

ECCS

Equaljoints PLUS
Recomendações de calculo pré-normativas
relativas a juntas metálicas pré-qualificadas para
zonas sísmicas

1ª Edição, 2018

Raffaele Landolfo
Mario D’Aniello
Roberto Tartaglia
Silvia Costanzo
Jean-François Demonceau
Jean-Pierre Jaspert
Aurel Stratan
Dominiq Jaka
Dan Dubina,
Ahmed Elghazouli
Dan Bompa
Sara Oliveira
Bruno Pedrosa
Carlos Rebelo
Luis Simões da Silva

ECCS
CECM
E K S



Recomendações de cálculo pré-normativas relativas a juntas metálicas pré-qualificadas para zonas sísmicas

NºXXX, 1ª edição, 2018

Publicado por:

ECCS – European Convention for Constructional Steelwork
publications@steelconstruct.com
www.eccspublications.eu

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada ou transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotocópia, gravação ou outro, sem a prévia autorização do proprietário dos direitos de autor.

A ECCS não assume qualquer responsabilidade pelo uso ou aplicação do material e informações contidos nesta publicação.

Copyright © 2018 ECCS – European Convention for Constructional Steelwork

ISBN: XX-XXXX-XXX-XX

Impresso em

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. REQUISITOS TÉCNICOS	1
3. CARACTERIZAÇÃO DAS JUNTAS PRÉ-QUALIFICADAS	3
3.1 Objetivos gerais de desempenho	3
3.2 Critérios adicionais de dimensionamento	8
3.3 Juntas viga-coluna com esquadro	9
3.4 Juntas viga-coluna com chapa de extremidade estendida reforçadas	21
3.5 Juntas viga-coluna com chapa de extremidade estendida não reforçadas	36
3.6 Juntas <i>dog-bone</i>	49
REFERÊNCIAS	53

1. Introdução

O presente documento foi desenvolvido no âmbito do projecto europeu Equaljoints PLUS (754048 — EQUALJOINTS-PLUS — RFCS-2016/RFCS-2016).

Equaljoint-PLUS é um projecto RFCS com a duração de 24 meses com objetivo de disseminação dos avanços científicos conseguidos durante a execução do projeto anterior EQUALJOINTS com a duração de 36 meses.

No âmbito do projecto EQUALJOINTS (RFSR-CT-2013-00021), foram desenvolvidos critérios de prequalificação de um conjunto de juntas metálicas viga-pilar.

Equaljoint-PLUS visa a valorização, a disseminação e a extensão dos critérios de pré-qualificação desenvolvidos para aplicações práticas a um público amplo (ou seja, instituições académicas, engenheiros e arquitetos, empresas de construção, produtores de aço).

Os principais objetivos do Equaljoints PLUS podem ser resumidos da seguinte forma:

- Recolher e organizar material informativo sobre as tipologias de juntas pré-qualificadas: foram elaborados documentos informativos em 12 línguas (inglês, espanhol, francês, alemão, italiano, holandês, português, checo, búlgaro, romeno, grego e esloveno).
- Desenvolver recomendações de projeto pré-normativas de juntas sísmicamente qualificadas com base nos resultados do projeto Equaljoints em 12 idiomas.
- Desenvolver diretrizes de projeto para projetar estruturas de aço que levem em conta o tipo de juntas e sua resposta não linear relevante.
- Desenvolver um software e um aplicativo para equipamentos móveis que permitam prever a resposta inelástica das juntas.
- Organizar seminários e workshops para divulgar na UE e internacionalmente os conhecimentos adquiridos.
- Criar um site com acesso livre aos utilizadores para promover os resultados obtidos.
- Criar um canal YouTube para disponibilizar os vídeos dos testes experimentais e simulações, mostrando a evolução do padrão de dano.

