ_{eff} de uma cantoneira de ligação do banzo



NOTAS:

- O número de linhas de parafusos que ligam a cantoneira ao banzo da coluna é limitado a um.
- O número de linhas de parafusos que ligam a cantoneira ao banzo da viga não é limitado.
- O comprimento b_a da cantoneira poderá ser diferente, quer da largura do banzo da viga, quer da largura do banzo da coluna.

Figura 6.13 – Dimensões e_{min} e m para uma cantoneira de ligação aparafusada

6.2.6.7 Banzo e alma da viga em compressão

- (1) Poderá admitir-se que a resultante dos valores de cálculo das resistências à compressão do banzo de uma viga e da zona comprimida adjacente da alma actua ao nível do centro de compressão, ver 6.2.7. O valor de cálculo da resistência à compressão do banzo e da alma da viga combinados é determinado pela seguinte expressão:

$$F_{c,fb,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_{fb}) \quad (6.21)$$

em que:

- h altura da viga ligada;
- $M_{c,Rd}$ valor de cálculo do momento resistente da secção transversal da viga, reduzido se necessário para ter em conta o esforço de corte, ver a EN 1993-1-1. No caso de uma viga com esquadro de reforço, $M_{c,Rd}$ poderá ser calculado desprezando a contribuição do banzo intermédio;
- t_{fb} espessura do banzo da viga ligada.

Se a altura da viga incluindo o esquadro de reforço exceder 600 mm, a contribuição da alma da viga para o valor de cálculo da resistência à compressão deverá ser limitada a 20 %.

(2) Se a viga é reforçada com esquadros, estes deverão ser dispostos de tal forma que:

- a classe de aço do esquadro seja idêntica à do elemento;
- as dimensões do banzo e a espessura de alma do esquadro não sejam inferiores às do elemento;
- o ângulo entre o banzo do esquadro e o banzo do elemento não seja superior a 45°;
- o comprimento de apoio rígido s_s deverá ser considerado igual à espessura do banzo do esquadro medida no plano perpendicular ao eixo da viga.

(3) Se a viga é reforçada com esquadros, o valor de cálculo da resistência da alma comprimida da viga deverá ser determinado de acordo com 6.2.6.2.

6.2.6.8 Alma de viga em tracção

(1) Numa ligação aparafusada com chapa de extremidade, o valor de cálculo da resistência à tracção da alma da viga deverá ser obtido pela expressão:

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0} \quad (6.22)$$

(2) A largura efectiva $b_{eff,t,wb}$ da alma traccionada da viga deverá ser considerada igual ao comprimento efectivo da peça em T equivalente que representa a chapa de extremidade sujeita à flexão, obtido com base na secção 6.2.6.5, para uma única linha de parafusos ou para um grupo de parafusos.

6.2.6.9 Betão comprimido incluindo a argamassa de selagem

(1) O valor de cálculo da resistência à compressão localizada da junta entre a chapa de base e o seu apoio de betão deverá ser determinado considerando as propriedades dos materiais e as dimensões quer da argamassa de selagem quer do apoio de betão. O apoio de betão deverá ser dimensionado em conformidade com a EN 1992.

(2) O valor de cálculo da resistência do betão comprimido, incluindo a argamassa de selagem, juntamente com a de flexão da chapa de base a ele associada, $F_{c,pl,Rd}$, deverá ser considerado idêntico ao de uma peça em T equivalente, ver 6.2.5.

6.2.6.10 Chapa de base sujeita à flexão por efeito da compressão

(1) O valor de cálculo da resistência de uma chapa de base sujeita à flexão por efeito da compressão, juntamente com a da peça de betão na qual se apoia a base da coluna, $F_{c,pl,Rd}$, deverá ser considerado idêntico ao de uma peça em T equivalente, ver 6.2.5.

6.2.6.11 Chapa de base sujeita à flexão por efeito da tracção

(1) O valor de cálculo da resistência e o modo de rotura de uma chapa de base sujeita à flexão por efeito da tracção, juntamente com os chumbadouros traccionados a ela associados, $F_{t,pl,Rd}$, poderão ser determinados utilizando as regras de 6.2.6.5.

(2) No caso das chapas de base, os efeitos de alavanca que possam ocorrer não deverão ser considerados no dimensionamento da espessura da chapa de base. Os efeitos de alavanca deverão ser considerados para dimensionar os chumbadouros.

6.2.6.12 Chumbadouro traccionado

(1) Os chumbadouros deverão ser dimensionados para resistir aos efeitos das acções de cálculo. Deverão resistir às tracções causadas pelas forças ascendentes e pelos momentos flectores, quando for o caso.

(2) O braço do binário que é considerado para determinar os esforços de tracção introduzidos nos chumbadouros pelos momentos flectores não deverá ser superior à distância entre o centro de gravidade da área de apoio, na zona comprimida, e o centro de gravidade do grupo de chumbadouros, na zona traccionada.

NOTA: As tolerâncias de posicionamento dos chumbadouros poderão ter relevância.

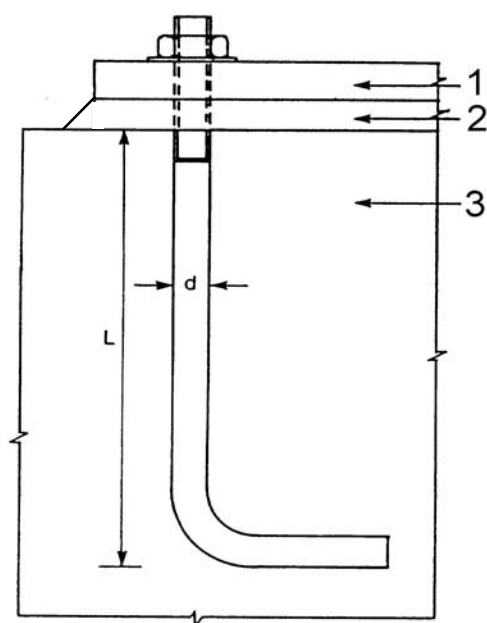
(3) O valor de cálculo da resistência do chumbadouro deverá ser considerado igual ao menor dos valores de cálculo da resistência à tracção do chumbadouro, ver 3.6, e da resistência ao escorregamento entre o betão e o chumbadouro, de acordo com a EN 1992-1-1.

(4) Para fixar os chumbadouros na fundação, deverá ser utilizado um dos seguintes métodos:

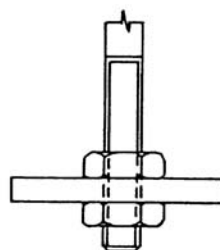
- um gancho (ver a Figura 6.14(a));
- uma chapa de amarração (ver a Figura 6.14(b));
- outro elemento adequado de distribuição de forças, embebido no betão;
- qualquer outro dispositivo de ancoragem que tenha sido devidamente ensaiado e aprovado.

(5) Quando têm um gancho, o comprimento de amarração deverá ser tal que impeça a rotura por escorregamento antes da cedência do chumbadouro. O comprimento de amarração deverá ser calculado de acordo com a EN 1992-1-1. Este tipo de amarração não deverá ser utilizado para chumbadouros com uma tensão de cedência f_{yb} superior a 300 N/mm².

(6) Quando os chumbadouros têm uma chapa de amarração ou outro elemento de distribuição de forças, não deverá ser tida em conta a contribuição da aderência. A força deverá ser transmitida, na sua totalidade, através do dispositivo de distribuição de forças.



(a) Gancho



(b) Chapa de amarração

Legenda:

- 1 Chapa de base
- 2 Argamassa de selagem
- 3 Maciço de betão

Figura 6.14 – Fixação dos chumbadouros

6.2.7 Valor de cálculo do momento resistente de juntas viga-coluna e de juntas de continuidade

6.2.7.1 Generalidades

(1) O valor de cálculo do momento aplicado, $M_{j,Ed}$, deverá satisfazer:

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.23)$$

(2) Os métodos indicados em 6.2.7 para a determinação do valor de cálculo do momento resistente de uma junta, $M_{j,Rd}$, não têm em conta qualquer esforço axial coexistente no elemento ligado, N_{Ed} . Não deverão ser utilizados se o esforço axial no elemento ligado exceder 5 % do valor de cálculo da resistência plástica, $N_{pl,Rd}$, da sua secção transversal.

(3) Se o esforço axial N_{Ed} na viga ligada exceder 5 % do valor de cálculo da resistência, $N_{pl,Rd}$, poderá utilizar-se o seguinte método conservativo:

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{j,Ed}}{N_{j,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.24)$$

em que:

$M_{j,Rd}$ valor de cálculo do momento resistente da junta, admitindo a ausência de qualquer esforço axial;

$N_{j,Rd}$ valor de cálculo do esforço normal resistente da junta, admitindo a ausência de qualquer momento aplicado.

(4) O valor de cálculo do momento resistente de uma junta soldada deverá ser determinado conforme indicado na Figura 6.15(a).

- (5) O valor de cálculo do momento resistente de uma junta aparafusada com uma chapa de extremidade não saliente e com uma única linha de parafusos traccionados (ou na qual se considera unicamente uma linha de parafusos traccionados, ver 6.2.3(6)), deverá ser determinado conforme indicado na Figura 6.15(c).
- (6) O valor de cálculo do momento resistente de uma junta aparafusada com cantoneiras de ligação dos banzos deverá ser determinado conforme indicado na Figura 6.15(b).
- (7) O valor de cálculo do momento resistente de uma junta aparafusada com chapa de extremidade com mais de uma linha de parafusos traccionados deverá, em geral, ser determinado conforme está especificado em 6.2.7.2.
- (8) Como simplificação conservativa, o valor de cálculo do momento resistente de uma junta com chapa de extremidade saliente e apenas com duas linhas de parafusos poderá ser calculado tal como indicado na Figura 6.16, desde que o valor de cálculo da resistência total, F_{Rd} , não seja superior a $3,8F_{t,Rd}$, em que $F_{t,Rd}$ é indicado no Quadro 6.2. Neste caso, toda a zona traccionada da chapa de extremidade poderá ser tratada como um único componente básico. Desde que as duas linhas de parafusos sejam aproximadamente equidistantes da respectiva face do banzo da viga, esta parte da chapa de extremidade poderá ser tratada como uma peça em T para a determinação da força na linha de parafusos, $F_{1,Rd}$. Poderá, portanto, admitir-se que o valor de $F_{2,Rd}$ é igual a $F_{1,Rd}$, e por conseguinte F_{Rd} poderá ser considerado igual a $2F_{1,Rd}$.
- (9) O centro de compressão deverá ser considerado coincidente com o centro de gravidade do bloco de tensões de compressão. Como simplificação, o centro de compressão poderá ser posicionado conforme indicado na Figura 6.15.
- (10) Uma ligação de continuidade num elemento ou numa peça solicitados à tracção deverá ser dimensionada para transmitir todos os esforços que solicitam a secção desse elemento ou peça.
- (11) As ligações de continuidade deverão ser calculadas de modo a manter na sua posição os elementos ligados. Numa ligação em compressão, as forças de atrito entre as superfícies de contacto poderão não ser suficientemente fiáveis para manter os elementos ligados nas suas posições.
- (12) Sempre que possível, os elementos deverão ser dispostos de modo a que o centro de gravidade de qualquer material utilizado na ligação coincida com o centro de gravidade do elemento. Caso existam excentricidades, os esforços daí resultantes deverão ser considerados.

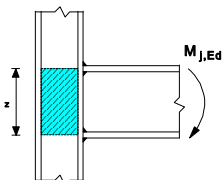
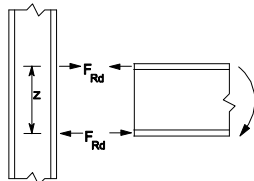
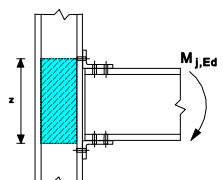
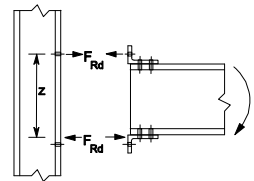
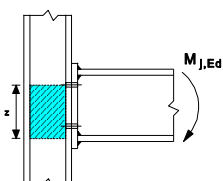
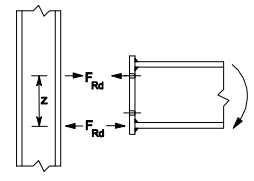
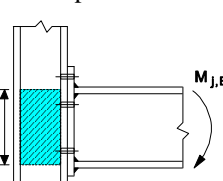
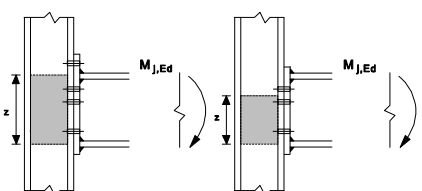
Tipo de ligação	Centro de compressão	Braço do binário	Distribuição dos esforços
<p>a) Ligação soldada</p> 	Alinhado com o meio da espessura do banzo comprimido	$z = h - t_{fb}$ h altura da viga ligada t_{fb} espessura do banzo da viga	
<p>b) Ligação aparafusada com cantoneiras de ligação dos banzos</p> 	Alinhado com o plano situado a meio da espessura da aba da cantoneira que liga o banzo comprimido	Distância entre o centro de compressão e a linha de parafusos traccionados	
<p>c) Ligação com chapa de extremidade aparafusada apenas com uma fiada activa de parafusos traccionados</p> 	Alinhado com o plano situado a meio da espessura do banzo comprimido	Distância entre o centro de compressão e a linha de parafusos traccionados	
<p>d) Ligação com chapa de extremidade saliente aparafusada apenas com duas linhas activas de parafusos traccionados</p> 	Alinhado com o plano situado a meio da espessura do banzo comprimido	De modo conservativo, z poderá ser considerado igual à distância entre o centro de compressão e um plano situado a meia distância entre essas duas linhas de parafusos	
<p>e) Outras ligações com chapas de extremidade aparafusadas com duas ou mais linhas de parafusos traccionados</p> 	Alinhado com o plano situado a meio da espessura do banzo comprimido	Poderá obter-se um valor aproximado adoptando a distância entre o centro de compressão e um plano situado a meia distância entre as duas fiadas mais afastadas de parafusos traccionados	Poderá determinar-se um valor mais preciso considerando o braço do binário z igual a z_{eq} , obtido utilizando o método indicado em 6.3.3.1

Figura 6.15 – Centro de compressão, braço do binário z e distribuição dos esforços para a determinação do valor de cálculo do momento resistente $M_{j,Rd}$

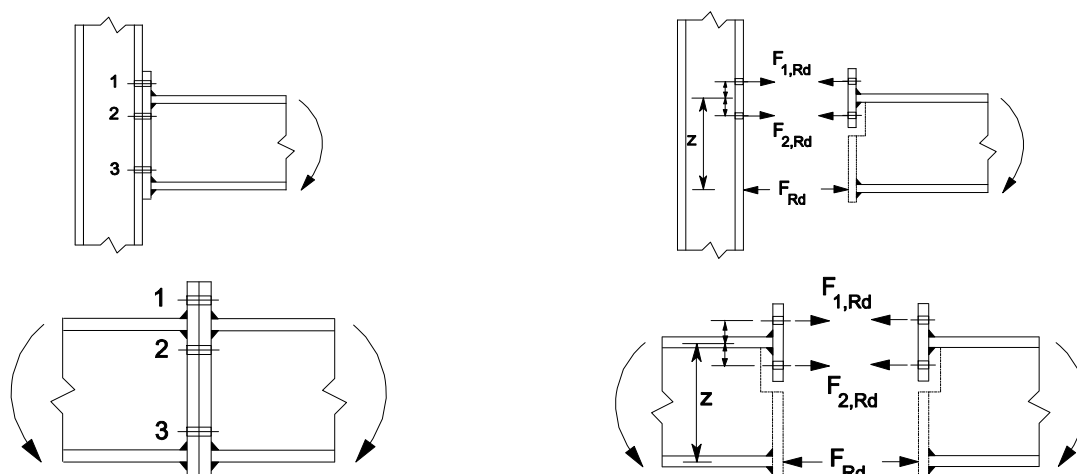


Figura 6.16 – Modelos simplificados para juntas aparafusadas com chapas de extremidade salientes

(13) Nas situações em que os elementos não são preparados para as superfícies de contacto encostarem completamente, deverão prever-se dispositivos de continuidade que assegurem a transmissão dos esforços actuantes na secção da ligação, incluindo os momentos devidos às excentricidades, às imperfeições iniciais e às deformações de segunda ordem. O momento considerado não deverá ser inferior a 25 % do momento resistente da secção mais fraca em relação a qualquer dos eixos e o esforço transversal considerado não deverá ser inferior a 2,5 % da capacidade resistente ao esforço normal da secção mais fraca, também nas direcções de ambos os eixos.

(14) No caso em que os elementos estão preparados para as superfícies de contacto encostarem completamente, deverão ser projectados elementos de continuidade que assegurem a transmissão de, pelo menos, 25 % do esforço de compressão máximo na coluna.

(15) O alinhamento das extremidades em contacto de elementos sujeitos à compressão deverá ser mantido por meio de cobrejuntas ou por outros dispositivos. As peças de continuidade e os respectivos elementos de fixação deverão ser dimensionados para transmitir as forças aplicadas ao nível das extremidades em contacto, actuando em qualquer direcção perpendicular ao eixo do elemento. Os efeitos de segunda ordem deverão ser tidos em conta no cálculo das ligações de continuidade.

(16) As ligações de continuidade de elementos em flexão deverão satisfazer os seguintes requisitos:

- a) Os banzos comprimidos deverão ser tratados como elementos comprimidos.
- b) Os banzos traccionados deverão ser tratados como elementos traccionados.
- c) As partes solicitadas ao corte deverão ser dimensionadas para transmitir o conjunto dos seguintes efeitos actuantes:
 - o esforço transversal na secção da ligação de continuidade;
 - o momento devido à excentricidade entre os centros de gravidade dos grupos de elementos de ligação localizados em cada lado da ligação de continuidade, caso ela exista;
 - a fracção do momento, deformação ou rotações suportada pela alma ou pela parcela da secção considerada, independentemente de qualquer hipótese de uma difusão de tensões para as zonas adjacentes, admitida no cálculo do elemento ou da parcela da secção considerada.

6.2.7.2 Juntas viga-coluna com chapas de extremidade aparafusadas

(1) O valor de cálculo do momento resistente, $M_{j,Rd}$, de uma junta viga-coluna com ligação aparafusada e com chapa de extremidade poderá ser determinado a partir de:

$$M_{j,Rd} = \sum_r h_r F_{tr,Rd} \quad (6.25)$$

em que:

$F_{tr,Rd}$ valor de cálculo da resistência à tracção efectiva da fiada de parafusos r ;

h_r distância entre a fiada de parafusos r e o centro de compressão;

r número da linha de parafusos.

NOTA: Numa junta aparafusada com mais de uma linha de parafusos traccionados, as linhas de parafusos são numeradas com início na linha mais afastada do centro de compressão.

(2) No caso de ligações aparafusadas com chapas de extremidade, deverá admitir-se que o centro de compressão está alinhado com o centro do banzo comprimido do elemento ligado.

(3) O valor de cálculo da resistência à tracção efectiva, $F_{tr,Rd}$, de cada linha de parafusos deverá ser determinado em sequência, começando pela linha de parafusos 1, a mais afastada do centro de compressão, passando depois para a linha 2, etc.

(4) Na determinação do valor de cálculo da resistência à tracção efectiva, $F_{tr,Rd}$, da linha de parafusos r , deverá ser ignorado o valor de cálculo da resistência à tracção efectiva de todas as outras linhas de parafusos mais próximas do centro de compressão.

(5) O valor de cálculo da resistência à tracção efectiva $F_{tr,Rd}$ da linha de parafusos r deverá ser considerado igual ao valor de cálculo da sua resistência à tracção $F_{t,Rd}$ calculada como sendo uma linha isolada de parafusos, determinado a partir de 6.2.7.2(6), se necessário reduzido para satisfazer as condições especificadas em 6.2.7.2(7), (8) e (9).