O projeto Equaljoints PLUS é coordenado pela Universidade de Nápoles Federico II. O Consórcio é constituído por 15 parceiros, 7 dos quais já participaram no anterior projeto Equaljoints. Todos os parceiros envolvidos estão listados na tabela a seguir:

Equaljoints PLUS Consortium

Coordenador Università degli Studi di Napoli Federico II (UNINA)

	Arcelormittal Belval & Differdange SA (AM)
	Universite de Liege (Ulg)
	Universitatea Politehnica Timisoara (UPT)
	Universidade de Coimbra (UC)
	Convention Europeenne de la Construction Metallique (ECCS)
	Universita degli Studi di Salerno (UNISA)
	Imperial College of Science Technology and Medicine (IC)
Parceiros	Centre Technique Industriel de la Construction Metallique (CTICM)
	National Technical University of Athens (NTUA)
	Ceske Vysoke Uceni Technicke V Praze (CVUT)
	Technische Universiteit Delft (TUD)
	Univerza V Ljubljani (UL)
	Universitet Po Arhitektura Stroitelstvo I Geodezija (UASG)
	Universitat Politecnica de Catalunya (UPC)
	Rheinisch-Westfaelische Technische Hochschule Aachen (RWTHA)

O presente documento sumariza as regras de dimensionamento para três tipos de juntas aparafusadas pré-qualificadas no âmbito do projeto Europeu EQUALJOINTS (i. e. juntas: (i) com esquadro, (ii) com reforços e chapa de extremidade estendida, (iii) sem reforços e com chapa de extremidade estendida), bem como juntas soldadas *dog-bone*.

Em pormenor, a seguinte informação é apresentada:

- requisitos técnicos
- descrição da configuração das juntas;
- lista de valores limite para a pré-qualificação;
- listagem de valores limite
- procedimento de dimensionamento

2. Requisitos técnicos

A construção de uma estrutura passa por várias fases, cada uma deve ser cuidadosamente pensada. Em estruturas que poderão ser sujeitas a ações sísmicas a um dado momento da sua vida útil, estas considerações são especialmente significativas. Juntas entre elementos metálicos neste tipo de estruturas devem ser sempre dimensionadas, fabricadas e eretas de tal modo que seja evitada a rotura frágil e que o modo dúctil que condiciona o colapso.

Projetistas devem sempre ter em conta os requisitos de dimensionamento estabelecidos pelas normas relevantes de dimensionamento. Na Europa, a EN1998 deve ser utilizado para o dimensionamento sísmico de estrutura, com referências significativas à EN1993 para o dimensionamento de estruturas metálicas e a EN1993-1-8, em particular, para o dimensionamento de juntas metálicas.

A EN1993-1-8 define todos os parâmetros relevantes para o dimensionamento de ligações com na sua resistência e rigidez. As ligações podem ser soldadas, aparafusadas ou podem ser aparafusadas e soldadas.

Ligações aparafusadas devem ser dimensionadas de acordo com a secção 3 da EN1993-1-8. O Quadro 3.1 da referida norma define as classes dos parafusos e os seus valores nominais da tensão de cedência e da tensão de rotura à tração. O Quadro 3.3 do mesmo documento estabelece a distância mínima e máxima entre eixos, distâncias às extremidades e aos bordos para garantir capacidade resistente suficiente. As ligações são dimensionadas segundo o método das componentes resistentes. Quando se calcula a capacidade de cada componente, o modo de rotura dúctil (tal como resistência ao esmagamento, esmagamento dos elementos de suporte ou das placas) deve ser o critério condicionante.

Os critérios de dimensionamento para juntas soldadas são descritos na secção 4 da EN1993-1-8. No dimensionamento sísmico, as soldaduras são dimensionadas para serem de resistência total e assim evitar a rotura da soldadura (modo de rotura frágil).

Quando se especifica os materiais e as dimensões, o engenheiro deverá sempre considerar as dimensões padrão dos elementos disponíveis e características da matéria-prima dos elementos. Por exemplo, o fabricante produz chapas de 10 ou 12 mm de espessura logo, o engenheiro não deverá especificar chapas de 11mm de modo a evitar processos de fabrico desnecessários tanto quanto possível.

A tenacidade do material e as propriedades segundo a espessura são fornecidas na EN 1993-1-10. A EN 1993-1-10 abrange as diretrizes para a escolha do aço para a tenacidade à fratura e a escolha do aço para as propriedades do aço segundo a espessura de elementos soldados em que existe risco elevando de arranque lamelar durante a fabricação, para construções executadas segundo a EN 1090-2.