(6) O valor de cálculo da resistência à tracção efectiva $F_{tr,Rd}$ da linha de parafusos r , considerada como uma linha isolada de parafusos, deverá ser considerado igual ao menor valor de cálculo das resistências à tracção, para uma linha isolada de parafusos dos seguintes componentes básicos:

- | | | |
|---|---------------|---------------|
| – a alma da coluna sujeita à tracção | $F_{t,wc,Rd}$ | –ver 6.2.6.3; |
| – o banzo da coluna em flexão | $F_{t,fc,Rd}$ | –ver 6.2.6.4; |
| – a chapa de extremidade sujeita à flexão | $F_{t,ep,Rd}$ | –ver 6.2.6.5; |
| – a alma da viga sujeita à tracção | $F_{t,wb,Rd}$ | –ver 6.2.6.8. |

(7) O valor de cálculo da resistência à tracção efectiva $F_{tr,Rd}$ da linha de parafusos r deverá, se necessário, ser reduzido abaixo do valor de $F_{t,Rd}$ para assegurar que, quando são tidas em conta todas as linhas de parafusos até à r inclusive, se verificam as seguintes condições:

- o valor de cálculo da resistência total $\sum F_{t,Rd} \leq V_{wp,Rd}/\beta$ – com β obtido em 5.3(7) –ver 6.2.6.1;
- o valor de cálculo da resistência $\sum F_{t,Rd}$ não excede o menor dos valores:
 - o valor de cálculo da resistência à compressão da alma da coluna $F_{c,wc,Rd}$ –ver 6.2.6.2;
 - o valor de cálculo da resistência do banzo e da alma da viga à compressão $F_{c,fb,Rd}$ –ver 6.2.6.7.

(8) O valor de cálculo da resistência à tracção efectiva $F_{tr,Rd}$ da linha de parafusos r deverá, se necessário, ser reduzido abaixo do valor de $F_{t,Rd}$ para assegurar que, até à fiada r inclusive, a soma dos valores de cálculo da resistência adoptados para as linhas de parafusos que fazem parte do mesmo grupo de linhas não excede o

valor de cálculo da resistência desse grupo considerado como um todo. Esta condição deverá ser verificada para os seguintes componentes básicos:

– a alma da coluna sujeita à tracção	$F_{t,wc,Rd}$	–ver 6.2.6.3;
– o banzo da coluna, em flexão	$F_{t,fc,Rd}$	–ver 6.2.6.4;
– a chapa de extremidade sujeita à flexão	$F_{t,ep,Rd}$	–ver 6.2.6.5;
– a alma da viga sujeita à tracção	$F_{t,wb,Rd}$	–ver 6.2.6.8.

(9) Quando o valor de cálculo da resistência à tracção efectiva $F_{tx,Rd}$ de uma das linhas de parafusos precedente, x , é superior a $1,9 F_{t,Rd}$, o valor de cálculo da resistência à tracção efectiva $F_{tr,Rd}$ para a linha de parafusos r deverá, se necessário, ser reduzido de forma a assegurar que:

$$F_{tr,Rd} \leq F_{tx,Rd} h_r / h_x \quad (6.26)$$

em que:

h_x distância entre a linha de parafusos x e o centro de compressão;

x linha de parafusos mais afastada do centro de compressão cujo valor de cálculo da resistência à tracção é superior a $1,9 F_{t,Rd}$.

NOTA: O Anexo Nacional poderá fornecer mais informações sobre a utilização da expressão (6.26).

(10) O método descrito de 6.2.7.2(1) a 6.2.7.2(9) poderá ser aplicado à ligação de continuidade de uma viga, com chapas de extremidade soldadas e aparafusadas, ver a Figura 6.17, omitindo os aspectos que se referem à coluna.

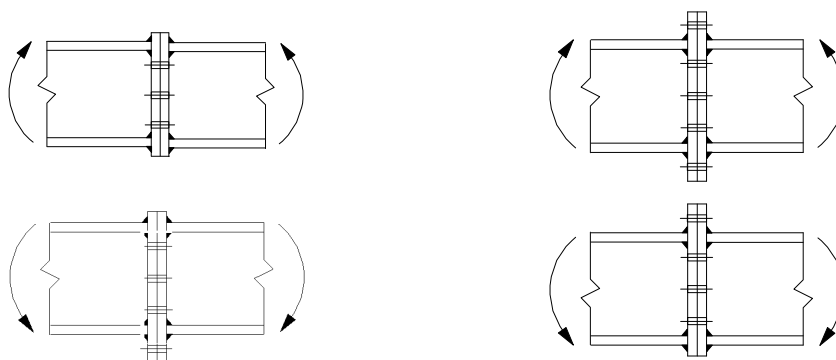


Figura 6.17 – Ligações de continuidade de vigas, aparafusadas com chapas de extremidade soldadas

6.2.8 Valor de cálculo da resistência das bases de colunas com chapas de base

6.2.8.1 Generalidades

(1) As bases das colunas deverão ter dimensões, rigidez e resistência suficientes para transmitir os esforços axiais, os momentos flectores e os esforços transversos das colunas às suas fundações ou a outros apoios sem que se exceda a capacidade resistente desses apoios.

(2) O valor de cálculo da resistência à compressão localizada da junta entre a chapa de base e o seu apoio poderá ser determinado admitindo uma distribuição uniforme do esforço de compressão na área de contacto. Para as fundações em betão, a tensão de compressão não deverá exceder o valor de cálculo da resistência à compressão localizada, f_{jd} , indicado em 6.2.5(7).

(3) No caso de uma base de coluna sujeita à combinação de esforço normal e momento flector, a transmissão dos esforços entre a chapa de base e a sua superfície de apoio pode fazer-se de acordo com uma das

seguintes distribuições, em função da relação entre as intensidades do esforço normal e do momento flector actuantes:

- no caso de um esforço normal de compressão dominante, poderão desenvolver-se compressões sob os dois banzos da coluna, tal como representado na Figura 6.18(a);
- no caso de um esforço de tracção dominante, poderão desenvolver-se tracções sob os dois banzos, tal como representado na Figura 6.18(b);
- no caso de um momento flector dominante, poderão desenvolver-se compressões sob um banzo da coluna e tracções sob o outro, tal como representado nas Figuras 6.18(c) e 6.18(d).

(4) As chapas de base deverão ser dimensionadas utilizando os métodos adequados descritos em 6.2.8.2 e 6.2.8.3.

(5) A resistência ao esforço transversal entre a chapa de base e o seu apoio deverá ser garantida por um dos seguintes métodos:

- resistência por atrito na superfície de contacto entre a chapa de base e o seu apoio, adicionada à resistência ao esforço transversal dos chumbadouros;
- resistência ao esforço transversal das zonas da fundação envolventes.

No caso de se utilizarem chumbadouros para assegurar a transmissão dos esforços transversos entre a chapa de base e o seu apoio, deverá também verificar-se se há possibilidade de rotura do betão por esmagamento, de acordo com a EN 1992.

Nas situações em que os métodos acima referidos forem inadequados, deverão utilizar-se elementos especiais, tais como conectores rígidos ou flexíveis, para a transmissão dos esforços transversos entre a chapa de base e o seu apoio.

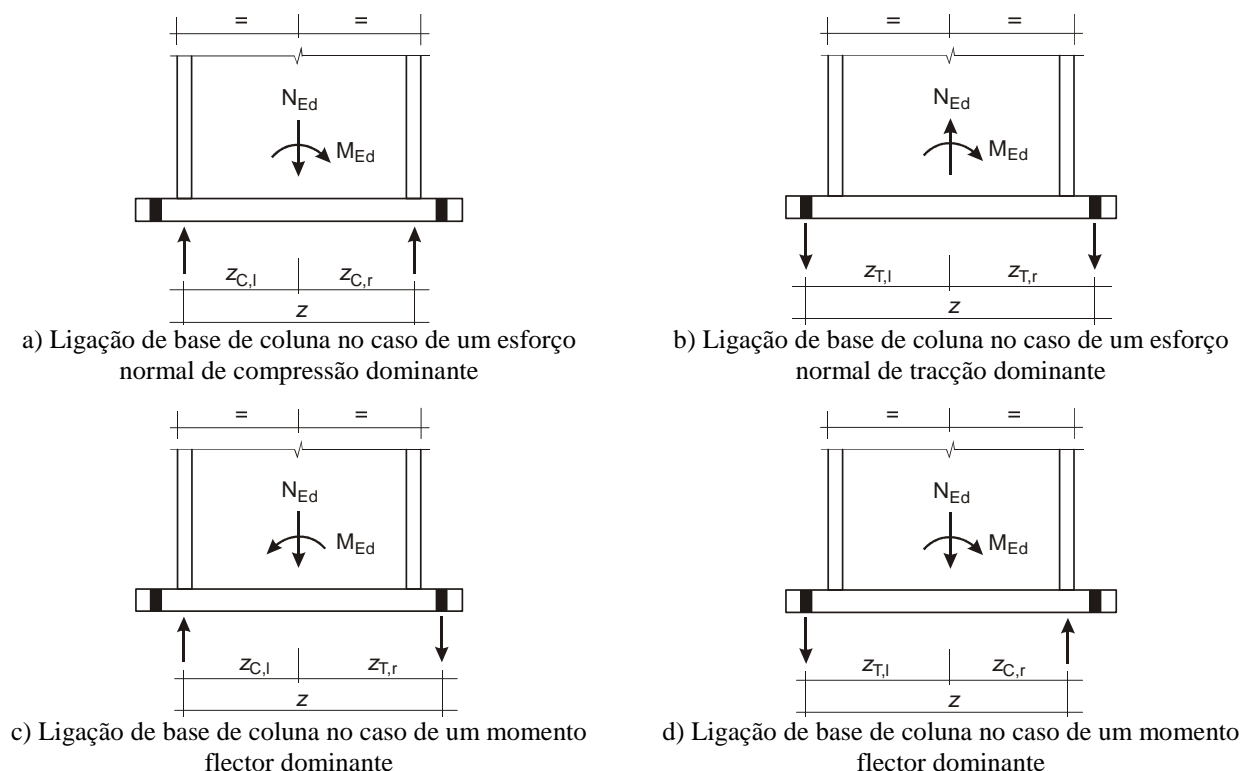
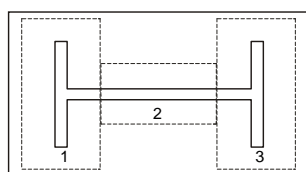


Figura 6.18 – Determinação do braço do binário z para ligações de bases de colunas

6.2.8.2 Bases de colunas solicitadas unicamente por esforços normais

(1) O valor de cálculo da resistência, $N_{j,Rd}$, de uma chapa de base de coluna simétrica sujeita a um esforço axial de compressão centrado poderá ser determinado somando o valor de cálculo da resistência individual $F_{C,Rd}$ das três peças em T representadas na Figura 6.19 (duas peças em T sob os banzos da coluna e uma peça em T sob a alma da coluna). As três peças em T não deverão sobrepor-se, ver a Figura 6.19. O valor de cálculo da resistência de cada uma destas peças em T deverá ser calculado utilizando o método indicado em 6.2.5.



Legenda:

- 1 Peça em T n.º 1
- 2 Peça em T n.º 2
- 3 Peça em T n.º 3

Figura 6.19 – Peças em T sem sobreposição

6.2.8.3 Bases de colunas solicitadas por esforços normais e por momentos flectores

(1) O valor de cálculo do momento resistente $M_{j,Rd}$ de uma base de coluna sujeita à combinação de um esforço normal e de um momento flector deverá ser determinado utilizando o método do Quadro 6.7, no qual não é considerada a contribuição da área de betão situada imediatamente abaixo da alma da coluna (peça em T n.º 2 da Figura 6.19). Neste método utilizam-se os seguintes parâmetros:

- $F_{T,l,Rd}$ valor de cálculo da resistência à tracção do lado esquerdo da junta – ver 6.2.8.3(2);
- $F_{T,r,Rd}$ valor de cálculo da resistência à tracção do lado direito da junta – ver 6.2.8.3(3);
- $F_{C,l,Rd}$ valor de cálculo da resistência à compressão do lado esquerdo da junta – ver 6.2.8.3(4);
- $F_{C,r,Rd}$ valor de cálculo da resistência à compressão do lado direito da junta – ver 6.2.8.3(5).

(2) O valor de cálculo da resistência à tracção $F_{T,l,Rd}$ do lado esquerdo da junta deverá ser considerado igual ao menor valor de cálculo das resistências dos seguintes componentes básicos:

- a alma traccionada da coluna sob o banzo do lado esquerdo da coluna $F_{t,wc,Rd}$ –ver 6.2.6.3;
- a chapa de base sujeita à flexão sob o banzo do lado esquerdo da coluna $F_{t,pl,Rd}$ –ver 6.2.6.11.

(3) O valor de cálculo da resistência à tracção $F_{T,r,Rd}$ do lado direito da junta deverá ser considerado igual ao menor valor de cálculo das resistências dos seguintes componentes básicos:

- a alma traccionada da coluna sob o banzo do lado direito da coluna $F_{t,wc,Rd}$ –ver 6.2.6.3;
- a chapa de base sujeita à flexão sob o banzo do lado direito da coluna $F_{t,pl,Rd}$ –ver 6.2.6.11.

(4) O valor de cálculo da resistência à compressão $F_{C,l,Rd}$ do lado esquerdo da junta deverá ser considerado igual ao menor valor de cálculo das resistências dos seguintes componentes básicos:

- o betão comprimido sob o banzo do lado esquerdo da coluna $F_{c,pl,Rd}$ –ver 6.2.6.9;
- o banzo e a alma comprimidos do lado esquerdo da coluna $F_{c,fc,Rd}$ –ver 6.2.6.7.

(5) O valor de cálculo da resistência à compressão $F_{C,r,Rd}$ do lado direito da junta deverá ser considerado igual ao menor valor de cálculo das resistências dos seguintes componentes básicos:

- o betão comprimido sob o banzo do lado direito da coluna $F_{c,pl,Rd}$ –ver 6.2.6.9;
- o banzo e a alma comprimidos do lado direito da coluna $F_{c,fc,Rd}$ –ver 6.2.6.7.

(6) Para o cálculo de $z_{T,l}$, $z_{C,l}$, $z_{T,r}$, $z_{C,r}$ ver 6.2.8.1.

Quadro 6.7 – Valor de cálculo do momento resistente $M_{j,Rd}$ das bases de colunas

Carregamento	Braço do binário z	Valor de cálculo do momento resistente $M_{j,Rd}$	
Lado esquerdo traccionado Lado direito comprimido	$z = z_{T,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} > 0$ e $e > z_{T,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ e $e \leq -z_{C,r}$
		O menor dos valores $\frac{F_{T,l,Rd} z}{z_{C,r} / e + 1}$ e $\frac{-F_{C,r,Rd} z}{z_{T,l} / e - 1}$	
Lado esquerdo traccionado Lado direito traccionado	$z = z_{T,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ e $0 < e < z_{T,l}$	$N_{Ed} > 0$ e $-z_{T,r} < e \leq 0$
		O menor dos valores $\frac{F_{T,l,Rd} z}{z_{T,r} / e + 1}$ e $\frac{F_{T,r,Rd} z}{z_{T,l} / e - 1}$	O menor dos valores $\frac{F_{T,l,Rd} z}{z_{T,r} / e + 1}$ e $\frac{F_{T,l,Rd} z}{z_{T,l} / e - 1}$
Lado esquerdo comprimido Lado direito traccionado	$z = z_{C,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ e $e \leq -z_{T,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ e $e > z_{C,l}$
		O menor dos valores $\frac{-F_{C,l,Rd} z}{z_{T,r} / e + 1}$ e $\frac{F_{T,r,Rd} z}{z_{C,l} / e - 1}$	
Lado esquerdo comprimido Lado direito comprimido	$z = z_{C,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ e $0 < e < z_{C,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ e $-z_{C,r} < e \leq 0$
		O menor dos valores $\frac{-F_{C,l,Rd} z}{z_{C,r} / e + 1}$ e $\frac{-F_{C,r,Rd} z}{z_{C,l} / e - 1}$	O menor dos valores $\frac{-F_{C,l,Rd} z}{z_{C,r} / e + 1}$ e $\frac{-F_{C,r,Rd} z}{z_{C,l} / e - 1}$
$M_{Ed} > 0$ é no sentido dos ponteiros de um relógio, $N_{Ed} > 0$ é tracção.			
$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{M_{Rd}}{N_{Rd}}$			

6.3 Rigidez de rotação

6.3.1 Modelo básico

(1) A rigidez de rotação de uma junta deverá ser determinada com base nas flexibilidades dos seus componentes básicos, cada uma representada por um coeficiente de rigidez elástica, k_i , obtido de 6.3.2.

NOTA: Estes coeficientes de rigidez elástica são de aplicação generalizada.

(2) No caso de uma junta aparafusada com chapa de extremidade, com mais de uma fiada de parafusos traccionados, deverão ser combinados os coeficientes de rigidez k_i dos componentes básicos apropriados. Em 6.3.3 está indicado um método aplicável às juntas viga-coluna e às juntas de continuidade de vigas e, para as bases das colunas, é indicado um método em 6.3.4.

(3) Numa junta aparafusada com uma chapa de extremidade com mais de uma linha de parafusos traccionados poderá, como simplificação, ser desprezada a contribuição de qualquer linha de parafusos desde que as contribuições de todas as outras linhas mais próximas do centro de compressão sejam também desprezadas. O número de linhas de parafusos consideradas não tem necessariamente que ser igual ao utilizado para a determinação do valor de cálculo do momento resistente.

(4) Desde que o esforço axial, N_{Ed} , no elemento ligado não exceda 5 % do valor de cálculo da resistência, $N_{pl,Rd}$, da sua secção transversal, a rigidez de rotação S_j de uma junta viga-coluna ou de uma junta de continuidade de viga poderá ser obtida, com precisão suficiente para um momento $M_{j,Ed}$ inferior ao valor de cálculo do momento resistente $M_{j,Rd}$ da junta, com base em:

$$S_j = \frac{E z^2}{\mu \sum_i \frac{1}{k_i}} \quad (6.27)$$

em que:

k_i coeficiente de rigidez do componente básico i , da junta;

z braço do binário, ver 6.2.7;

μ relação de rigidez $S_{j,ini}/S_j$, ver 6.3.1(6).

NOTA: A rigidez de rotação inicial $S_{j,ini}$ da junta é obtida pela expressão (6.27) com $\mu = 1,0$.

(5) A rigidez de rotação S_j da base de uma coluna poderá ser obtida com precisão suficiente, para um momento $M_{j,Ed}$ inferior ao valor de cálculo do momento resistente $M_{j,Rd}$ da junta, com base nas disposições expressas em 6.3.4.

(6) A relação de rigidez μ deverá ser determinada do modo seguinte:

– se $M_{j,Ed} \leq 2/3 M_{j,Rd}$:

$$\mu = 1 \quad (6.28a)$$

– se $2/3 M_{j,Rd} < M_{j,Ed} \leq M_{j,Rd}$:

$$\mu = (1,5 M_{j,Ed} / M_{j,Rd})^\psi \quad (6.28b)$$

em que o coeficiente ψ é obtido no Quadro 6.8.

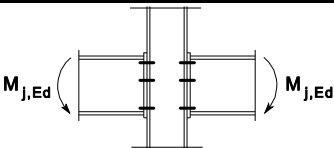
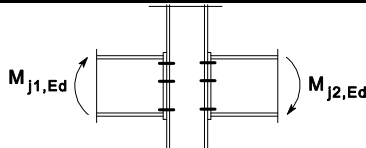
Quadro 6.8 – Valor do coeficiente ψ

Tipo de ligação	ψ
Soldada	2,7
Chapa de extremidade aparafusada	2,7
Cantoneiras de ligação dos banzos aparafusadas	3,1
Chapas de base de colunas	2,7

(7) Os componentes básicos que deverão ser considerados no cálculo da rigidez de uma junta viga-coluna soldada e de uma junta com cantoneiras de ligação dos banzos aparafusadas estão indicados no Quadro 6.9. Do mesmo modo, os componentes básicos para uma ligação aparafusada com chapa de extremidade e para uma chapa de base estão indicados no Quadro 6.10. Nestes dois quadros, os coeficientes de rigidez, k_i , para os componentes básicos são definidos no Quadro 6.11.

(8) Em juntas viga-coluna com chapas de extremidade, deverá utilizar-se o seguinte procedimento para o cálculo da rigidez da junta. O coeficiente de rigidez equivalente, k_{eq} , e o braço do binário equivalente, z_{eq} , da junta deverão ser obtidos conforme indicado em 6.3.3. A rigidez da junta deverá, depois, ser determinada de acordo com 6.3.1(4) com base nos coeficientes de rigidez, k_{eq} (para a junta), e k_1 (para a alma da coluna solicitada ao corte), e no braço do binário, z , considerado igual ao braço do binário equivalente da junta, z_{eq} .

Quadro 6.9 – Juntas com ligações soldadas ou com cantoneiras de ligação dos banzos aparafusadas

Junta viga-coluna com ligações soldadas		Coeficientes de rigidez k_i a considerar
Viga num só lado		$k_1; k_2; k_3$
Vigas em dois lados – Momentos iguais e com sentidos opostos		$k_2; k_3$
Vigas em dois lados – Momentos diferentes		$k_1; k_2; k_3$
Junta viga-coluna com ligações de cantoneiras de ligação dos banzos aparafusadas		Coeficientes de rigidez k_i a considerar
Viga num só lado		$k_1; k_2; k_3; k_4; k_6; k_{10}; k_{11}^*); k_{12}^{**})$
Vigas em dois lados – Momentos iguais e com sentidos opostos		$k_2; k_3; k_4; k_6; k_{10}; k_{11}^*); k_{12}^{**})$
Vigas em dois lados – Momentos diferentes		$k_1; k_2; k_3; k_4; k_6; k_{10}; k_{11}^*); k_{12}^{**})$
 <p>Momentos iguais e opostos</p>	 <p>Momentos diferentes</p>	<p>*) Dois coeficientes k_{11}, um para cada banzo</p> <p>**) Quatro coeficientes k_{12}, um para cada banzo e um para cada cantoneira</p>

Quadro 6.10 – Juntas com ligações aparafusadas com chapa de extremidade e com chapas de base de colunas

Junta viga-coluna com ligações aparafusadas e com chapa de extremidade	Número de linhas de parafusos traccionados	Coeficientes de rigidez k_i a considerar
Viga num só lado	Uma	$k_1; k_2; k_3; k_4; k_5; k_{10}$
	Duas ou mais	$k_1; k_2; k_{eq}$
Vigas em dois lados – Momentos iguais e com sentidos opostos	Uma	$k_2; k_3; k_4; k_5; k_{10}$
	Duas ou mais	$k_2; k_{eq}$
Vigas em dois lados – Momentos diferentes	Uma	$k_1; k_2; k_3; k_4; k_5; k_{10}$
	Duas ou mais	$k_1; k_2; k_{eq}$
Ligação de continuidade de viga com chapas de extremidade aparafusadas	Número de linhas de parafusos traccionados	Coeficientes de rigidez k_i a considerar
Vigas em dois lados – Momentos iguais e com sentidos opostos	Uma	k_5 [esquerdo]; k_5 [direito]; k_{10}
	Duas ou mais	k_{eq}
Ligações com chapas de base	Número de linhas de parafusos traccionados	Coeficientes de rigidez k_i a considerar
Ligações com chapas de base	Uma	$k_{13}; k_{15}; k_{16}$
	Duas ou mais	$k_{13}; k_{15}$ e k_{16} para cada linha de parafusos

6.3.2 Coeficientes de rigidez dos componentes básicos das juntas

(1) Os coeficientes de rigidez dos componentes básicos das juntas deverão ser determinados utilizando as expressões inscritas no Quadro 6.11.

Quadro 6.11 – Coeficientes de rigidez dos componentes básicos das juntas

Componente	Coeficiente de rigidez k_i	
Painel de alma da coluna solicitado ao corte	Não reforçado	Reforçado
	Ligação num só lado, ou ligações em dois lados com alturas de vigas semelhantes	
	$k_1 = \frac{0,38 A_{vc}}{\beta z}$	$k_1 = \infty$
	z braço do binário da Figura 6.15; β parâmetro de transformação de 5.3(7).	
Alma da coluna comprimida	Não reforçada	Reforçada
	$k_2 = \frac{0,7 b_{\text{eff,c,wc}} t_{wc}}{d_c}$	$k_2 = \infty$
	$b_{\text{eff,c,wc}}$ largura efectiva de 6.2.6.2.	
Alma da coluna traccionada	Ligação aparafusada reforçada ou não reforçada com uma única linha de parafusos traccionados ou ligação soldada não reforçada	Ligação soldada reforçada
	$k_3 = \frac{0,7 b_{\text{eff,t,wc}} t_{wc}}{d_c}$	$k_3 = \infty$
	$b_{\text{eff,t,wc}}$ largura efectiva da alma da coluna traccionada de 6.2.6.3. Para uma junta com uma única linha de parafusos traccionados, $b_{\text{eff,t,wc}}$ deverá ser considerada igual ao menor dos comprimentos efectivos ℓ_{eff} (isoladamente ou como parte de um grupo de linhas de parafusos) fornecidos para esta linha de parafusos no Quadro 6.4 (para um banzo não reforçado de coluna) ou no Quadro 6.5 (para um banzo reforçado de coluna).	
Banzo da coluna solicitado à flexão (para uma única linha de parafusos traccionados)	$k_4 = \frac{0,9 \ell_{\text{eff}} t_{fc}^3}{m^3}$ ℓ_{eff} menor dos comprimentos efectivos (isoladamente ou como parte de um grupo de parafusos) para esta linha de parafusos, fornecidos no Quadro 6.4 para um banzo não reforçado de coluna ou no Quadro 6.5 para um banzo reforçado de coluna; m definido na Figura 6.8.	

(continua)

Quadro 6.11 – Coeficientes de rigidez dos componentes básicos das juntas (continuação)

Componente	Coeficiente de rigidez k_i	
Chapa de extremidade em flexão (para uma única linha de parafusos traccionados)	$k_5 = \frac{0,9 \ell_{\text{eff}} t_p^3}{m^3}$ <p>ℓ_{eff} menor dos comprimentos efectivos (isoladamente ou como parte de um grupo de linhas de parafusos) fornecidos para esta linha de parafusos no Quadro 6.6;</p> <p>m em geral, tal como definido na Figura 6.11, mas para uma fiada de parafusos localizada na saliência de uma chapa de extremidade saliente é $m = m_x$, em que m_x está definido na Figura 6.10.</p>	
Cantoneira de ligação de banzo em flexão	$k_6 = \frac{0,9 \ell_{\text{eff}} t_a^3}{m^3}$ <p>ℓ_{eff} comprimento efectivo da cantoneira de ligação do banzo da Figura 6.12;</p> <p>m definido na Figura 6.13.</p>	
Parafusos traccionados (para uma única linha de parafusos)	$k_{10} = 1,6 A_s / L_b$ pré-esforçados ou não pré-esforçados L_b comprimento dos parafusos sujeito a alongamento, considerado igual ao comprimento de aperto (espessura total das chapas e das anilhas), adicionado a metade da soma da altura da cabeça do parafuso e da altura da porca.	
Parafusos solicitados ao corte	Não pré-esforçados	Pré-esforçados ^{*)}
	$k_{11} \text{ (ou } k_{17}) = \frac{16 n_b d^2 f_{ub}}{E d_{M16}}$	$k_{11} = \infty$
	d_{M16} diâmetro nominal de um parafuso M16; n_b número de linhas de parafusos solicitados ao corte.	
Parafusos sujeitos a esmagamento (para cada componente j no qual os parafusos encostam)	Não pré-esforçados	Pré-esforçados ^{*)}
	$k_{12} \text{ (ou } k_{18}) = \frac{24 n_b k_b k_t d f_u}{E}$	$k_{12} = \infty$
	$k_b = k_{b1}$ mas $k_b \leq k_{b2}$ $k_{b1} = 0,25 e_b / d + 0,5$ mas $k_{b1} \leq 1,25$ $k_{b2} = 0,25 p_b / d + 0,375$ mas $k_{b2} \leq 1,25$ $k_t = 1,5 t_j / d_{M16}$ mas $k_t \leq 2,5$	e_b distância entre a linha de parafusos e o bordo livre da chapa na direcção de transmissão do esforço; f_u tensão de rotura à tracção do aço ao qual o parafuso se encosta; p_b distância entre as linhas de parafusos na direcção de transmissão do esforço; t_j espessura desse componente.

(continua)

Quadro 6.11 – Coeficientes de rigidez dos componentes básicos das juntas (conclusão)

Componente	Coeficiente de rigidez k_i	
Betão comprimido (incluindo a argamassa de assentamento)	$k_{13} = \frac{E_c \sqrt{b_{\text{eff}} \ell_{\text{eff}}}}{1,275 E}$ b_{eff} largura efectiva do banzo de uma peça em T, ver 6.2.5(3); ℓ_{eff} comprimento efectivo do banzo de uma peça em T, ver 6.2.5(3).	
Chapa flectida sob o efeito da compressão	$k_{14} = \infty$ Este coeficiente já é tomado em conta no cálculo do coeficiente de rigidez k_{13} .	
Chapa de base flectida sob o efeito da tracção (para uma única linha de parafusos traccionados)	Com efeitos de alavanca ^{**)}	Sem efeitos de alavanca ^{**)}
	$k_{15} = \frac{0,85 \ell_{\text{eff}} t_p^3}{m^3}$	$k_{15} = \frac{0,425 \ell_{\text{eff}} t_p^3}{m^3}$
	ℓ_{eff} comprimento efectivo do banzo de uma peça em T, ver 6.2.5(3); t_p espessura da chapa de base; m distância segundo a Figura 6.8.	
Chumbadouros traccionados	Com efeitos de alavanca ^{**)}	Sem efeitos de alavanca ^{**)}
	$k_{16} = 1,6 A_s / L_b$	$k_{16} = 2,0 A_s / L_b$
	L_b comprimento de alongamento dos chumbadouros, considerado igual à soma de 8 vezes o diâmetro nominal do chumbadouro, da espessura da camada de argamassa, da espessura da chapa, da anilha e de metade da altura da porca.	

^{*)} desde que os parafusos tenham sido dimensionados por forma a que não se gerem forças de esmagamento devido ao escorregamento das peças para a carga considerada

^{**)} poderão ocorrer efeitos de alavanca, se
$$L_b \leq \frac{8,8 m^3 A_s}{\ell_{\text{eff}} t^3}$$

NOTA 1: No cálculo de b_{eff} e ℓ_{eff} , a distância c deverá ser considerada igual a 1,25 vezes a espessura da chapa de base.

NOTA 2: Deverá considerar-se que as contrachapas não afectam a rigidez de rotação S_j da junta.

NOTA 3: Para as soldaduras (k_{19}), o coeficiente de rigidez deverá ser considerado igual a infinito. Não é necessário considerar este componente no cálculo da rigidez de rotação S_j .

NOTA 4: Para o banzo e a alma comprimidos da viga (k_7), para a alma traccionada da viga (k_8), para as chapas traccionadas ou comprimidas (k_9) e para os esquadros de reforço das vigas (k_{20}), os coeficientes de rigidez deverão ser considerados iguais a infinito. Não é necessário considerar estes componentes no cálculo da rigidez de rotação S_j .

NOTA 5: No caso em que se utiliza uma chapa de alma adicional, os coeficientes de rigidez dos componentes básicos das juntas considerados, k_1 a k_3 , deverão ser aumentados do seguinte modo:

- para o painel de alma de coluna solicitado ao corte, k_1 deverá basear-se na área de corte aumentada, A_{vc} , conforme 6.2.6.1(6);
- para a alma comprimida da coluna, k_2 deverá basear-se na espessura efectiva da alma conforme 6.2.6.2(6);
- para a alma traccionada da coluna, k_3 deverá basear-se na espessura efectiva da alma conforme 6.2.6.3(8).

6.3.3 Juntas com chapas de extremidade com duas ou mais linhas de parafusos traccionados

6.3.3.1 Método geral

(1) Para as juntas com chapas de extremidade com duas ou mais linhas de parafusos traccionados, os componentes básicos relativos a todas essas linhas deverão ser representados por um único coeficiente de rigidez equivalente, k_{eq} , determinado a partir de:

$$k_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r}{z_{eq}} \quad (6.29)$$

em que:

h_r distância entre a linha r e o centro de compressão;

$k_{eff,r}$ coeficiente de rigidez efectiva da linha r tendo em conta os coeficientes de rigidez k_i dos componentes básicos referidos em 6.3.3.1(4) ou em 6.3.3.1(5), conforme o caso;

z_{eq} braço do binário equivalente, ver 6.3.3.1(3).

(2) O coeficiente de rigidez efectiva $k_{eff,r}$ da linha de parafusos r deverá ser determinado a partir de:

$$k_{eff,r} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{k_{i,r}}} \quad (6.30)$$

em que:

$k_{i,r}$ coeficiente de rigidez que representa o componente i relativo à linha r .

(3) O braço do binário equivalente z_{eq} deverá ser determinado a partir de:

$$z_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} h_r} \quad (6.31)$$

(4) No caso de uma junta viga-coluna com chapa de extremidade, k_{eq} deverá basear-se nos (e substituí-los) coeficientes de rigidez k_i relativos:

- à alma da coluna traccionada (k_3);
- ao banzo, em flexão, da coluna (k_4);
- à chapa de extremidade, em flexão (k_5);
- aos parafusos traccionados (k_{10}).

(5) No caso de uma ligação de continuidade de vigas com chapas de extremidade aparafusadas, k_{eq} deverá basear-se nos (e substituí-los) coeficientes de rigidez k_i relativos:

- às chapas de extremidade, em flexão (k_5);
- aos parafusos traccionados (k_{10}).

6.3.3.2 Método simplificado para as chapas de extremidade salientes com duas linhas de parafusos traccionados

(1) Para ligações com chapa de extremidade saliente e com duas linhas de parafusos traccionados (uma na parte saliente da chapa de extremidade e uma outra entre os banzos da viga, ver a Figura 6.20), poderá utilizar-se um conjunto de valores modificados para os coeficientes de rigidez dos componentes básicos considerados de forma a ter em conta a contribuição combinada das duas linhas de parafusos. Cada um destes valores modificados deverá ser considerado igual ao dobro do valor correspondente a uma única linha de parafusos na parte saliente da chapa de extremidade.

NOTA: Este valor aproximado subestima ligeiramente a rigidez de rotação.

(2) Quando se utiliza este método simplificado, o braço do binário z deverá ser considerado igual à distância entre o centro de compressão e um ponto a meia distância entre as duas linhas de parafusos traccionados, ver a Figura 6.20.

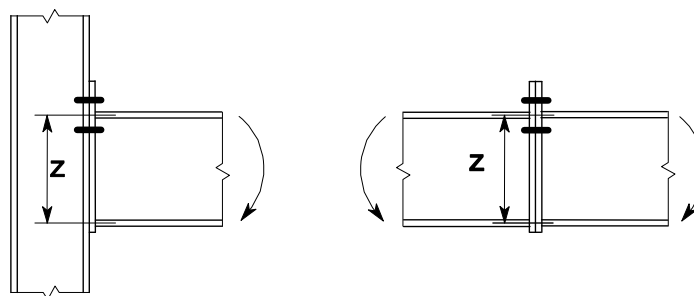


Figura 6.20 – Braço do binário z para o método simplificado

6.3.4 Bases das colunas

(1) A rigidez de rotação, S_j , da base de uma coluna submetida a uma combinação de esforço normal e de momento flector deverá ser calculada utilizando o método descrito no Quadro 6.12. Este método utiliza os seguintes coeficientes de rigidez:

$k_{T,l}$ coeficiente de rigidez à tracção do lado esquerdo da junta cujo inverso deverá ser considerado igual à soma dos inversos dos coeficientes de rigidez k_{15} e k_{16} (definidos no Quadro 6.11), actuando no lado esquerdo da junta;

$k_{T,r}$ coeficiente de rigidez à tracção do lado direito da junta cujo inverso deverá ser considerado igual à soma dos inversos dos coeficientes de rigidez k_{15} e k_{16} (definidos no Quadro 6.11), actuando no lado direito da junta;

$k_{C,l}$ coeficiente de rigidez à compressão do lado esquerdo da junta que deverá ser considerado igual ao coeficiente de rigidez k_{13} (definido no Quadro 6.11), actuando no lado esquerdo da junta;

$k_{C,r}$ coeficiente de rigidez à compressão do lado direito da junta que deverá ser considerado igual ao coeficiente de rigidez k_{13} (definido no Quadro 6.11), actuando no lado direito da junta.

(2) Para o cálculo de $z_{T,l}$, $z_{C,l}$, $z_{T,r}$, $z_{C,r}$ ver 6.2.8.1.

Quadro 6.12 – Rigidez de rotação S_j das bases de colunas

Carregamento	Braço do binário z	Rigidez de rotação $S_{j,ini}$	
Lado esquerdo traccionado Lado direito comprimido	$z = z_{T,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} > 0$ e $e > z_{T,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ e $e \leq -z_{C,r}$
		$\frac{E z^2}{\mu(1/k_{T,l} + 1/k_{C,r})} \frac{e}{e + e_k}$ em que $e_k = \frac{z_{C,r} k_{C,r} - z_{T,l} k_{T,l}}{k_{T,l} + k_{C,r}}$	
Lado esquerdo traccionado Lado direito traccionado	$z = z_{T,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ e $0 < e < z_{T,l}$	$N_{Ed} > 0$ e $-z_{T,r} < e \leq 0$
		$\frac{E z^2}{\mu(1/k_{T,l} + 1/k_{T,r})} \frac{e}{e + e_k}$ em que $e_k = \frac{z_{T,r} k_{T,r} - z_{T,l} k_{T,l}}{k_{T,l} + k_{T,r}}$	
Lado esquerdo comprimido Lado direito traccionado	$z = z_{C,l} + z_{T,r}$	$N_{Ed} > 0$ e $e \leq -z_{T,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ e $e > z_{C,l}$
		$\frac{E z^2}{\mu(1/k_{C,l} + 1/k_{T,r})} \frac{e}{e + e_k}$ em que $e_k = \frac{z_{T,r} k_{T,r} - z_{C,l} k_{C,l}}{k_{C,l} + k_{T,r}}$	
Lado esquerdo comprimido Lado direito comprimido	$z = z_{C,l} + z_{C,r}$	$N_{Ed} \leq 0$ e $0 < e < z_{C,l}$	$N_{Ed} \leq 0$ e $-z_{C,r} < e \leq 0$
		$\frac{E z^2}{\mu(1/k_{C,l} + 1/k_{C,r})} \frac{e}{e + e_k}$ em que $e_k = \frac{z_{C,r} k_{C,r} - z_{C,l} k_{C,l}}{k_{C,l} + k_{C,r}}$	
$M_{Ed} > 0$ é no sentido dos ponteiros de um relógio, $N_{Ed} > 0$ é tracção, μ ver 6.3.1(6).			
$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{M_{Rd}}{N_{Rd}}$			

6.4 Capacidade de rotação

6.4.1 Generalidades

(1) P Caso se faça uma análise global rígido-plástica, as juntas situadas nas secções das rótulas plásticas devem ter uma capacidade de rotação suficiente.

(2) A capacidade de rotação de uma junta aparafusada ou soldada deverá ser determinada com base no disposto em 6.4.2 ou 6.4.3. Os métodos de cálculo indicados nestas secções são válidos unicamente para as classes de aço S 235, S 275 e S 355 e para as juntas nas quais o valor de cálculo do esforço normal, N_{Ed} , no elemento ligado não excede 5 % do valor de cálculo da resistência plástica, $N_{pl,Rd}$, da sua secção transversal.

(3) Como alternativa ao disposto em 6.4.2 e 6.4.3, não é necessário verificar a capacidade de rotação de uma junta desde que o valor de cálculo do momento resistente, $M_{j,Rd}$, da junta seja pelo menos igual a 1,2 vezes o valor de cálculo do momento plástico resistente, $M_{pl,Rd}$, da secção transversal do elemento ligado.

(4) Nos casos não abrangidos por 6.4.2 e 6.4.3, a capacidade de rotação poderá ser determinada por ensaios que respeitem a EN 1990, Anexo D. Como alternativa, poderão utilizar-se modelos de cálculo adequados, desde que se baseiem em resultados de ensaios realizados de acordo com a EN 1990.

6.4.2 Juntas aparafusadas

(1) Uma junta viga-coluna na qual o valor de cálculo do momento resistente da junta, $M_{j,Rd}$, é condicionado pelo valor de cálculo da resistência do painel de alma da coluna solicitado ao corte, poderá ser considerada como tendo uma capacidade de rotação adequada a uma análise global plástica, desde que $d_{wc}/t_w \leq 69\varepsilon$.

(2) Poderá considerar-se que uma junta com uma chapa de extremidade aparafusada ou com cantoneira de ligação dos banzos tem uma capacidade de rotação suficiente para uma análise plástica, desde que sejam satisfeitas as duas condições seguintes:

- a) o valor de cálculo do momento resistente da junta é condicionado pelo valor de cálculo da resistência:
 - à flexão do banzo da coluna; ou
 - à flexão da chapa de extremidade da viga ou da cantoneira do banzo traccionado.
- b) a espessura t do banzo da coluna ou da chapa de extremidade da viga ou da cantoneira do banzo traccionado (não necessariamente o mesmo componente básico de a)) satisfaz a condição:

$$t \leq 0,36d \sqrt{f_{ub} / f_y} \quad (6.32)$$

em que:

d diâmetro nominal do parafuso;

f_{ub} resistência última à tracção do parafuso;

f_y tensão de cedência do componente básico considerado.

(3) Uma junta com uma ligação aparafusada na qual o valor de cálculo do momento resistente, $M_{j,Rd}$, é condicionado pelo valor de cálculo da resistência dos seus parafusos solicitados ao corte, não deverá ser considerada como tendo uma capacidade de rotação suficiente para a análise global plástica.