As diretrizes presentes na secção 2 da EN 1993-1-10 devem ser seguidas na escolha do material para construções novas. Estas regras devem ser seguidas para a escolha da classe do aço de entre os produtos de aço listados na EN 1993-1-1.

A escolha da classe de qualidade deverá ser feita a partir do Quadro 3.1 da EN 1993-1-10 em função das consequências de um arranque lamelar.

Em função da qualidade do aço selecionada a partir do Quadro 3.1: deverão ser especificadas, a partir da EN 10164, as propriedades segundo a espessura do material de aço; ou deverá ser verificada a ocorrência de arranque lamelar através de uma inspeção pós-fabrico.

Na EN 10011-2 são fornecidas recomendações sobre a forma de evitar o arranque lamelar durante a soldadura. A escolha nacional é permitida através das cláusulas listadas no Preâmbulo da EN 1993-1-10.

Projetistas e fabricantes deverão trabalhar em conjunto de modo a garantir a precisão e clarificação dos desenhos. Ocasionalmente, o projetista não se apercebe que o que foi desenhado não pode ser na realidade executado, por exemplo, devido à falta de espaçamento adequado para a soldadura. Frequentemente, várias reuniões são necessárias até que ambas as partes estejam satisfeitas relativamente à representação gráfica do projeto para que se reúnam as condições necessárias para iniciar a fabricação.

A fabricação dos elementos, incluindo a montagem, transporte e ereção no local, deverão ser cuidadosamente administradas de modo a garantir que a qualidade final da estrutura é apropriada.

As estruturas deverão ser executadas de acordo com as normas de execução relevantes, nomeadamente, a EN 1090-2, na Europa, e a AISC 303-10 nos EUA, cujos estabelecem requisitos mínimos de qualidade. Alguns fabricantes, com base na sua experiência, poderão exceder esses requisitos e, portanto, evitar questões conhecidas que frequentemente surgem durante a ereção no local.

3. Caracterização das juntas pré-qualificadas

3.1. Objetivos gerais de desempenho

Critério de resistência: de acordo com a EN 1998, o dimensionamento sísmico de estruturas de aço baseia-se no conceito de estruturas dissipativas, em que zonas específicas da estrutura deverão ser capazes de desenvolver deformações plásticas de modo a dissipar a energia sísmica. Contrariamente, as zonas não dissipativas deverão ter um comportamento elástico sob a ação sísmica de modo a evitar a rotura frágil. A hierarquia de resistências é o princípio fundamental permitindo este desempenho através do pormenor de zonas não dissipativas para a resistência total plástica dos membros dissipativos relacionados. O critério de dimensionamento abordado no âmbito do projeto EQUALJOINTS, tem como objetivo a harmonização dos requisitos de hierarquia entre as resistências das macro-componentes (e.g. o painel da alma, a ligação, a viga e a coluna), bem como as suas sub-componentes (e.g. chapa de extremidade, parafusos, soldaduras, etc.). Segundo o procedimento de dimensionamento desenvolvido no âmbito do projeto, a junta é considerada sendo composta por três macro-componentes (i. e. a alma da coluna, a zona da ligação, e a zona da viga, Figura 3.1); cada macro-componente é dimensionada individualmente de acordo com as hipóteses específicas e depois simples critérios de dimensionamento são aplicados, de modo a obter diferentes objetivos de dimensionamento.

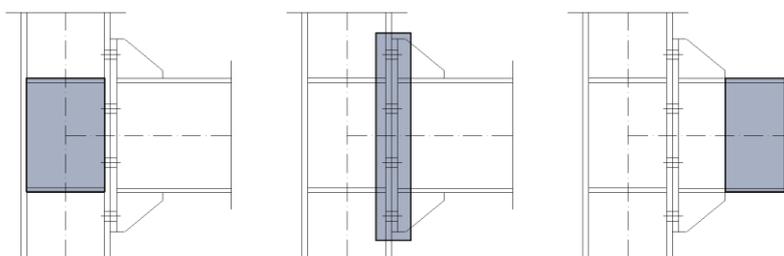


Figura 3.1 Zonas plásticas: a) painel da alma, b) ligação e c) viga.