6.4.3 Juntas soldadas

(1) Numa ligação viga-coluna soldada na qual a alma da coluna é reforçada à compressão mas não à tracção, e desde que o valor de cálculo do momento resistente não seja condicionado pelo valor de cálculo da resistência ao corte do painel de alma da coluna, ver 6.4.2(1), poderá considerar-se que a capacidade de rotação ϕ_{Cd} não é inferior ao valor obtido por:

$$\phi_{Cd} = 0,025 h_c / h_b \quad (6.33)$$

em que:

h_b altura da secção da viga;

h_c altura da secção da coluna.

(2) Poderá considerar-se que uma junta viga-coluna soldada não reforçada, calculada em conformidade com o disposto nesta secção, tem uma capacidade de rotação ϕ_{Cd} não inferior a 0,015 radianos.

7 Juntas de perfis tubulares

7.1 Generalidades

7.1.1 Objectivo e campo de aplicação

(1) A presente secção contém regras de aplicação pormenorizadas para a determinação dos valores de cálculo das resistências estáticas de juntas planas e tridimensionais em estruturas reticuladas constituídas por perfis tubulares circulares, quadrados ou rectangulares, e de juntas planas em estruturas reticuladas constituídas por combinações de perfis tubulares com peças de secção aberta.

(2) Os valores de cálculo das resistências estáticas das juntas são expressos em termos dos valores de cálculo máximos das resistências ao esforço normal e/ou aos momentos flectores dos elementos diagonais.

(3) Estas regras de aplicação são válidas tanto para os perfis tubulares acabados a quente de acordo com a EN 10210 como para os perfis tubulares enformados a frio de acordo com a EN 10219, desde que as dimensões das secções tubulares satisfaçam os requisitos da presente secção.

(4) No caso de perfis tubulares acabados a quente e de perfis tubulares enformados a frio, o valor nominal da tensão de cedência não deverá exceder 460 N/mm^2 . Para os produtos acabados em que o valor nominal da tensão de cedência é superior a 355 N/mm^2 , os valores de cálculo da resistência estática indicados nesta secção deverão ser reduzidos por um coeficiente de 0,9.

(5) A espessura nominal dos perfis tubulares não deverá ser inferior a 2,5 mm.

(6) A espessura nominal da parede de uma corda tubular não deverá ser superior a 25 mm, a não ser que tenham sido tomadas medidas especiais para garantir que as propriedades do material se mantêm adequadas ao longo da espessura.

(7) Para a verificação da resistência em relação à fadiga, ver a EN 1993-1-9.

(8) Os tipos de juntas abrangidos estão indicados na Figura 7.1.

7.1.2 Âmbito

(1) As regras de aplicação para as juntas de perfis tubulares só poderão ser utilizadas nos casos em que são satisfeitas todas as condições de 7.1.2(2) a 7.1.2(8).

(2) As partes comprimidas dos elementos que se unem na ligação deverão respeitar os requisitos estabelecidos na EN 1993-1-1 para que as secções, estando submetidas a compressão axial, pertençam às classes 1 ou 2.

(3) Os ângulos θ_i entre as cordas e os elementos diagonais, assim como os ângulos entre elementos diagonais adjacentes, deverão satisfazer: $\theta_i \geq 30^\circ$.

(4) As extremidades dos elementos que convergem numa junta deverão ser preparadas de tal modo que não haja alteração da forma da sua secção transversal. A presente secção não abrange as ligações de extremidades achatadas nem as ligações de extremidades com entalhe.

(5) Nas juntas com afastamento entre os elementos diagonais, o intervalo não deverá ser inferior a (t_1+t_2) para assim garantir a existência do espaço necessário à execução de uma soldadura aceitável.

(6) Nas juntas com sobreposição, esta deverá ser suficientemente grande para assegurar que a interligação entre os elementos diagonais é suficiente para uma adequada transmissão do esforço de corte de um elemento diagonal para outro. Em qualquer caso, a sobreposição deverá ser pelo menos de 25 %.

Se a sobreposição exceder $\lambda_{ov,lim} = 60 \%$ no caso de o comprimento da junta da diagonal recoberta pela outra, que fica oculto, não ser soldado ou $\lambda_{ov,lim} = 80 \%$ caso esse comprimento oculto seja soldado ou se as

diagonais tiverem secções rectangulares com $h_i < b_i$ e/ou $h_j < b_j$, a ligação entre as diagonais e a face da corda deverá ser verificada ao corte.

(7) Quando os elementos diagonais que se sobrepõem são de espessuras e/ou classes de resistência diferentes, o elemento com o valor $t_i f_{yi}$ mais baixo deverá sobrepor-se ao outro elemento.

(8) Quando os elementos diagonais que se sobrepõem têm larguras diferentes, o elemento mais estreito deverá sobrepor-se ao mais largo.

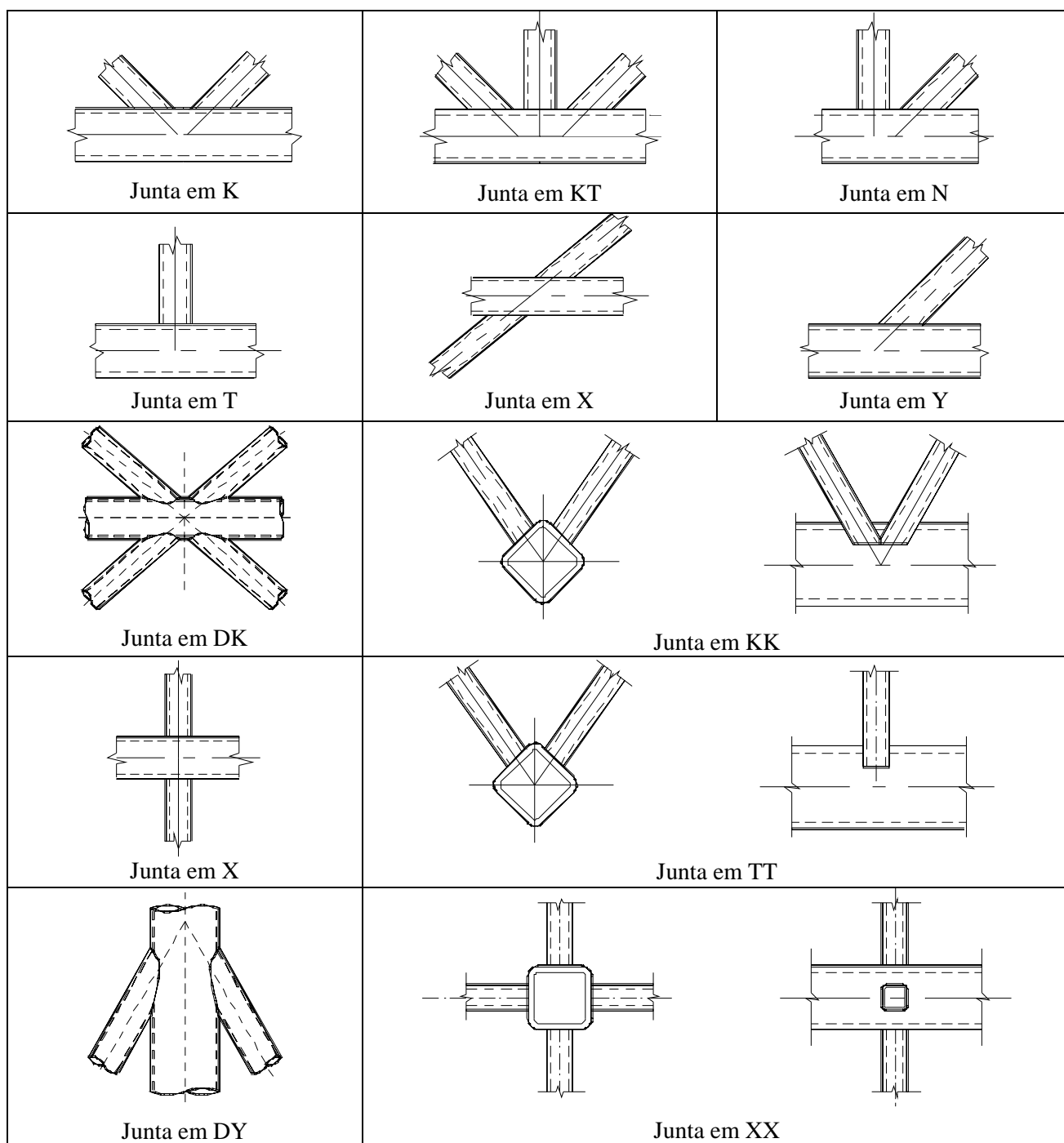


Figura 7.1 – Tipos de juntas em vigas reticuladas de secção tubular

7.2 Projecto

7.2.1 Generalidades

(1)P Os valores de cálculo, em estado limite último, dos esforços normais, quer nos elementos diagonais quer nas cordas, não devem exceder os valores de cálculo da resistência dos elementos, determinados com base na EN 1993-1-1.

(2)P Os valores de cálculo, em estado limite último, dos esforços normais nos elementos diagonais também não devem exceder os valores de cálculo da resistência das juntas indicados em 7.4, 7.5, 7.6 ou 7.7, conforme apropriado.

(3) As tensões $\sigma_{0,Ed}$ ou $\sigma_{p,Ed}$ numa corda, na secção de uma ligação, deverão ser determinadas a partir de:

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} \quad (7.1)$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{0,Ed}}{W_{el,0}} \quad (7.2)$$

em que:

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum_{i>0} N_{i,Ed} \cos \theta_i$$

7.2.2 Modos de rotura para juntas de perfis tubulares

(1) Os valores de cálculo da resistência da junta para ligações entre perfis tubulares e para ligações entre perfis tubulares e perfis de secção aberta deverão basear-se nos seguintes modos de rotura, conforme o caso:

a) **Rotura da face da corda** (rotura por plastificação da face da corda) ou plastificação da corda (rotura por plastificação da secção transversal da corda).

b) **Rotura da parede lateral da corda** (ou **rotura da alma da corda**) por plastificação, esmagamento ou instabilidade (enrugamento ou encurvadura da parede lateral da corda ou da alma da corda) sob o elemento diagonal comprimido.

c) **Rotura por corte da corda.**

d) **Rotura por punçoamento** de uma parede da corda de secção tubular (início de fissuração conduzindo à separação entre os elementos diagonais e a corda).

e) **Rotura do elemento diagonal** com largura efectiva reduzida (fissuração nas soldaduras ou nos elementos diagonais).

f) **Rotura por encurvadura local** de um elemento diagonal ou de uma corda de secção tubular no local da junta.

NOTA: As frases impressas a negrito nesta lista são utilizadas para descrever os diferentes modos de rotura nos quadros dos valores de cálculo da resistência incluídos nas secções 7.4 a 7.7.

(2) A Figura 7.2 ilustra os modos de rotura (a) a (f) de juntas entre elementos diagonais e cordas, ambos em perfil tubular de secção circular (CHS).

(3) A Figura 7.3 ilustra os modos de rotura (a) a (f) de juntas entre elementos diagonais e cordas, ambos em perfil tubular de secção rectangular (RHS).

(4) A Figura 7.4 ilustra os modos de rotura (a) a (f) de juntas entre elementos diagonais, CHS ou RHS, e cordas em perfil de secção em I ou em H.

(5) Embora a resistência de uma junta com soldaduras correctamente executadas seja, em geral, mais elevada à tracção do que à compressão, o valor de cálculo da resistência da junta depende, em geral, da resistência do elemento diagonal comprimido, por forma a evitar qualquer eventual deformação local excessiva ou qualquer redução da capacidade de rotação ou da capacidade de deformação que de outro modo poderia ocorrer.

Modo	Esforços normais	Momento flector
a		
b		
c		
d		
e		
f		

Figura 7.2 – Modos de rotura para juntas entre elementos CHS

Modo	Esforços normais	Momento flector
a		
b		
c		
d		
e		
f		

Figura 7.3 – Modos de rotura para juntas entre elementos diagonais RHS e cordas RHS

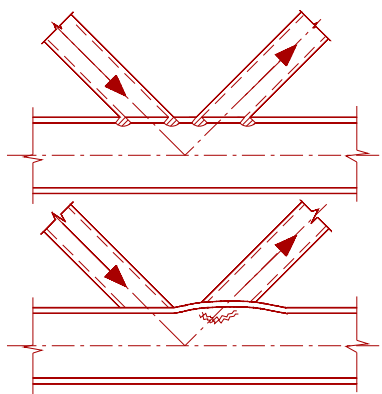
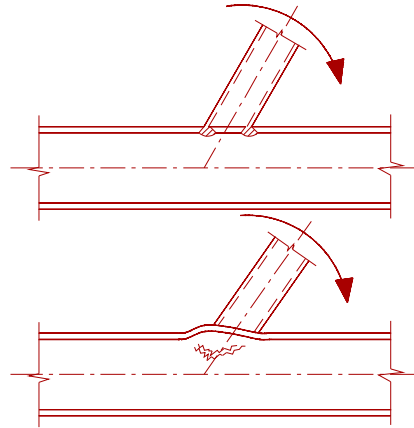
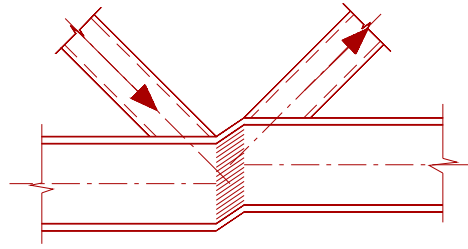
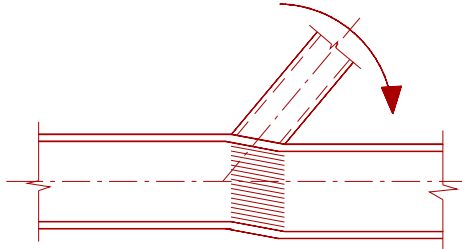
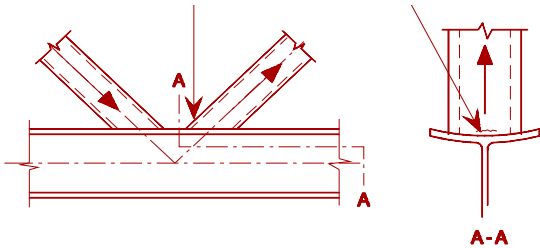
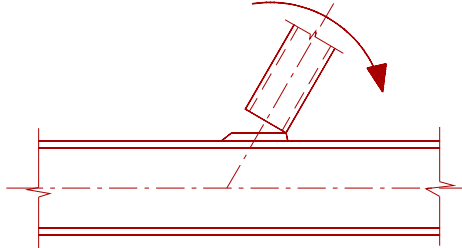
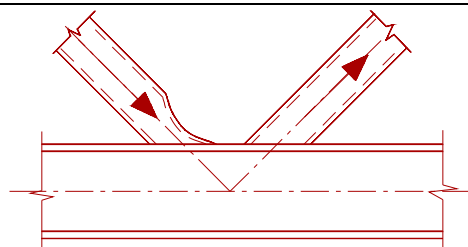
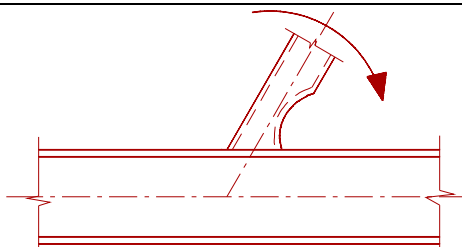
Modo	Esforços normais	Momento flector
a	—	—
b		
c		
d	—	—
e		
f		

Figura 7.4 – Modos de rotura para juntas entre elementos diagonais
CHS ou RHS e cordas em perfil de secção em I ou em H

7.3 Soldaduras

7.3.1 Valor de cálculo da resistência

(1) P As soldaduras que ligam os elementos diagonais às cordas devem ser dimensionadas por forma a terem resistência suficiente para suportarem distribuições não uniformes de tensões, e terem capacidade de deformação suficiente para permitir a redistribuição de momentos flectores.

(2) Nas juntas soldadas, a ligação deverá, geralmente, ser executada em todo o perímetro da secção tubular por meio de uma soldadura de topo, de uma soldadura de ângulo ou de uma combinação de ambas. No entanto, em juntas com sobreposição parcial, não é necessário soldar a parte oculta da ligação, desde que os esforços normais nos elementos diagonais sejam tais que as suas componentes perpendiculares ao eixo da corda não difiram em mais de 20 %.

(3) Em 1.2.7 – Norma de referência, Grupo 7, indicam-se pormenores de soldaduras correntes.

(4) O valor de cálculo da resistência da soldadura, por unidade de comprimento no perímetro de um elemento diagonal, não deverá em geral ser inferior ao valor de cálculo da resistência da secção transversal desse elemento por unidade de comprimento do perímetro.

(5) A espessura necessária para o cordão de soldadura deverá ser determinada de acordo com o estipulado na secção 4.

(6) O critério indicado em 7.3.1(4) poderá ser ignorado quando for possível justificar uma dimensão de soldadura menor, quer no que respeita à resistência quer no que respeita à capacidade de deformação e à capacidade de rotação, tendo em conta a possibilidade de apenas parte do seu comprimento ser efectivo.

(7) Para perfis tubulares de secção rectangular, o valor de cálculo da espessura dos cordões de soldadura aplicados nos bordos arredondados está definido na Figura 7.5.

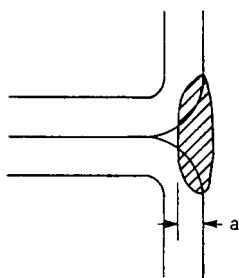


Figura 7.5 – Valor de cálculo da espessura de garganta dos cordões de soldadura em bordo arredondado entre perfis tubulares rectangulares

(8) Para soldadura em zonas enformadas a frio, ver 4.14.

7.4 Juntas soldadas entre elementos de secção tubular circular (CHS)

7.4.1 Generalidades

(1) Desde que a geometria das juntas esteja dentro do domínio de validade indicado no Quadro 7.1, os valores de cálculo da resistência das juntas soldadas entre elementos de secção tubular circular poderão ser determinados utilizando 7.4.2 e 7.4.3.

(2) Para juntas que respeitem o domínio de validade indicado no Quadro 7.1, só é necessário considerar a rotura da face da corda ou a rotura por punçoamento. O valor de cálculo da resistência de uma ligação deverá ser considerado igual ao mínimo dos valores obtidos por estes dois critérios.

(3) Para juntas que não respeitem o domínio de validade indicado no Quadro 7.1, deverão ser considerados todos os modos de rotura fornecidos em 7.2.2. Além disso, deverão ser tidos em conta os momentos flectores secundários nas juntas devidos à sua rigidez de rotação.

Quadro 7.1 – Domínio de validade para juntas soldadas entre elementos diagonais CHS e cordas CHS

Relação entre diâmetros		$0,2 \leq d_i/d_0 \leq 1,0$
Cordas	tensão	$10 \leq d_0/t_0 \leq 50$ (geralmente), mas: $10 \leq d_0/t_0 \leq 40$ (para juntas em X)
	compressão	Classe 1 ou 2 e $10 \leq d_0/t_0 \leq 50$ (geralmente), mas: $10 \leq d_0/t_0 \leq 40$ (para juntas em X)
Diagonais	tensão	$d_i/t_i \leq 50$
	compressão	Classe 1 ou 2
Sobreposição		$25 \% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}$, ver 7.1.2(6)
Afastamento		$g \geq t_1 + t_2$

7.4.2 Juntas planas

(1)P Nas ligações de elementos diagonais solicitadas unicamente por esforços normais, o valor de cálculo do esforço normal, $N_{i,Ed}$, não deve exceder o valor de cálculo do esforço normal resistente da junta soldada, $N_{i,Rd}$, obtido dos Quadros 7.2, 7.3 ou 7.4, conforme o caso.

(2) As ligações de elementos diagonais solicitados por uma combinação de esforço normal e de momentos flectores deverão satisfazer a condição seguinte:

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \left[\frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \right]^2 + \frac{|M_{op,i,Ed}|}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0 \quad (7.3)$$

em que:

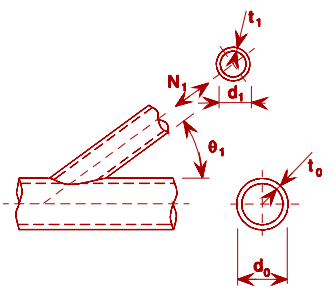
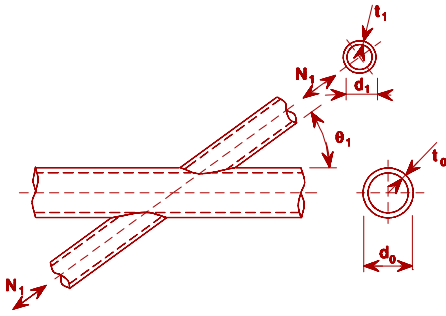
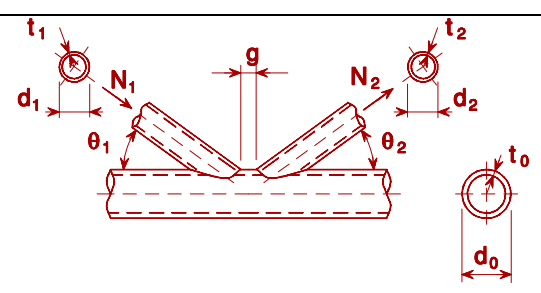
$M_{ip,i,Rd}$ valor de cálculo da resistência à flexão no plano;

$M_{ip,i,Ed}$ valor de cálculo do momento flector no plano;

$M_{op,i,Rd}$ valor de cálculo da resistência à flexão fora do plano;

$M_{op,i,Ed}$ valor de cálculo do momento flector fora do plano.

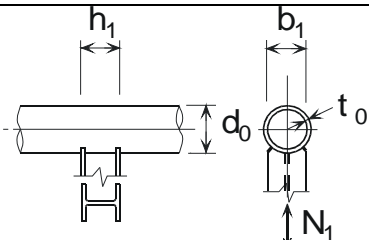
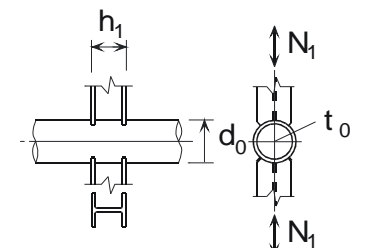
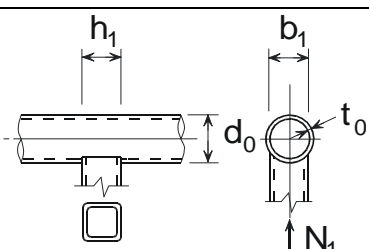
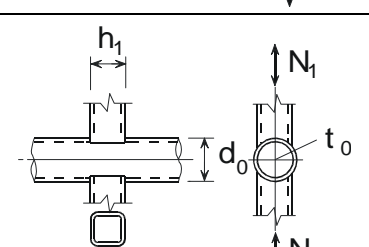
Quadro 7.2 – Esforços normais resistentes de juntas soldadas entre elementos diagonais CHS e cordas CHS

Rotura da face da corda – Juntas em T e em Y	
	$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} k_p f_{y0} t_0^2}{\text{sen } \theta_1} (2,8 + 14,2 \beta^2) / \gamma_{M5}$
Rotura da face da corda – Juntas em X	
	$N_{1,Rd} = \frac{k_p f_{y0} t_0^2}{\text{sen } \theta_1} \frac{5,2}{(1 - 0,81 \beta)} / \gamma_{M5}$
Rotura da face da corda – Juntas em K e em N com afastamento ou com sobreposição	
	$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\text{sen } \theta_1} \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right) / \gamma_{M5}$ $N_{2,Rd} = \frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} N_{1,Rd}$
Rotura por punção – Juntas em K, N e KT com afastamento e as ligações em T, Y e X [i = 1, 2 ou 3]	
<p>Quando $d_i \leq d_0 - 2t_0$: $N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \text{sen } \theta_i}{2 \text{sen}^2 \theta_i} / \gamma_{M5}$</p>	
Coeficientes k_g e k_p	
$k_g = \gamma^{0,2} \left(1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{1 + \exp(0,5 g / t_0 - 1,33)} \right) \quad (\text{ver a Figura 7.6})$	
<p>Para $n_p > 0$ (compressão): $k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$ mas $k_p \leq 1,0$ Para $n_p \leq 0$ (tração): $k_p = 1,0$</p>	

Quadro 7.3 – Resistências de cálculo de juntas soldadas de esquadros de ligação (*goussets*) a elementos CHS

Rotura da face da corda		
		$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20 \beta^2) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = 0$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
		$N_{1,Rd} = \frac{5 k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0,81 \beta} / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = 0$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
		$N_{1,Rd} = 5 k_p f_{y0} t_0^2 (1 + 0,25 \eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0$
		$N_{1,Rd} = 5 k_p f_{y0} t_0^2 (1 + 0,25 \eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0$
Rotura por punçãoamento		
$\sigma_{\max} t_1 = (N_{Ed} / A + M_{Ed} / W_{el}) t_1 \leq 2 t_0 (f_{y0} / \sqrt{3}) / \gamma_{M5}$		
Domínio de validade	Coeficiente k_p	
Em complemento dos limites indicados no Quadro 7.1: $\beta \geq 0,4$ e $\eta \leq 4$ em que: $\beta = b_1 / d_0$ e $\eta = h_1 / d_0$	Para $n_p > 0$ (compressão): $k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$ mas $k_p \leq 1,0$ Para $n_p \leq 0$ (tracção): $k_p = 1,0$	

Quadro 7.4 – Resistências de cálculo de juntas soldadas entre perfis de secção em I, em H ou RHS e elementos CHS

Rotura da face da corda	
	$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20 \beta^2) (1 + 0,25 \eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd} / (1 + 0,25 \eta)$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = \frac{5 k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0,81 \beta} (1 + 0,25 \eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd} / (1 + 0,25 \eta)$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20 \beta^2) (1 + 0,25 \eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = \frac{5 k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0,81 \beta} (1 + 0,25 \eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
Rotura por punção	
<p>Perfis em I ou em H com $\eta > 2$ (para compressão axial e flexão simples fora do plano) e secções RHS:</p> $\sigma_{\max} t_1 = (N_{Ed,1} / A_1 + M_{Ed,1} / W_{el,1}) t_1 \leq t_0 (f_{y0} / \sqrt{3}) / \gamma_{M5}$ <p>Para todos os outros casos: $\sigma_{\max} t_1 = (N_{Ed,1} / A_1 + M_{Ed,1} / W_{el,1}) t_1 \leq 2 t_0 (f_{y0} / \sqrt{3}) / \gamma_{M5}$</p> <p>em que t_1 é o banzo ou a espessura da parede do perfil em I, em H ou RHS transversal.</p>	
Domínio de validade	Coeficiente k_p
<p>Em complemento dos limites indicados no Quadro 7.1:</p> $\beta \geq 0,4 \quad \text{e} \quad \eta \leq 4$ <p>em que $\beta = b_1 / d_0$ e $\eta = h_1 / d_0$</p>	<p>Para $n_p > 0$ (compressão):</p> $k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p) \text{ mas } k_p \leq 1,0$ <p>Para $n_p \leq 0$ (tracção):</p> $k_p = 1,0$

- (3) O valor de cálculo do momento flector, $M_{i,Ed}$, poderá ser considerado igual ao valor ao nível da intersecção do eixo do elemento diagonal com a face da corda.
- (4) O valor de cálculo da resistência à flexão no plano e o valor de cálculo da resistência à flexão fora do plano, $M_{i,Rd}$, deverão ser obtidos dos Quadros 7.3, 7.4 ou 7.5, conforme o caso.
- (5) Os tipos particulares de juntas soldadas indicados no Quadro 7.6 deverão satisfazer os critérios de cálculo adequados especificados nesse quadro, para cada tipo.
- (6) Os valores do coeficiente k_g , utilizado no Quadro 7.2 para juntas em K, N e KT, estão indicados na Figura 7.6. O coeficiente k_g é utilizado tanto para as ligações com afastamento como para as ligações com sobreposição, adoptando-se g simultaneamente como medida do afastamento e da sobreposição, atribuindo-se valores negativos a g para representar a sobreposição q , tal como definido na Figura 1.3(b).

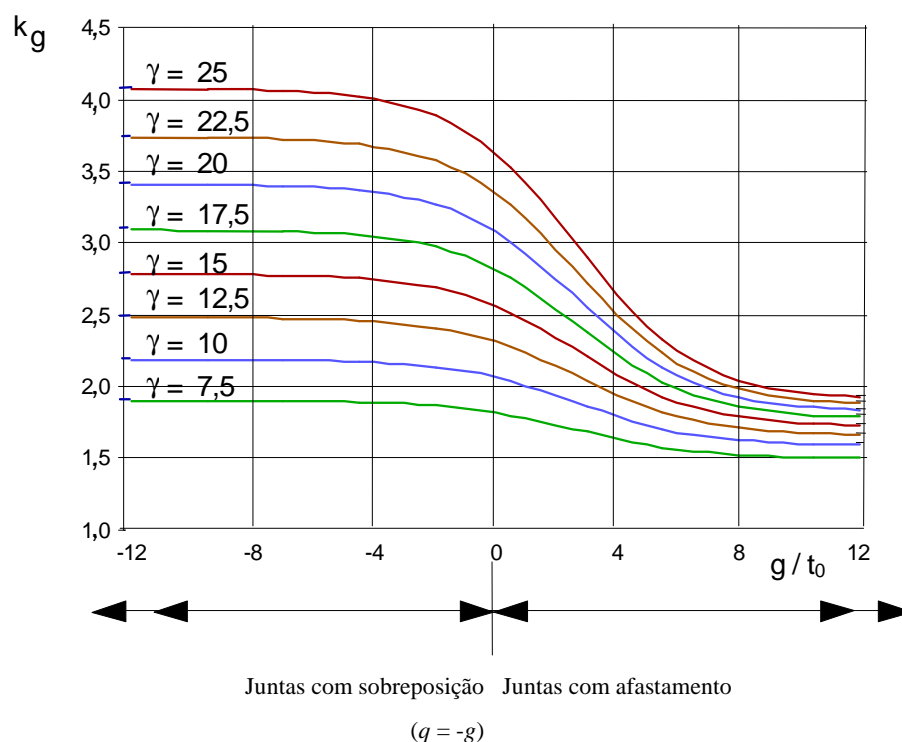
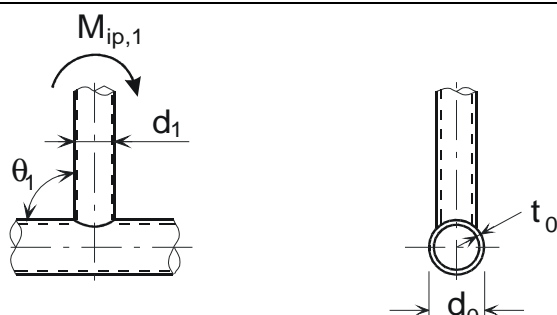
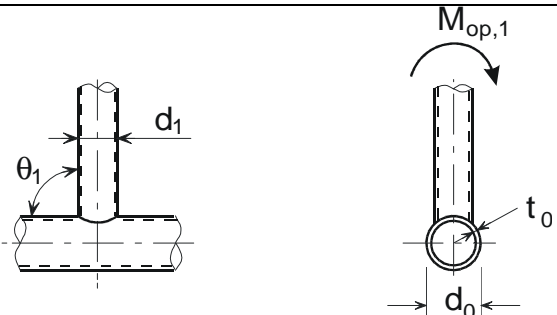
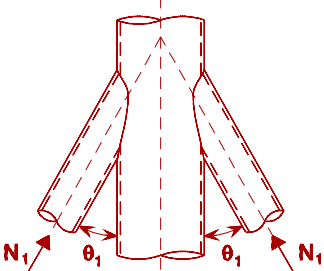
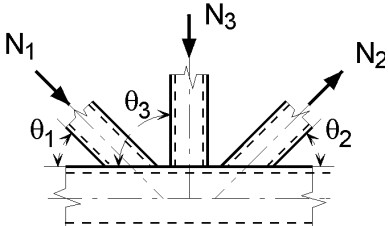
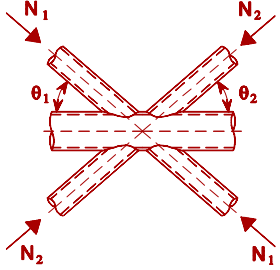
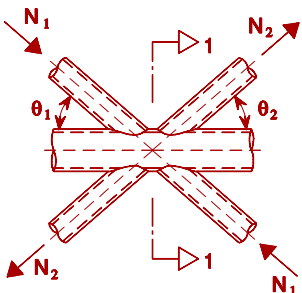


Figura 7.6 – Valores do coeficiente k_g para utilização no Quadro 7.2

Quadro 7.5 – Valores de cálculo da resistência à flexão de juntas soldadas entre elementos diagonais CHS e cordas CHS

Rotura da face da corda – Juntas em T, X e Y		
		$M_{ip,1,Rd} = 4,85 \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \sqrt{\gamma} \beta k_p / \gamma_{M5}$
Rotura da face da corda – Juntas em K, N, T, X e Y		
		$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \frac{2,7}{1 - 0,81 \beta} k_p / \gamma_{M5}$
Rotura por punçoamento – Juntas em K e em N com afastamento e todas as juntas em T, X e Y		
<p>Quando $d_1 \leq d_0 - 2t_0$:</p> $M_{ip,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{1 + 3 \sin \theta_1}{4 \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$ $M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{3 + \sin \theta_1}{4 \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$		
Coeficiente k_p		
<p>Para $n_p > 0$ (compressão):</p> $k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p) \text{ mas } k_p \leq 1,0$ <p>Para $n_p \leq 0$ (tração):</p> $k_p = 1,0$		

Quadro 7.6 – Critérios de dimensionamento para tipos particulares de juntas soldadas entre elementos diagonais CHS e cordas CHS

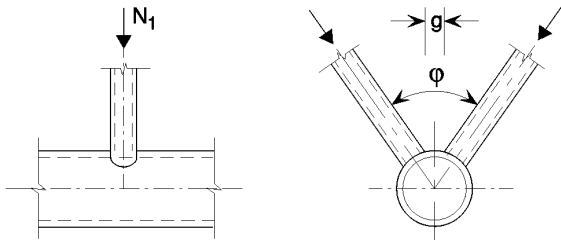
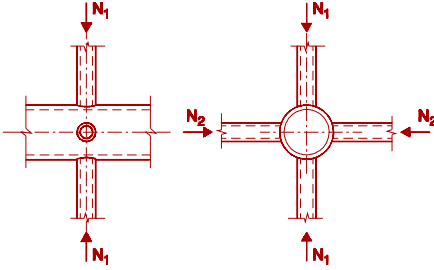
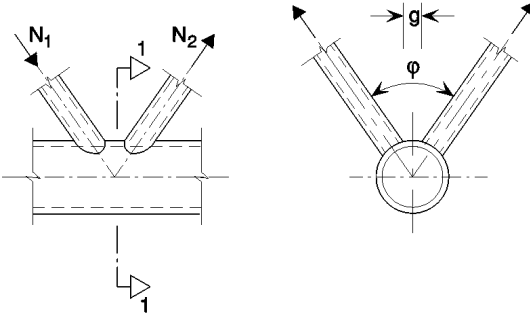
Tipo de junta	Critérios de cálculo
<p>Os esforços poderão ser de tracção ou de compressão mas deverão actuar no mesmo sentido para ambos os elementos.</p> 	$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$ <p>em que:</p> $N_{1,Rd} \text{ valor de } N_{1,Rd} \text{ para uma junta em X do Quadro 7.2.}$
<p>Os elementos 1 e 3 estão comprimidos e o elemento 2 está traccionado.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ $N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ <p>em que:</p> $N_{1,Rd} \text{ valor de } N_{1,Rd} \text{ para uma junta em K do Quadro 7.2 mas substituindo } \frac{d_1}{d_0} \text{ por } \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0}.$
<p>Todos os elementos diagonais deverão estar sempre comprimidos ou sempre traccionados.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{x,Rd} \sin \theta_x$ <p>em que:</p> $N_{x,Rd} \text{ valor de } N_{x,Rd} \text{ para uma junta em X do Quadro 7.2, em que } N_{x,Rd} \sin \theta_x \text{ é o maior valor entre } N_{1,Rd} \sin \theta_1 \text{ e } N_{2,Rd} \sin \theta_2 .$
<p>O elemento 1 está sempre comprimido e o elemento 2 está sempre traccionado.</p> 	$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ <p>em que:</p> $N_{i,Rd} \text{ valor de } N_{i,Rd} \text{ para uma junta em K do Quadro 7.2, desde que, numa junta com afastamento, na secção 1-1, a corda satisfaça:}$ $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

7.4.3 Juntas tridimensionais

(1) Em cada um dos planos relevantes de uma junta tridimensional, os critérios de cálculo indicados em 7.4.2 deverão ser satisfeitos utilizando os valores de cálculo reduzidos da resistência obtidos de acordo com 7.4.3(2).

(2) Os valores de cálculo da resistência para cada um dos planos relevantes de uma junta tridimensional deverão ser determinados aplicando o coeficiente de redução μ , indicado no Quadro 7.7, à resistência da correspondente junta plana, sendo esta calculada segundo 7.4.2 adoptando, para a determinação de k_p , o valor apropriado do esforço da corda.

Quadro 7.7 – Coeficientes de redução para juntas tridimensionais

Tipo de junta	Coeficiente de redução μ
Junta em TT	$60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$
<p>O elemento 1 poderá estar traccionado ou comprimido.</p> 	$\mu = 1,0$
Junta em XX	
<p>Os elementos 1 e 2 podem estar comprimidos ou traccionados. $N_{2,Ed}/N_{1,Ed}$ é negativo se um elemento estiver traccionado e o outro comprimido.</p> 	$\mu = 1 + 0,33 N_{2,Ed} / N_{1,Ed}$ <p>tendo em conta o sinal de $N_{1,Ed}$ e $N_{2,Ed}$, em que $N_{2,Ed} \leq N_{1,Ed}$</p>
Junta em KK	$60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$
<p>O elemento 1 está sempre comprimido e o elemento 2 está sempre traccionado.</p> 	$\mu = 0,9$ <p>desde que, numa junta com afastamento, na secção 1-1, a corda satisfaça:</p> $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

7.5 Juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas RHS

7.5.1 Generalidades

(1) Desde que a geometria das juntas esteja dentro do domínio de validade indicado no Quadro 7.8, os valores de cálculo da resistência das juntas soldadas entre elementos diagonais de secção tubular e cordas de secção tubular rectangular ou quadrada poderão ser determinados utilizando 7.5.2 e 7.5.3.

(2) Para juntas que se inserem dentro do domínio de validade indicado no Quadro 7.8, só é necessário considerar os critérios de dimensionamento indicados no quadro adequado. O valor de cálculo da resistência de uma ligação deverá ser considerado igual ao mínimo dos valores obtidos para todos os critérios aplicáveis.

(3) Para juntas que não se inserem no domínio de validade indicado no Quadro 7.8, deverão ser considerados todos os modos de rotura indicados em 7.2.2. Além disso, deverão tomar-se em consideração os momentos flectores secundários nas juntas devidos à sua rigidez de rotação.

Quadro 7.8 – Domínio de validade de juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas RHS

Tipo de junta	Parâmetros das juntas [$i = 1$ ou 2 , j = elemento diagonal sobreposto]					
	b_i/b_0 ou d_i/b_0	b_i/t_i e h_i/t_i ou d_i/t_i		h_0/b_0 e h_i/b_i	b_0/t_0 e h_0/t_0	Afastamento ou sobreposição b_i/b_j
		Compressão	Tracção			
T, Y ou X	$b_i/b_0 \geq 0,25$	$b_i/t_i \leq 35$ e $h_i/t_i \leq 35$ e Classe 1 ou 2	$b_i/t_i \leq 35$ e $h_i/t_i \leq 35$	$\geq 0,5$ mas $\leq 2,0$	≤ 35 e Classe 1 ou 2	—
K com afastamento N com afastamento	$b_i/b_0 \geq 0,35$ e $\geq 0,1 + 0,01 b_0/t_0$	$b_i/t_i \leq 35$ e Classe 1 ou 2	$b_i/t_i \leq 35$ e $h_i/t_i \leq 35$	$\geq 0,5$ mas $\leq 2,0$	≤ 35 e Classe 1 ou 2	$g/b_0 \geq 0,5(1 - \beta)$ mas $\leq 1,5(1 - \beta)^{1)}$ e como mínimo $g \geq t_1 + t_2$
K com sobreposição N com sobreposição	$b_i/b_0 \geq 0,25$	Classe 1			Classe 1 ou 2	$25 \% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}^{2)}$ $b_i/b_j \leq 0,75$
Elemento diagonal circular	$d_i/b_0 \geq 0,4$ mas $\leq 0,8$	Classe 1	$d_i/t_i \leq 50$	Como acima mas com d_i substituindo b_i e d_j substituindo b_j		

¹⁾ Se $g/b_0 > 1,5(1 - \beta)$ e $g > t_1 + t_2$ tratar a junta como se fossem duas juntas distintas, em T ou em Y.

²⁾ $\lambda_{ov,lim} = 60 \%$ no caso de o comprimento oculto da junta não estar soldado e 80% no caso de esse comprimento oculto ter sido soldado. Se a sobreposição exceder $\lambda_{ov,lim}$, ou se as diagonais forem secções tubulares rectangulares com $h_i < b_i$ e/ou $h_j < b_j$, a ligação entre as diagonais e a face da corda deverá ser verificada ao corte.