Os seguintes objectivos de dimensionamento poderão ser adoptados para a ligação:

- Ligações de resistência total são dimensionadas para serem mais resistentes do que as restantes macro-componentes, para que a cedência ocorra noutras partes da junta (viga ou painel de alma de coluna).
- Ligações de resistência equivalente são dimensionadas para terem uma resistência semelhante à resistência da viga ou do painel de alma de coluna, ou de ambos. Teoricamente, a cedência deverá ocorrer em todos, em duas ou em três macro-componentes.

- Ligações de resistência parcial são dimensionadas para desenvolverem deformações plásticas nas suas componentes.

Adicionalmente, os seguintes objetivos de dimensionamento podem ser introduzidos no que respeita ao painel de alma de coluna:

- Painel de alma de coluna de resistência total é dimensionado para ter maior resistência do que as restantes componentes para que a cedência ocorra numa das restantes partes da junta (viga ou ligação).
- Painel de alma de coluna de resistência equivalente é dimensionada para que tenha uma resistência próxima da resistência da viga ou da ligação ou de ambos.
- Painel de alma de coluna de resistência parcial é dimensionada para desenvolver deformações plásticas isoladamente.

É de notar que a EN 1993 e a EN 1998 não consideram o caso relativo a juntas de resistência equivalente, cujo é proposto no âmbito do projeto como um nível de desempenho intermédio. De acordo com a classificação atual dos Eurocódigos, uma resistência equivalente insere-se na categoria de resistência parcial.

No dimensionamento sísmico a principal fonte de deformações plásticas é a extremidade da viga. Dependendo da localização das rótulas plásticas, a quantidade de endurecimento e a tensão de cedência expectável na rótula plástica, o momento de dimensionamento à face da coluna pode ser obtido do seguinte modo:

$$M_{con,Ed} = \alpha \cdot (M_{B,Rd} + V_{B,Ed} \cdot s_h)$$

Eq. (3.1)

Em que $M_{con,Ed}$ é o momento fletor de dimensionamento à face da coluna; α depende do nível de desempenho de dimensionamento. É igual a $\gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov}$ para juntas de resistência total (sendo γ_{ov} o fator de sobre resistência devido à aleatoriedade do material, e γ_{sh} o fator de endurecimento do aço correspondente à razão entre o momento plástico e o momento último da viga), igual a 1 para juntas de resistência equivalente e menor que 1 para juntas de resistência parcial. De modo a evitar concentração de danos severos na zona da ligação, a razão entre a tensão de rotura à tração e a tensão de cedência do aço para juntas de resistência parcial é igual a 0.6 ou 0.8. $M_{B,Rd}$ é a resistência plástica de flexão da viga ligada; s_h é a distância entre a coluna e a rótula plástica que ocorre na viga ligada (distância entre a face da coluna e a extremidade do reforço para juntas com esquadro de reforço e juntas com chapa de extremidade reforçadas, ou igual a zero para juntas com chapa de extremidade não reforçadas); $V_{B,Ed}$ é a força de corte correspondente à ocorrência de rótulas plásticas na viga; que é dada por:

$$V_{B,Ed} = V_{B,Ed,M} + V_{B,Ed,G}$$

Eq. (3.2)

em que $V_{B,Ed,M}$ é a força de corte devido à formação de rótulas plásticas e ambas as extremidades da viga, espaçadas de L_h e calculadas por:

$$V_{B,Ed,M} = \frac{2 \cdot M_{B,Rd}}{L_h}$$

Eq. (3.3)

$V_{B,Ed,G}$ é a contribuição devido às cargas gravíticas; é de notar que esta quantidade não tem em conta a distância entre a face da coluna e as rótulas plásticas, L_h é a distância aproximada entre rótulas plásticas.