7.5.2 Juntas planas

7.5.2.1 Juntas não reforçadas

(1) Nas ligações de elementos diagonais solicitados unicamente por esforços normais, o valor de cálculo do esforço normal, $N_{i,Ed}$, não deverá exceder o valor de cálculo do esforço normal resistente da junta soldada, $N_{i,Rd}$, determinado a partir de 7.5.2.1(2) ou 7.5.2.1(4), conforme o caso.

(2) No caso de juntas soldadas ligando unicamente elementos diagonais de secção tubular quadrada ou circular e cordas de secção tubular quadrada, cuja geometria está dentro do domínio de validade do Quadro 7.8 e também satisfaz as condições suplementares do Quadro 7.9, os valores de cálculo do esforço normal resistente poderão ser determinados a partir das expressões indicadas no Quadro 7.10.

(3) Para as juntas que respeitem o domínio de validade do Quadro 7.9, os únicos critérios de dimensionamento que necessitam de ser considerados são os que se referem à rotura da face da corda e à rotura do elemento diagonal com a sua largura efectiva reduzida. O valor de cálculo do esforço normal resistente deverá ser considerado igual ao menor dos valores obtidos com estes dois critérios.

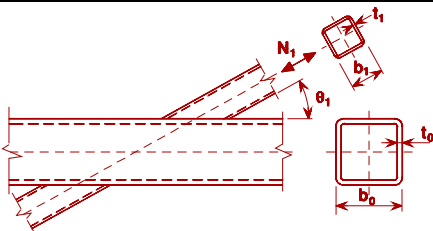
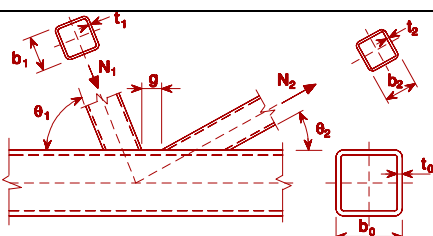
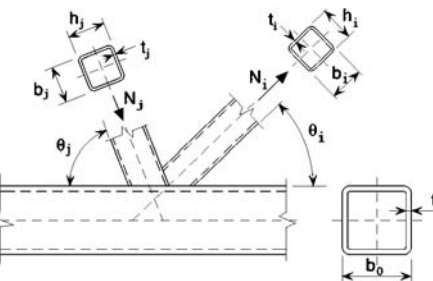
NOTA: Os valores de cálculo do esforço normal resistente para ligações de elementos diagonais tubulares com cordas de secção tubular quadrada, indicados no Quadro 7.10, foram simplificados omitindo os critérios de dimensionamento que nunca são determinantes no domínio de validade do Quadro 7.9.

(4) Os valores de cálculo do esforço normal resistente de qualquer junta soldada não reforçada entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas RHS, dentro do domínio de validade do Quadro 7.8, poderão ser determinados utilizando as expressões indicadas nos Quadros 7.11, 7.12 ou 7.13, conforme o caso. Para as juntas reforçadas, ver 7.5.2.2.

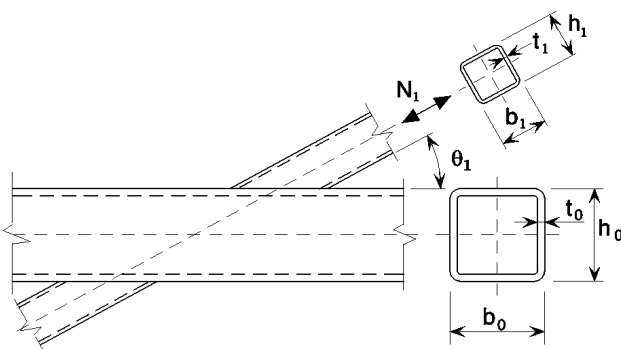
Quadro 7.9 – Condições suplementares para a utilização do Quadro 7.10

Tipo de elemento diagonal	Tipo de junta	Parâmetros da junta	
Secção tubular quadrada	T, Y ou X	$b_i/b_0 \leq 0,85$	$b_0/t_0 \geq 10$
	K com afastamento ou N com afastamento	$0,6 \leq \frac{b_1 + b_2}{2b_1} \leq 1,3$	$b_0/t_0 \geq 15$
Secção tubular circular	T, Y ou X		$b_0/t_0 \geq 10$
	K com afastamento ou N com afastamento	$0,6 \leq \frac{d_1 + d_2}{2d_1} \leq 1,3$	$b_0/t_0 \geq 15$

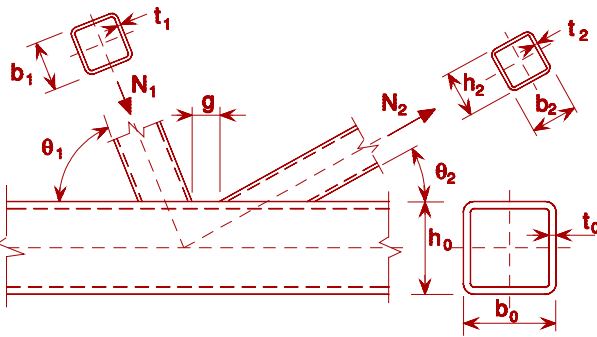
Quadro 7.10 – Valores de cálculo do esforço normal resistente de juntas soldadas entre perfis tubulares de secção quadrada ou circular

Tipo de junta	Valor de cálculo da resistência [$i = 1$ ou 2 , j = elemento diagonal sobreposto]
Juntas em T, Y e X	Rotura da face da corda $\beta \leq 0,85$
	$N_{i,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_i} \left(\frac{2\beta}{\sin \theta_i} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5}$
Juntas em K e em N com afastamento	Rotura da face da corda $\beta \leq 1,0$
	$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \gamma^{0,5} k_n f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_i} \left(\frac{b_1 + b_2}{2b_0} \right) / \gamma_{M5}$
Juntas em K e em N com sobreposição ^{*)}	Rotura do elemento diagonal $25 \% \leq \lambda_{ov} < 50 \%$
<p>O elemento i e o elemento j poderão estar traccionados ou comprimidos, mas um deverá estar traccionado e o outro comprimido.</p> 	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left(b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i \frac{\lambda_{ov}}{50} - 4t_i \right) / \gamma_{M5}$
	Rotura do elemento diagonal $50 \% \leq \lambda_{ov} < 80 \%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left[b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i \right] / \gamma_{M5}$
	Rotura do elemento diagonal $\lambda_{ov} \geq 80 \%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left[b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i \right] / \gamma_{M5}$
Parâmetros b_{eff} , $b_{e,ov}$ e k_n	
$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i \text{ mas } b_{eff} \leq b_i$	Para $n > 0$ (compressão): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta} \text{ mas } k_n \leq 1,0$
$b_{e,ov} = \frac{10}{b_j/t_j} \frac{f_{yj} t_j}{f_{yi} t_i} b_i \text{ mas } b_{e,ov} \leq b_i$	Para $n \leq 0$ (tracção): $k_n = 1,0$
No caso de elementos diagonais circulares, multiplicar as resistências acima indicadas por $\pi/4$, substituir b_1 e h_1 por d_1 e substituir b_2 e h_2 por d_2 .	
^{*)} Só é necessário verificar o elemento diagonal i que sobrepõe. A eficácia do elemento diagonal sobreposto j (ou seja, o valor de cálculo da resistência da junta dividido pelo valor de cálculo da resistência plástica do elemento diagonal) deverá ser considerada igual à do elemento diagonal que sobrepõe. Ver também o Quadro 7.8.	

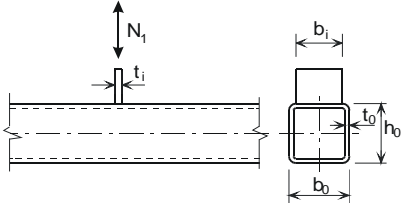
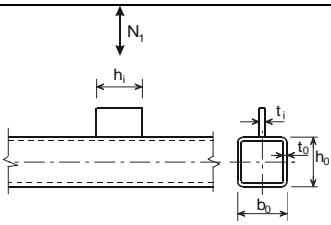
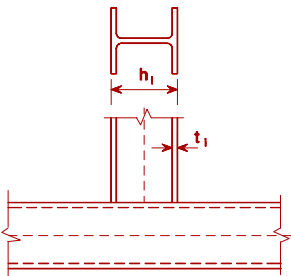
Quadro 7.11 – Valores de cálculo do esforço normal resistente de juntas soldadas em T, X e Y entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas RHS

Tipo de junta	Valor de cálculo da resistência
	Rotura da face da corda $\beta \leq 0,85$
	$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2\eta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5}$
	Encurvadura da parede lateral da corda ¹⁾ $\beta = 1,0$ ²⁾
	$N_{1,Rd} = \frac{k_n f_b t_0}{\sin \theta_1} \left(\frac{2h_1}{\sin \theta_1} + 10t_0 \right) / \gamma_{M5}$
	Rotura do elemento diagonal $\beta \geq 0,85$
	$N_{1,Rd} = f_{yi} t_1 (2h_1 - 4t_1 + 2b_{eff}) / \gamma_{M5}$
	Punçoamento $0,85 \leq \beta \leq (1 - 1/\gamma)$
	$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_1} \left(\frac{2h_1}{\sin \theta_1} + 2b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$
¹⁾ No caso de juntas em X com $\cos \theta_1 > h_1/h_0$, utilizar o menor valor entre este e o valor de cálculo da resistência ao corte das paredes laterais da corda indicado no Quadro 7.12 para as juntas em K e em N com afastamento. ²⁾ Para $0,85 \leq \beta \leq 1,0$ efectuar uma interpolação linear entre o valor para a rotura da face da corda com $\beta = 0,85$ e o valor que condiciona a rotura das paredes laterais da corda com $\beta = 1,0$ (encurvadura das paredes laterais ou corte da corda).	
Para elementos diagonais circulares, multiplicar as resistências acima indicadas por $\pi/4$, substituir b_1 e h_1 por d_1 e substituir b_2 e h_2 por d_2 .	
Para a tracção: $f_b = f_{y0}$	$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_1} b_1 \text{ mas } b_{eff} \leq b_1$
Para a compressão: $f_b = \chi f_{y0}$ (juntas em T e Y) $f_b = 0,8 \chi f_{y0} \sin \theta_1$ (juntas em X) em que: χ coeficiente de redução para a encurvadura por flexão obtido da EN 1993-1-1, com base na curva de encurvadura apropriada e numa esbelteza $\bar{\lambda}$ determinada a partir de:	$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} b_1 \text{ mas } b_{e,p} \leq b_1$
$\bar{\lambda} = 3,46 \frac{\left(\frac{h_0}{t_0} - 2 \right) \sqrt{\frac{1}{\sin \theta_1}}}{\pi \sqrt{\frac{E}{f_{y0}}}}$	Para $n > 0$ (compressão): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta} \text{ mas } k_n \leq 1,0$ Para $n \leq 0$ (tracção): $k_n = 1,0$

Quadro 7.12 – Valores de cálculo do esforço normal resistente de juntas soldadas em K e em N entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas RHS

Tipo de junta	Valor de cálculo da resistência [i = 1 ou 2]
Juntas em K e em N com afastamento	Rotura da face da corda
	$N_{i,Rd} = \frac{8,9 k_n f_{y0} t_0^2 \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_i} \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 b_0} \right) / \gamma_{M5}$
	Corte na corda
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$
	$N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$
	Rotura do elemento diagonal
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (2 h_i - 4 t_i + b_i + b_{eff}) / \gamma_{M5}$
	Punçoamento $\beta \leq (1 - 1/\gamma)$
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_i} \left(\frac{2 h_i}{\sin \theta_i} + b_i + b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$
Juntas em K e em N com sobreposição	Como no Quadro 7.10.
Para elementos diagonais circulares, multiplicar as resistências acima indicadas por $\pi/4$, substituir b_1 e h_1 por d_1 e substituir b_2 e h_2 por d_2 , excepto para o corte da corda.	
$A_v = (2 h_0 + \alpha b_0) t_0$	$b_{eff} = \frac{10}{b_0 / t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i \text{ mas } b_{eff} \leq b_i$
Para um elemento diagonal quadrado ou rectangular:	
$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 g^2}{3 t_0^2}}}$	$b_{e,p} = \frac{10}{b_0 / t_0} b_i \text{ mas } b_{e,p} \leq b_i$
em que:	
g afastamento, ver a Figura 1.3(a).	
Para elementos diagonais circulares:	
$\alpha = 0$	
	Para $n > 0$ (compressão):
	$k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta} \text{ mas } k_n \leq 1,0$
	Para $n \leq 0$ (tracção):
	$k_n = 1,0$

Quadro 7.13 – Valores de cálculo da resistência de juntas soldadas em que se ligam chapas de *gousset* ou perfis em I ou em H a elementos RHS

Chapa de <i>gousset</i> transversal	Rotura da face da corda $\beta \leq 0,85$
	$N_{1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 \frac{2 + 2,8\beta}{\sqrt{1 - 0,9\beta}} / \gamma_{M5} \quad ^*)$
	Esmagamento da parede lateral da corda quando $b_1 \geq b_0 - 2t_0$
	$N_{1,Rd} = k_n f_{y0} t_0 (2t_1 + 10t_0) / \gamma_{M5}$
	Punçoamento quando $b_1 \leq b_0 - 2t_0$
	$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3}} (2t_1 + 2b_{e,p}) / \gamma_{M5}$
Chapa de <i>gousset</i> longitudinal	Rotura da face da corda
 <p>$t_1/b_0 \leq 0,2$</p>	$N_{1,Rd} = k_m f_{y0} t_0^2 (2h_1/b_0 + 4\sqrt{1 - t_1/b_0}) / \gamma_{M5}$
Perfil em I ou em H	
	<p>Como aproximação conservativa, se $\eta \geq 2\sqrt{1 - \beta}$, poderá admitir-se que $N_{1,Rd}$, para um perfil em I ou em H, é igual ao valor de cálculo da resistência de duas chapas transversais de dimensões semelhantes aos banzos do perfil em I ou em H, determinado como acima especificado.</p> <p>Se $\eta < 2\sqrt{1 - \beta}$, deverá efectuar-se uma interpolação linear entre os casos de uma e de duas chapas.</p> <p>$M_{ip,1,Rd} = N_{1,Rd} (h_1 - t_1)$</p> <p>$N_{1,Rd}$ capacidade de um banzo;</p> <p>β relação entre a largura do banzo da diagonal com secção em I ou em H e a largura da corda com secção RHS.</p>
Domínio de validade	
Em complemento dos limites indicados no Quadro 7.8: $0,5 \leq \beta \leq 1,0$ $b_0/t_0 \leq 30$	
Parâmetros b_{eff} , $b_{e,p}$ e k_m	
$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{y1} t_1} b_1 \text{ mas } b_{eff} \leq b_i$	Para $n > 0$ (compressão): $k_m = 1,3(1 - n) \text{ mas } k_m \leq 1,0$
$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} b_1 \text{ mas } b_{e,p} \leq b_i$	Para $n \leq 0$ (tracção): $k_m = 1,0$
*) As ligações soldadas com cordão de ângulo deverão ser calculadas de acordo com 4.10.	

(5) As ligações de elementos diagonais solicitados por uma combinação de esforço normal e de momentos flectores deverão satisfazer o seguinte requisito:

$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} + \frac{M_{op,i,Ed}}{M_{op,i,Rd}} \leq 1,0 \quad (7.4)$$

em que:

$M_{ip,i,Rd}$ valor de cálculo da resistência à flexão no plano;

$M_{ip,i,Ed}$ valor de cálculo do momento flector no plano;

$M_{op,i,Rd}$ valor de cálculo da resistência à flexão fora do plano;

$M_{op,i,Ed}$ valor de cálculo do momento flector fora do plano.

(6) O valor de cálculo do momento flector, $M_{i,Ed}$, poderá ser considerado igual ao valor ao nível da intersecção do eixo do elemento diagonal com a face da corda.

(7) No caso de juntas não reforçadas, o valor de cálculo da resistência à flexão no plano e o valor de cálculo da resistência à flexão fora do plano, $M_{i,Rd}$, deverão ser obtidos dos Quadros 7.13 ou 7.14, conforme o caso. Para as juntas reforçadas, ver 7.5.2.2.

(8) Os tipos particulares de juntas soldadas indicados nos Quadros 7.15 e 7.16 deverão satisfazer os critérios de dimensionamento adequados especificados para cada tipo nesse Quadro.

7.5.2.2 Juntas reforçadas

(1) Poderão utilizar-se diversos tipos de reforços de juntas. O tipo adequado depende do modo de rotura que, na ausência do reforço, condiciona o valor de cálculo da resistência da junta.

(2) Poderão utilizar-se chapas de reforço dos banzos para aumentar a resistência da junta à rotura da face da corda, à rotura por punçoamento ou à rotura do elemento diagonal com largura efectiva reduzida.

(3) Poderá utilizar-se um par de chapas laterais para aumentar a resistência de uma junta em relação à rotura das paredes laterais da corda ou à rotura da corda por corte.

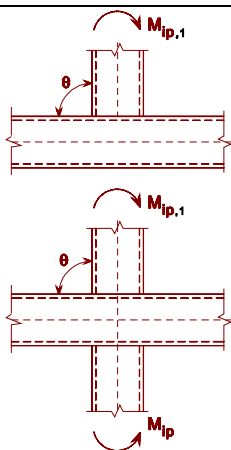
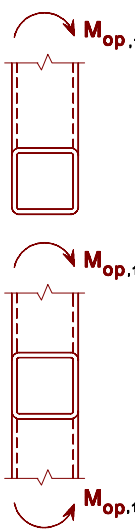
(4) A fim de evitar a sobreposição parcial dos elementos diagonais numa junta em K ou em N, os elementos diagonais poderão ser soldados a um reforço vertical.

(5) Poderá também utilizar-se qualquer combinação destes três tipos de reforço das juntas.

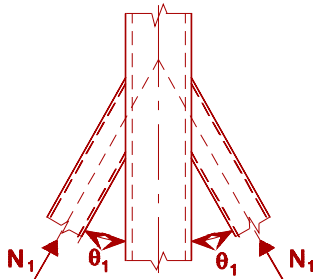
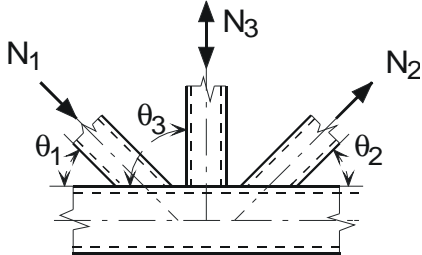
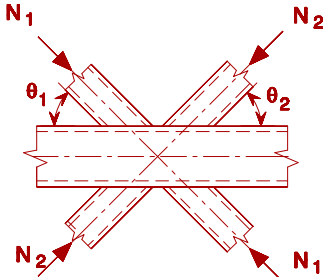
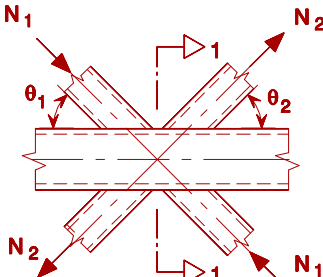
(6) A classe de aço utilizada para o reforço não deverá ser inferior à da corda.

(7) Os valores de cálculo da resistência de juntas reforçadas deverão ser determinados utilizando os Quadros 7.17 e 7.18.