Relativamente a ambos os fatores de sobre resistência, considerações adicionais são necessárias: γ_{ov} é igual a 1.25, tal como recomendado pela EN 1998. O fator de endurecimento γ_{sh} toma valores diferentes segundo o EN1993:1-8 e o EN1998-1. Em particular, a EN 1993-1-1 recomenda a consideração de um coeficiente de sobre resistência igual a 1.2 para juntas de resistência total, enquanto que a EN 1998-1, contrariamente, assume um valor igual a 1.1. Diversas equações empíricas estão disponíveis na literatura para estimar a sobre resistência de flexão γ_{sh} desenvolvida por vigas metálicas. Com base nas principais descobertas por Mazzolani and Piluso (1992), D’Aniello et al (2012), Güneyisi et al (2013, 2014) podem ser discutidos valores ente 1.1-1.2 para o factor γ_{sh} para perfis Europeus comumente usados para vigas (e. g. IPE), que apesar de ser superior ao valor recomendado pelo EC8-1, é de acordo com o limite estabelecido pela AISC358-10 que assume o seguinte valor do fator de sobre resistência:

$$\gamma_{sh,AISC} = \frac{f_y + f_u}{2 \cdot f_y} \leq 1.20$$

Eq. (3.4)

Assim, no procedimento atual γ_{sh} é conservadoramente admitido igual a 1.2, com base nas características de cedência e de resistência última dos aços-carbono europeus.

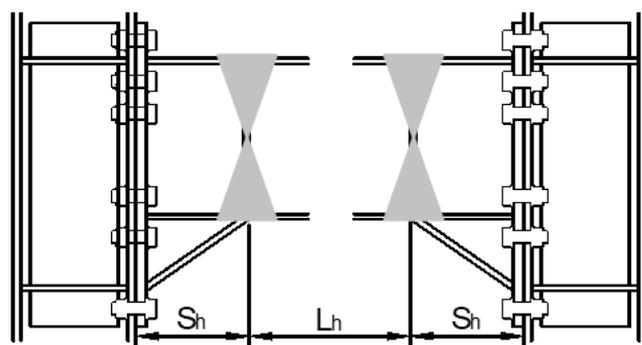


Figura 3.2 Posição das rótulas plásticas em juntas com esquadro e com chapa de extremidade estendida.

O esforço transversal no painel de alma de coluna pode ser determinado por:

$$V_{wp,Ed} = \alpha \cdot (M_{B,Rd} + V_{B,Ed} \cdot S_h) / z - V_{c,Ed}$$

Eq. (3.5)

em que:

$V_{wp,Ed}$ é o esforço transversal de dimensionamento no painel de alma de coluna;

$V_{c,Ed}$ é o esforço transversal na coluna;

z é o braço do binário;

α depende do nível de desempenho de dimensionamento, e pode ser diferente do utilizado no dimensionamento da ligação.

Dependendo dos requisitos de dimensionamento estabelecidos da junta, as seguintes inequações devem ser satisfeitas:

$$M_{con,Rd} \geq M_{con,Ed}$$

Eq. (3.6)

$$V_{wp,Rd} \geq V_{wp,Ed}$$

Eq. (3.7)

em que:

$M_{con,Rd}$ é a resistência à flexão da ligação;

$V_{wp,Rd}$ é o esforço transversal resistente do painel de alma de coluna.

Critério de ductilidade: A ductilidade da junta depende do tipo do modo de rotura e da capacidade de deformação correspondente da componente ativada. A Figura 7.10 ilustra concisamente a dependência do modo de rotura relativamente às propriedades geométricas e a razão entre a resistência da chapa de extremidade e

a resistência dos parafusos (Jaspart, 1997). No eixo das abcissas é representado a relação β entre o momento fletor resistente ($M_{pl,Rd}$) das chapas ou dos banzos da coluna, e o esforço normal resistente do parafusos ($F_{t,Rd}$), ao passo que no eixo das ordenadas é representada o fator η que corresponde à razão entre a resistência de uma peça em T equivalente (F) e $F_{t,Rd}$. A resistência para o modo 1 no caso sem troços circulares depende da razão $v = n/m$, em que m é a distância entre o eixo do parafusos e a localização expectável da rótula plástica na transição banzo-alma e n é a distância mínima entre a extremidade do banzo e o eixo do parafuso ou $1.25m$. De acordo com a Figura 7.10, dois possíveis critérios de ductilidade podem ser adotados com o intuito de evitar o modo 3, nomeadamente:

Nível-1: $\beta \leq 1$, esta condição impõe ora o modo de rotura I ora o modo de rotura II (mas muito próximo do modo I), o que providencia uma ductilidade elevada.