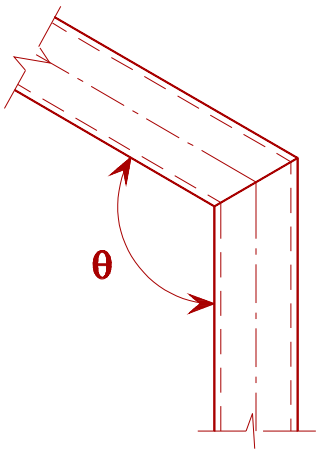
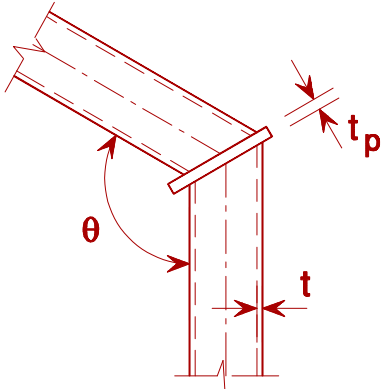
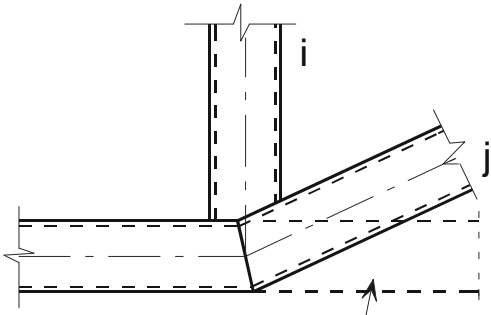
Quadro 7.14 – Valores de cálculo da resistência à flexão de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS e cordas RHS

Juntas em T e em X	Valor de cálculo da resistência
Momentos no plano ($\theta = 90^\circ$)	Rotura da face da corda $\beta \leq 0,85$
	$M_{ip,1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 h_1 \left(\frac{1}{2\eta} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$
	Esmagamento da parede lateral da corda $0,85 < \beta \leq 1,0$
	$M_{ip,1,Rd} = 0,5 f_{yk} t_0 (h_1 + 5t_0)^2 / \gamma_{M5}$ $f_{yk} = f_{y0} \quad \text{para juntas em T}$ $f_{yk} = 0,8 f_{y0} \quad \text{para juntas em X}$
	Rotura do elemento diagonal $0,85 < \beta \leq 1,0$
	$M_{ip,1,Rd} = f_{y1} (W_{pl,1} - (1 - b_{eff} / b_1) b_1 (h_1 - t_1) t_1) / \gamma_{M5}$
Momentos fora do plano ($\theta = 90^\circ$)	Rotura da face da corda $\beta \leq 0,85$
	$M_{op,1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 \left(\frac{h_1(1+\beta)}{2(1-\beta)} + \sqrt{\frac{2b_0 b_1(1+\beta)}{1-\beta}} \right) / \gamma_{M5}$
	Esmagamento da parede lateral da corda $0,85 < \beta \leq 1,0$
	$M_{op,1,Rd} = f_{yk} t_0 (b_0 - t_0)(h_1 + 5t_0) / \gamma_{M5}$ $f_{yk} = f_{y0} \quad \text{para juntas em T}$ $f_{yk} = 0,8 f_{y0} \quad \text{para juntas em X}$
	Rotura por distorção da corda (unicamente para juntas em T) ^{*)}
	$M_{op,1,Rd} = 2 f_{y0} t_0 (h_1 t_0 + \sqrt{b_0 h_0 t_0 (b_0 + h_0)}) / \gamma_{M5}$
	Rotura do elemento diagonal $0,85 < \beta \leq 1,0$
	$M_{op,1,Rd} = f_{y1} (W_{pl,1} - 0,5(1 - b_{eff} / b_1)^2 b_1^2 t_1) / \gamma_{M5}$
Parâmetros b_{eff} e k_n	
$b_{eff} = \frac{10}{b_0 / t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{y1} t_1} b_1 \text{ mas } b_{eff} \leq b_1$	<p>Para $n > 0$ (compressão):</p> $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta} \text{ mas } k_n \leq 1,0$ <p>Para $n \leq 0$ (tracção):</p> $k_n = 1,0$
^{*)} Este critério não se aplica quando a rotura da corda por distorção é impedida por outros meios.	

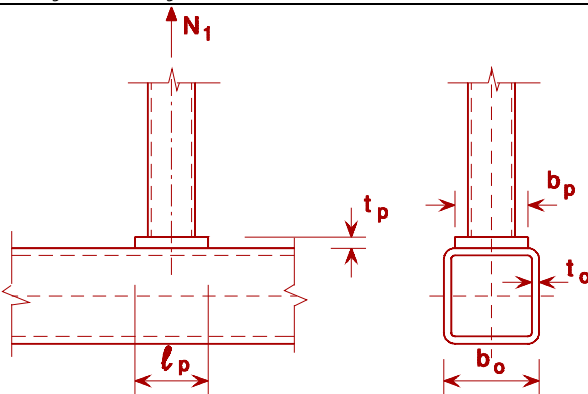
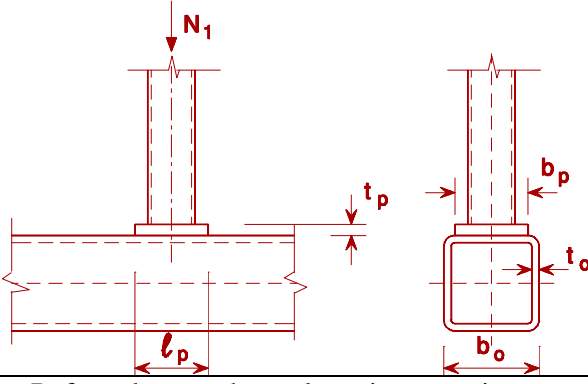
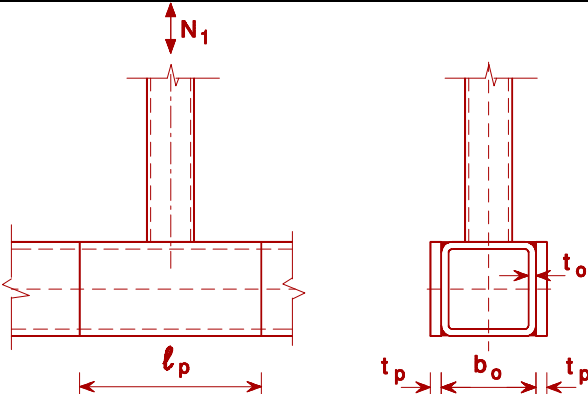
Quadro 7.15 – Critérios de cálculo para tipos particulares de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS e cordas RHS

Tipo de junta	Critérios de cálculo
<p>Os elementos poderão estar traccionados ou comprimidos, mas os esforços deverão ter o mesmo sinal nos dois elementos.</p> 	$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$ <p>em que:</p> $N_{1,Rd} \text{ valor de } N_{1,Rd} \text{ para uma junta em X do Quadro 7.11.}$
<p>O elemento 1 está sempre comprimido e o elemento 2 está sempre traccionado.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ $N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ <p>em que:</p> $N_{1,Rd} \text{ valor de } N_{1,Rd} \text{ para uma junta em K do Quadro 7.12, mas sendo } \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0}$ <p>substituído por: $\frac{b_1 + b_2 + b_3 + h_1 + h_2 + h_3}{6b_0}$</p>
<p>Os elementos diagonais deverão estar todos comprimidos ou todos traccionados.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{x,Rd} \sin \theta_x$ <p>em que:</p> $N_{x,Rd} \text{ valor de } N_{x,Rd} \text{ para uma junta em X do Quadro 7.11, e } N_{x,Rd} \sin \theta_x \text{ o maior dos valores entre: } N_{1,Rd} \sin \theta_1 \text{ e } N_{2,Rd} \sin \theta_2 $
<p>O elemento 1 está sempre comprimido e o elemento 2 está sempre traccionado.</p> 	$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ <p>em que:</p> $N_{i,Rd} \text{ valor de } N_{i,Rd} \text{ para uma junta em K do Quadro 7.12, desde que, numa junta com afastamento, a secção 1-1 da corda satisfaça:}$ $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

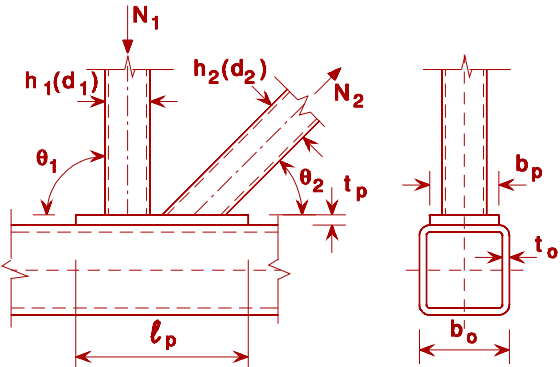
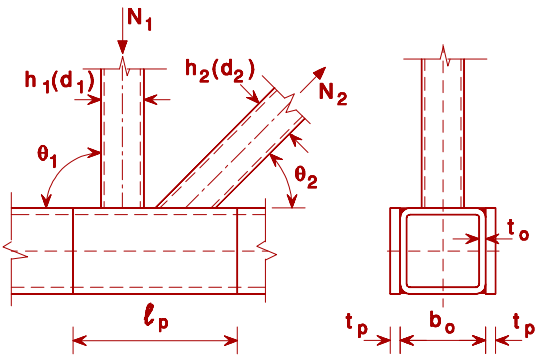
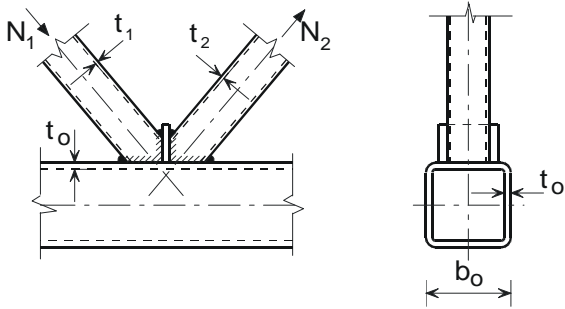
Quadro 7.16 – Critérios de dimensionamento para juntas soldadas de elementos RHS, em cotovelo e para nós em que a corda é quebrada

Tipo de junta	Critérios
Juntas em cotovelo soldadas	
	<p>A secção transversal deverá ser da Classe 1 para a flexão simples, ver a EN 1993-1-1.</p> $N_{Ed} \leq 0,2 N_{pl,Rd} \text{ e } \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq \kappa$ <p>Se $\theta \leq 90^\circ$: $\kappa = \frac{3\sqrt{b_0/h_0}}{[b_0/t_0]^{0,8}} + \frac{1}{1 + 2b_0/h_0}$</p> <p>Se $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$: $\kappa = 1 - (\sqrt{2} \cos(\theta/2)) (1 - \kappa_{90})$</p> <p>em que:</p> <p>$\kappa_{90}$ valor de κ para $\theta = 90^\circ$.</p>
	<p>$t_p \geq 1,5t \text{ e } \geq 10 \text{ mm}$</p> $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0$
Ponto angular no eixo da corda	
 <p>Prolongamento imaginário da corda</p>	<p>$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$</p> <p>em que:</p> <p>$N_{i,Rd}$ valor de $N_{i,Rd}$ para uma junta em K ou em N com sobreposição do Quadro 7.12.</p>

Quadro 7.17 – Valores de cálculo da resistência de juntas soldadas reforçadas em T, Y e X entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas RHS

Tipo de junta	Valor de cálculo da resistência
Reforçada com chapas de banzo para evitar a rotura da face da corda, a rotura do elemento diagonal ou o punçoamento.	
Esforço de tracção	$\beta_p \leq 0,85$
	$\ell_p \geq \frac{h_1}{\sin \theta_1} + \sqrt{b_p(b_p - b_1)}$ <p>e $b_p \geq b_o - 2t_o$ $t_p \geq 2t_1$</p> $N_{1,Rd} = \frac{f_{yp} t_p^2}{(1 - b_1/b_p) \sin \theta_1} \cdot \left(\frac{2h_1/b_p}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - b_1/b_p} \right) / \gamma_{M5}$
Esforço de compressão	$\beta_p \leq 0,85$
	$\ell_p \geq \frac{h_1}{\sin \theta_1} + \sqrt{b_p(b_p - b_1)}$ <p>e $b_p \geq b_o - 2t_o$ $t_p \geq 2t_1$</p> <p>Considerar $N_{1,Rd}$ como sendo o valor de $N_{1,Rd}$ para uma junta em T, X ou Y conforme o Quadro 7.11, mas com $k_n = 1,0$ e t_o substituído por t_p unicamente para a rotura da face da corda, para a rotura do elemento diagonal e para o punçoamento.</p>
Reforçada com chapas laterais para evitar a encurvadura das paredes laterais da corda ou o corte das paredes laterais da corda.	
	$\ell_p \geq 1,5 h_1 / \sin \theta_1$ <p>$t_p \geq 2t_1$</p> <p>Considerar $N_{1,Rd}$ como sendo o valor de $N_{1,Rd}$ para uma junta em T, X ou Y conforme o Quadro 7.11, mas com t_o substituído por $(t_o + t_p)$ unicamente para a rotura por encurvadura das paredes laterais da corda e para a rotura por corte das paredes laterais da corda.</p>

Quadro 7.18 – Valores de cálculo da resistência de juntas soldadas reforçadas em K e em N entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas RHS

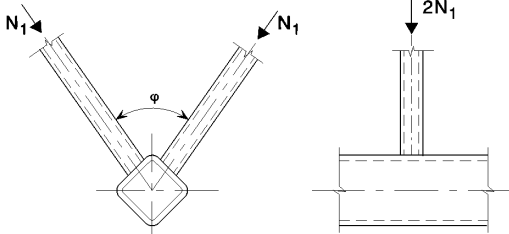
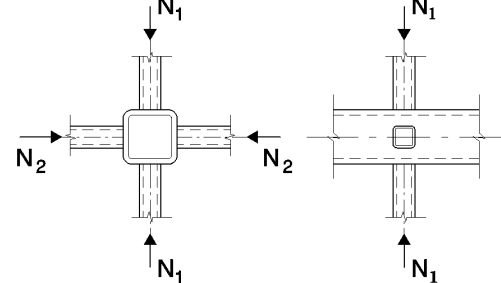
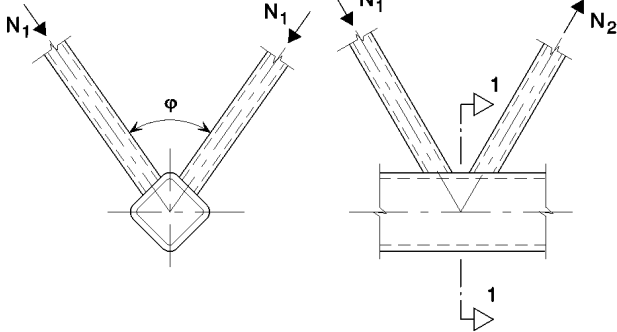
Tipo de junta	Valor de cálculo da resistência [$i = 1$ ou 2]
Reforçada com chapas de banzo para evitar a rotura da face da corda, a rotura do elemento diagonal ou o punçoamento.	
	$\ell_p \geq 1,5 \left(\frac{h_1}{\sin \theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right)$ $b_p \geq b_o - 2t_o$ $t_p \geq 2t_1 \text{ e } 2t_2$ <p>Considerar $N_{i,Rd}$ como sendo o valor de $N_{i,Rd}$ para uma junta em K ou em N conforme o Quadro 7.12, mas com t_o substituído por t_p unicamente para a rotura da face da corda, para a rotura dos elementos diagonais e para o punçoamento.</p>
Reforçada com duas chapas laterais para evitar a rotura da corda por corte.	
	$\ell_p \geq 1,5 \left(\frac{h_1}{\sin \theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right)$ <p>Considerar $N_{i,Rd}$ como sendo o valor de $N_{i,Rd}$ para uma junta em K ou em N conforme o Quadro 7.12, mas com t_o substituído por $(t_o + t_p)$ unicamente para a rotura da corda por corte.</p>
Reforçada por uma chapa de separação entre os elementos diagonais devido a sobreposição insuficiente.	
	$t_p \geq 2t_1 \text{ e } 2t_2$ <p>Considerar $N_{i,Rd}$ como sendo o valor de $N_{i,Rd}$ para uma junta em K ou em N com sobreposição, conforme o Quadro 7.12, com $\lambda_{ov} < 80 \%$, mas com b_j, t_j e f_{yj} substituídos por b_p, t_p e f_{yp} na expressão de $b_{e,ov}$ indicada no Quadro 7.10.</p>

7.5.3 Juntas tridimensionais

(1) Os critérios de dimensionamento indicados em 7.5.2 deverão ser satisfeitos para cada um dos planos relevantes de uma junta tridimensional, utilizando os valores de cálculo reduzidos da resistência obtidos de acordo com 7.5.3(2).

(2) Os valores de cálculo da resistência, em cada um dos planos relevantes de uma junta tridimensional, deverão ser determinados aplicando o coeficiente de redução μ , indicado no Quadro 7.19, à resistência da correspondente junta plana, calculada segundo 7.5.2, considerando o esforço na corda da junta tridimensional.

Quadro 7.19 – Coeficientes de redução para juntas tridimensionais

Tipo de junta	Coeficiente de redução μ
<p data-bbox="194 819 347 848">Junta em TT</p> <p data-bbox="194 855 847 884">O elemento 1 poderá estar traccionado ou comprimido.</p> 	<p data-bbox="1321 819 1469 848">$60^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$</p> <p data-bbox="882 976 970 1005">$\mu = 0,9$</p>
<p data-bbox="194 1151 352 1180">Junta em XX</p> <p data-bbox="194 1187 799 1283">Os elementos 1 e 2 podem estar comprimidos ou traccionados. $N_{2,Ed}/N_{1,Ed}$ é negativo se um elemento estiver traccionado e o outro comprimido.</p> 	<p data-bbox="882 1290 1230 1323">$\mu = 0,9(1 + 0,33 N_{2,Ed} / N_{1,Ed})$</p> <p data-bbox="882 1350 1342 1379">tendo em conta o sinal de $N_{1,Ed}$ e $N_{2,Ed}$</p> <p data-bbox="882 1395 1193 1429">em que $N_{2,Ed} \leq N_{1,Ed}$</p>
<p data-bbox="194 1603 352 1632">Junta em KK</p> 	<p data-bbox="882 1693 970 1722">$\mu = 0,9$</p> <p data-bbox="882 1760 1469 1823">desde que, numa junta com afastamento, na secção 1-1, a corda satisfaça:</p> $\left[\frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[\frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

7.6 Juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas em perfil em I ou em H

(1) Desde que a geometria das juntas esteja dentro do domínio de validade indicado no Quadro 7.20, os valores de cálculo das resistências das juntas deverão ser determinados utilizando as expressões indicadas nos Quadros 7.21 ou 7.22, conforme o caso.

Quadro 7.20 – Domínio de validade para juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas em perfil em I ou em H

Tipo de junta	Parâmetro da junta [$i = 1$ ou 2 , $j =$ elemento diagonal sobreposto]					
	d_w/t_w	b_i/t_i e h_i/t_i ou d_i/t_i		h_i/b_i	b_0/t_f	b_i/b_j
		Compressão	Tracção			
X	Classe 1 e $d_w \leq 400$ mm	Classe 1 ou 2 e $\frac{h_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\frac{h_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\geq 0,5$ mas $\leq 2,0$	Classe 1 ou 2	—
T ou Y	Classe 1 ou 2 e $d_w \leq 400$ mm			1,0		—
K com afastamento						
N com afastamento						
K com sobreposição N com sobreposição $25 \% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}^{1)}$						
¹⁾ $\lambda_{ov,lim} = 60$ % no caso de o comprimento oculto da junta não estar soldado e 80 % no caso de esse comprimento oculto ter sido soldado. Se a sobreposição exceder $\lambda_{ov,lim}$, ou se as diagonais forem secções tubulares rectangulares com $h_i < b_i$ e/ou $h_j < b_j$, a ligação entre as diagonais e a face da corda deverá ser verificada ao corte.						

(2) Para juntas que respeitem o domínio de validade indicado no Quadro 7.20, só é necessário considerar os modos de rotura indicados no quadro adequado. O valor de cálculo da resistência de uma junta deverá ser considerado igual ao menor dos valores correspondentes a todos os critérios aplicáveis.

(3) Para juntas que não se inserem no domínio de validade indicado no Quadro 7.20, deverão ser considerados todos os modos de rotura indicados em 7.2.2. Além disso, deverão ser tidos em conta os momentos flectores secundários nas juntas devidos à sua rigidez de rotação.

(4) Nas ligações de elementos diagonais solicitadas unicamente por esforços normais, o valor de cálculo do esforço normal, $N_{i,Ed}$, não deverá exceder o valor de cálculo do esforço normal resistente da junta soldada, $N_{i,Rd}$, determinado a partir do Quadro 7.21.

(5) As ligações dos elementos diagonais solicitadas por uma combinação de esforço normal e de flexão deverão satisfazer a condição seguinte:

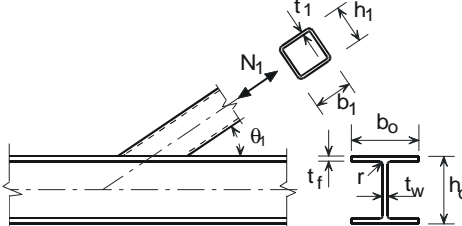
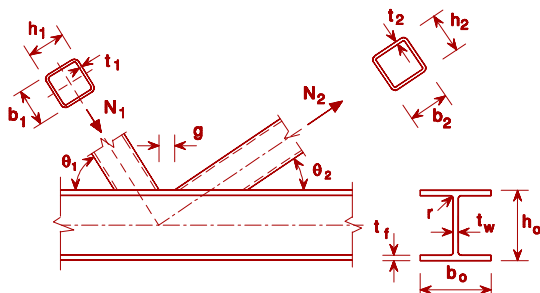
$$\frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} + \frac{M_{ip,i,Ed}}{M_{ip,i,Rd}} \leq 1,0 \quad (7.5)$$

em que:

$M_{ip,i,Rd}$ valor de cálculo da resistência à flexão no plano;

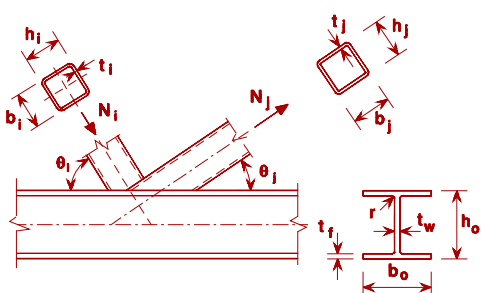
$M_{ip,i,Ed}$ valor de cálculo do momento flector no plano.

Quadro 7.21 – Valores de cálculo da resistência de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas em perfil em I ou em H

Tipo de junta	Valor de cálculo da resistência [$i = 1$ ou 2 , $j =$ elemento diagonal sobreposto]		
Juntas em T, Y e X	Plastificação da alma da corda		
	$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_w b_w}{\text{sen } \theta_1} / \gamma_{M5}$		
	Rotura do elemento diagonal		
	$N_{1,Rd} = 2 f_{y1} t_1 p_{\text{eff}} / \gamma_{M5}$		
Juntas em K e N com afastamento ($i = 1$ ou 2)	Plastificação da alma da corda	Não é necessário verificar a rotura do elemento diagonal se: $g/t_f \leq 20 - 28\beta$; $\beta \leq 1,0 - 0,03\gamma$ em que: $\gamma = b_0/2t_f$ e para os CHS: $0,75 \leq d_1 / d_2 \leq 1,33$ ou para os RHS: $0,75 \leq b_1 / b_2 \leq 1,33$	
	$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_w b_w}{\text{sen } \theta_1} / \gamma_{M5}$		
	Rotura do elemento diagonal		
	$N_{i,Rd} = 2 f_{yi} t_i p_{\text{eff}} / \gamma_{M5}$		
	Corte da corda		
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \text{sen } \theta_i} / \gamma_{M5}$ $N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{\text{Ed}} / V_{\text{pl,Rd}})^2} \right] / \gamma_{M5}$		

(continua)

Quadro 7.21 – Valores de cálculo da resistência de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas em perfil em I ou em H (conclusão)

Juntas em K e N com sobreposição ^{*)} [i = 1 ou 2]	Rotura do elemento diagonal $25 \% \leq \lambda_{ov} < 50 \%$	
<p>Os elementos <i>i</i> e <i>j</i> poderão estar traccionados ou comprimidos.</p> 	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (p_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i \frac{\lambda_{ov}}{50} - 4t_i) / \gamma_{M5}$	
	Rotura do elemento diagonal $50 \% \leq \lambda_{ov} < 80 \%$	
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (p_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$	
	Rotura do elemento diagonal $\lambda_{ov} \geq 80 \%$	
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$	
$A_v = A_0 - (2 - \alpha) b_0 t_f + (t_w + 2r) t_f$ Para um elemento diagonal RHS: $\alpha = \sqrt{\frac{1}{(1 + 4g^2 / (3t_f^2))}}$ Para um elemento diagonal CHS: $\alpha = 0$	$p_{eff} = t_w + 2r + 7t_f f_{y0} / f_{yi}$ mas para as juntas em T, Y, X e para as juntas em K e em N com afastamento: $p_{eff} \leq b_i + h_i - 2t_i$ mas para as juntas em K e em N com sobreposição: $p_{eff} \leq b_i$	$b_w = \frac{h_i}{\sin \theta_i} + 5(t_f + r)$ mas $b_w \leq 2t_i + 10(t_f + r)$
Para elementos diagonais CHS, multiplicar as resistências acima indicadas para a rotura dos elementos diagonais por $\pi/4$ e substituir b_1 e h_1 por d_1 e substituir b_2 e h_2 por d_2 , excepto para o corte da corda. ^{*)} Só é necessário verificar o elemento diagonal <i>i</i> que sobrepõe. A eficácia (ou seja, o valor de cálculo da resistência da junta dividido pelo valor de cálculo da resistência plástica do elemento diagonal) do elemento diagonal sobreposto <i>j</i> deverá ser considerada igual à do elemento diagonal que sobrepõe, ver também o Quadro 7.20.		

(6) O valor de cálculo do momento flector, $M_{i,Ed}$, poderá ser considerado igual ao valor ao nível da intersecção do eixo do elemento diagonal com a face da corda.

(7) O valor de cálculo da resistência à flexão no plano, $M_{ip,1,Rd}$, deverá ser obtido no Quadro 7.22.

(8) No caso de se utilizarem reforços na corda (ver a Figura 7.7), o valor de cálculo da resistência à rotura do elemento diagonal, $N_{i,Rd}$, para juntas em T, X, Y, K com afastamento e em N com afastamento (ver o Quadro 7.22) é determinado do seguinte modo:

$$N_{i,Rd} = 2 f_{yi} t_i (b_{eff} + b_{eff,s}) / \gamma_{M5} \quad (7.6)$$

em que:

$$b_{eff} = t_w + 2r + 7 t_f f_{y0} / f_{yi} \text{ mas } \leq b_i + h_i - 2t_i$$

$$b_{eff,s} = t_s + 2a + 7 t_f f_{y0} / f_{yi} \text{ mas } \leq b_i + h_i - 2t_i$$

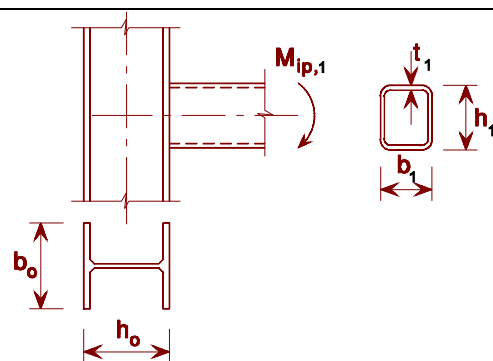
$$b_{eff} + b_{eff,s} \leq b_i + h_i - 2t_i$$

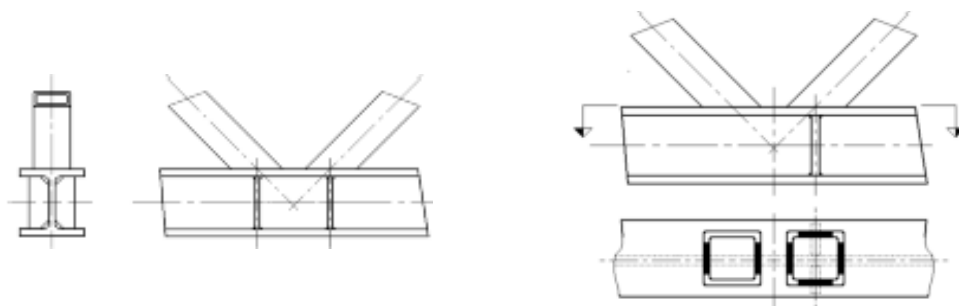
em que:

- a espessura da garganta do cordão de soldadura do reforço. '2a' passa a ser 'a' se forem utilizadas soldaduras de ângulo num só lado;
- s faz referência ao reforço.

(9) Os reforços deverão ter uma espessura pelo menos igual à da alma do perfil em I.

Quadro 7.22 – Valores de cálculo da resistência à flexão de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS e cordas em perfil em I ou em H

Tipo de junta	Valor de cálculo da resistência [$i = 1$ ou 2 , $j =$ elemento diagonal sobreposto]
Juntas em T e em Y	Plastificação da alma da corda
	$M_{ip,1,Rd} = 0,5 f_{y0} t_w b_w (h_1 - t_1) / \gamma_{M5}$
	Rotura do elemento diagonal
	$M_{ip,1,Rd} = f_{y1} t_1 p_{eff} h_z / \gamma_{M5}$
Parâmetros p_{eff} e b_w	
$p_{eff} = t_w + 2r + 7 t_f f_{y0} / f_{y1}$ mas $p_{eff} \leq b_1 + h_1 - 2t_1$	$b_w = \frac{h_1}{\sin \theta_1} + 5(t_f + r)$ mas $b_w \leq 2t_1 + 10(t_f + r)$



Perímetro efectivo de elementos diagonais, sem reforços (à esquerda) e com reforços (à direita)

Figure 7.7 – Reforços em cordas de perfil em I

7.7 Juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas em perfil em U

(1) Desde que a geometria das juntas esteja dentro do domínio de validade indicado no Quadro 7.23, os valores de cálculo das resistências das juntas soldadas entre elementos diagonais de secção tubular e cordas com perfil em U poderão ser determinados a partir do Quadro 7.24.

(2) Os momentos flectores secundários nas juntas devidos à sua rigidez de flexão deverão ser tidos em conta.

(3) Numa junta com afastamento, o valor de cálculo do esforço normal resistente da secção transversal da corda, $N_{0,Rd}$, deverá ser determinado tendo em conta o esforço transversal transmitido de um para o outro elemento diagonal através da corda e desprezando o momento flector secundário associado. A verificação deverá ser feita de acordo com a EN 1993-1-1.

Quadro 7.23 – Domínio de validade para as juntas soldadas entre elementos diagonais CHS ou RHS e cordas em perfil em U

Tipo de junta	Parâmetro da junta [$i = 1$ ou 2 , $j =$ elemento diagonal sobreposto]					
	b_i/b_0	b_i/t_i e h_i/t_i ou d_i/t_i		h_i/b_i	b_0/t_0	Afastamento ou sobreposição b_i/b_j
		Compressão	Tracção			
K com afastamento e N com afastamento	$\geq 0,4$ e $b_0 \leq 400$ mm	Classe 1 ou 2 e $\frac{h_i}{t_i} \leq 35$	$\frac{h_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{b_i}{t_i} \leq 35$	$\geq 0,5$ mas $\leq 2,0$	Classe 1 ou 2	$0,5 (1-\beta^*) \leq g/b_0^* \leq 1,5 (1-\beta^*)$ ¹⁾ e $g \geq t_1 + t_2$
K com sobreposição e N com sobreposição	$\geq 0,25$ e $b_0 \leq 400$ mm	$\frac{b_i}{t_i} \leq 35$ $\frac{d_i}{t_i} \leq 50$	$\frac{d_i}{t_i} \leq 50$			$25 \% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}$ ²⁾ $b_i/b_j \geq 0,75$

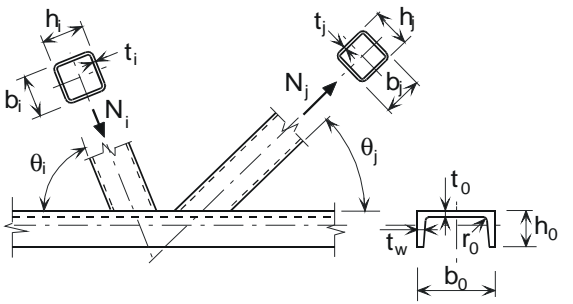
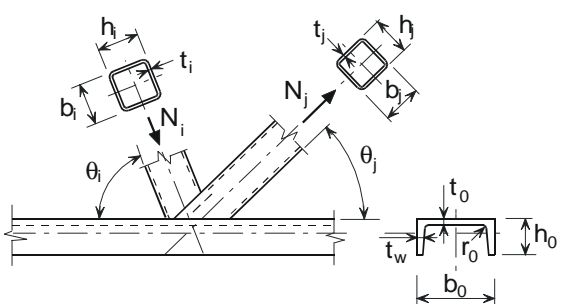
$$\beta^* = b_1/b_0^*$$

$$b_0^* = b_0 - 2 (t_w + r_0)$$

¹⁾ Esta condição só se aplica quando $\beta \leq 0,85$.

²⁾ $\lambda_{ov,lim} = 60$ % no caso de o comprimento oculto da junta não estar soldado e 80 % no caso de esse comprimento oculto ter sido soldado. Se a sobreposição exceder $\lambda_{ov,lim}$, ou se as diagonais forem secções tubulares rectangulares com $h_i < b_i$ e/ou $h_j < b_j$, a ligação entre as diagonais e a face da corda deverá ser verificada ao corte.

Quadro 7.24 – Valores de cálculo da resistência de juntas soldadas entre elementos diagonais RHS ou CHS e cordas em perfil em U

Tipo de junta	Valor de cálculo da resistência [$i = 1$ ou 2 , $j =$ elemento diagonal sobreposto]
Juntas em K e em N com afastamento	Rotura do elemento diagonal
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_i + b_{eff} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$
	Rotura da corda
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$ $N_{0,Rd} = \left[(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$
Juntas em K e em N com sobreposição ^{*)}	Rotura do elemento diagonal $25 \% \leq \lambda_{ov} < 50 \%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$
	Rotura do elemento diagonal $50 \% \leq \lambda_{ov} < 80 \%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$
	Rotura do elemento diagonal $\lambda_{ov} \geq 80 \%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$
$A_v = A_0 - (1 - \alpha) b_0^* t_0$ $b_0^* = b_0 - 2(t_w + r_0)$ <p>Para os RHS: $\alpha = \sqrt{\frac{1}{(1 + 4g^2 / 3t_f^2)}}$</p> <p>Para os CHS: $\alpha = 0$</p> $V_{pl,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3}} / \gamma_{M5}$ $V_{Ed} = (N_{i,Ed} \sin \theta_i)_{max}$	$b_{eff} = \frac{10}{b_0^* / t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i \quad \text{mas} \quad b_{eff} \leq b_i$ $b_{e,ov} = \frac{10}{b_j / t_j} \frac{f_{yj} t_j}{f_{yi} t_i} b_i \quad \text{mas} \quad b_{e,ov} \leq b_i$
Para elementos diagonais CHS, multiplicar as resistências acima indicadas por $\pi/4$ e substituir b_1 e h_1 por d_1 assim como b_2 e h_2 por d_2 , excepto para o corte da corda.	
^{*)} Só é necessário verificar o elemento diagonal i que sobrepõe. A eficácia (ou seja, o valor de cálculo da resistência da junta dividido pelo valor de cálculo da resistência plástica do elemento diagonal) do elemento diagonal sobreposto j deverá ser considerada igual à do elemento diagonal que sobrepõe.	

Anexo Nacional NA

Introdução

O presente Anexo Nacional foi elaborado no âmbito da actividade da Comissão Técnica Portuguesa de Normalização CT 115 – Eurocódigos Estruturais, cuja coordenação é assegurada pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) na sua qualidade de Organismo de Normalização Sectorial (ONS) no domínio dos Eurocódigos Estruturais.

A inclusão de um Anexo Nacional na NP EN 1993-1-8:2010 decorre do disposto no Preâmbulo desta Norma.

NA.1 – Objectivo e campo de aplicação

Este Anexo Nacional estabelece as condições para a implementação, em Portugal, da NP EN 1993-1-8:2010 – “Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço – Parte 1-8: Projecto de ligações”, as quais se referem aos seguintes aspectos:

- a) Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP);
- b) informações complementares não contraditórias.

NA.2 – Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP)

NA.2.1 – Generalidades

Os Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP) relativos às Regras de Aplicação onde são permitidas opções nacionais são estabelecidos no Preâmbulo da presente Norma.

Nas secções NA.2.2 e NA.2.3 referem-se, respectivamente, as Regras de Aplicação sem prescrições a nível nacional e com prescrições a nível nacional. As prescrições a nível nacional, indicadas na secção NA.2.3, são referenciadas do mesmo modo que no corpo da Norma mas precedidas de “NA– “.

NA.2.2 – Regras de Aplicação sem prescrições a nível nacional

Relativamente a:

- 2.2(2)
- 3.1.1(3)
- 5.2.1(2)
- 6.2.7.2(9)

prescinde-se de introduzir prescrições a nível nacional, devendo adoptar-se as correspondentes prescrições constantes desta Norma e, se tal for o caso, os procedimentos ou os valores aí recomendados.

NA.2.3 – Regras de Aplicação com prescrições a nível nacional

a) NA–1.2.6

As normas aplicáveis a rebites são as referenciadas na EN 1090-2 – *Execution of steel structures and aluminium structures – Part 2: Technical requirements for steel structures*.

b) NA-3.4.2(1)

As especificações de projecto devem indicar claramente se o pré-esforço nos parafusos das classes 8.8 e 10.9 é requerido por questões de segurança da estrutura (para evitar o desencosto ou escorregamento das superfícies em contacto) ou, apenas, como garantia da boa qualidade da execução. Neste caso, o pré-esforço mínimo a aplicar deve ser 50 % de $F_{p,C}$ (força de pré-esforço). Alternativamente, nas ligações de categorias A ou D, poderão ser utilizados dispositivos adequados para impedir a relaxação da porca (por exemplo devido a vibrações) tais como uma segunda porca, ou uma anilha ou porca especiais (*locking nut* ou *locking washer*).

NA.3 – Informações complementares

NA.3.1 – Objectivo

Na secção NA.3 são fornecidas informações complementares não contraditórias com as prescrições da presente Norma, visando auxiliar a aplicação desta Norma.

NA.3.2 – Informações gerais

a) Significado do termo "enfundamento"

O termo "enfundamento" é utilizado em algumas secções da presente Norma com o significado de "encurvadura local" (por fenómenos de instabilidade) ou por outras causas que provocam a deformação transversal da chapa.

NA.3.3 – Informações específicas

a) Classes de parafusos (3.1.1(2))

Recomenda-se, tendo em conta a prática nacional, a utilização de parafusos apenas das classes 4.6, 5.6, 8.8 e 10.9.

NA.4 – Correspondência entre as normas europeias referidas na presente Norma e as normas nacionais

Norma europeia	Norma nacional	Título
EN 10025-2:2004	NP EN 10025-2:2007	<i>Produtos laminados a quente de aços de construção – Parte 2: Condições técnicas de fornecimento para aços de construção não ligados</i>
EN 10025-3:2004	NP EN 10025-3:2009	<i>Produtos laminados a quente de aços de construção – Parte 3: Condições técnicas de fornecimento de aços de construção soldáveis de grão fino no estado normalizado/laminado normalizado</i>
EN 10025-4:2004	NP EN 10025-4:2009	<i>Produtos laminados a quente de aços de construção – Parte 4: Condições técnicas de fornecimento de aços de construção soldáveis de grão fino obtidos por laminação termomecânica</i>

NP
EN 1993-1-8
2010

p. 146 de 146

Norma europeia	Norma nacional	Título
EN 10025-5:2004	NP EN 10025-5:2009	<i>Produtos laminados a quente de aço de construção – Parte 5: Condições técnicas de fornecimento de aço de construção com superior resistência à corrosão atmosférica</i>
EN 10025-6:2004 +A1:2009	NP EN 10025-6:2004 +A1:2009	<i>Produtos laminados a quente de aço de construção – Parte 6: Condições técnicas de fornecimento para produtos planos de aço de construção de alto limite elástico no estado temperado e revenido</i>
EN 10029:1991	NP EN 10029:1996	<i>Chapas de aço laminadas a quente, de espessura igual ou superior a 3 mm – Tolerâncias de dimensões, forma e massa</i>
EN 10034:1993	NP EN 10034:1998	<i>Perfis estruturais I e H de aço de construção – Tolerâncias de forma e dimensões</i>
EN 10056-1:1997	NP EN 10056-1:2000	<i>Cantoneiras de abas iguais e desiguais de aço de construção – Parte 1: Dimensões</i>
EN 10056-2:1993	NP EN 10056-2:1998	<i>Cantoneiras de abas iguais e desiguais de aço de construção – Parte 2: Tolerâncias de forma e dimensões</i>
EN ISO 4014:2000	NP EN ISO 4014:2008	<i>Parafusos de cabeça hexagonal parcialmente roscados – Graus A e B (ISO 4014:1999)</i>
EN ISO 4016:2000	NP EN ISO 4016:2008	<i>Parafusos de cabeça hexagonal, parcialmente roscados – Grau C</i>
EN ISO 4017:2000	NP EN ISO 4017:2008	<i>Parafusos de cabeça hexagonal, totalmente roscados – Graus A e B</i>
EN ISO 4018:2000	NP EN ISO 4018:2008	<i>Parafusos de cabeça hexagonal, totalmente roscados – Grau C</i>
EN ISO 4032:2000	NP EN ISO 4032:2008	<i>Porcas hexagonais, estilo 1 – Graus A e B</i>
EN ISO 4033:2000	NP EN ISO 4033:2008	<i>Porcas hexagonais, estilo 2 – Graus A e B</i>
EN ISO 4034:2000	NP EN ISO 4034:2008	<i>Porcas hexagonais – Grau C</i>
EN ISO 7089:2000	NP EN ISO 7089:2008	<i>Anilhas planas – Série normal – Grau A</i>
EN ISO 7090:2000	NP EN ISO 7090:2008	<i>Anilhas planas, com chanfro – Série normal – Grau A</i>
EN ISO 7091:2000	NP EN ISO 7091:2008	<i>Anilhas planas – Série normal – Grau C</i>