Nível-2: $\beta < 2$ e $\eta \leq 0.95$, esta condição impõe o modo de rotura II com ductilidade limitada, mas evitando a rotura frágil.

O nível de ductilidade para ser garantido depende, obviamente, dos objetivos de desempenho de dimensionamento: é crucial providenciar uma elevada ductilidade para juntas de resistência equivalente e de resistência parcial, e uma menor para juntas de resistência total.

De acordo com a EN 1993-1-8, a capacidade de rotação da junta deverá ser verificada se $M_{j,Rd}$ é menor que $1.2 M_{B,pl,Rd}$ e duas abordagens podem ser seguidas: 1) realizar testes experimentais; 2) controlar a espessura t da chapa de extremidade ou do banzo da coluna, para que o valor de cálculo do momento resistente da junta seja condicionado por essas componentes, que deverá satisfazer a seguinte inequação:

$$t \leq 0.36d \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_y}}$$

Eq. (3.8)

em que d é o diâmetro nominal do parafuso, f_y é a tensão de cedência do componente básico considerado e f_{ub} é a resistência última à tração do parafuso.

A Eq. (3.8) estaria teoricamente a cumprir com o Nível-1 de ductilidade ilustrado na Figura 3.3, assumindo que a resistência de cada parafuso individualmente ($F_{t,Rd}$) é maior do que a resistência ($F_{p,Rd}$) das chapas ligadas (chapa de extremidade ou banzo da coluna). Em particular, o valor de cálculo da resistência à tração por parafuso ($F_{t,Rd}$) é dada por:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

Eq. (3.9)

em que A_s é a área da secção resistente do parafuso e γ_{M2} é o coeficiente parcial de segurança relevante (i.e., o valor recomendado pelo Eurocódigo é de 1.25). Adicionalmente, a Eq. (3.8) permite determinar o valor de cálculo da resistência ($F_{p,Rd}$) correspondente a um mecanismo circular, que pode ser assumido igual a:

$$F_{p,Rd} = \frac{\pi t^2 f_y}{\gamma_{M0}}$$

Eq. (3.10)

em que t é a espessura da chapa e γ_{M0} é o coeficiente parcial de segurança relevante (o valor recomendado é de 1).

É de salientar que as Eq. (3.9 e 3.10) assumem um comportamento perfeitamente plástico das chapas de aço. Contudo, à luz das considerações previamente discutidas, o Nível-1 de ductilidade para juntas de resistência sísmica parcial deverão ser expressas tendo em conta a variabilidade aleatória do material da chapa e o seu endurecimento, para que a seguinte expressão possa ser utilizada:

$$F_{t,Rd} \geq \gamma \cdot F_{p,Rd} = \gamma_{ov} \cdot \gamma_{sh} \cdot F_{p,Rd}$$

Eq. (3.11)

O fator de sobre resistência γ na Eq. (3.11) pode ser assumido igual a 1.5, uma vez que o Eurocódigo recomenda para γ_{ov} o valor de 1.25, e para γ_{sh} o valor de 1.2 para aço-carbono Europeu, e o valor recomendado para o fator parcial de segurança γ_{M0} é de 1.0. Assim, reformulando a inequação (3.11) com a Eq. (3.8), a condição de ductilidade para o critério de ductilidade de dimensionamento pode ser expressa do seguinte modo:

$$t \leq \frac{0.42 \cdot d}{\sqrt{\gamma_{ov} \cdot \gamma_{sh}}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{M0} \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2} \cdot f_y}} \cong 0.30 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_y}}$$

Eq. (3.12)

Relativamente a juntas de resistência total ou equivalente, mesmo que nenhuma ou pobre ductilidade deva ser explorada respetivamente, é aconselhável adotar um critério de hierarquia local de modo a evitar um modo de rotura indesejável nas componentes frágeis devido à variabilidade do material. Consequentemente, de acordo com o Nível-2 de ductilidade, a resistência dos parafusos deve satisfazer a seguinte inequação:

$$F_{t,Rd} \geq \gamma_{ov} \cdot F_{p,Rd}$$

Eq. (3.13)

Eq. (3.13), pode ser reformulada e após algumas manipulações algébricas esta equação fornece uma condição semelhante à da Eq. (3.8).

É importante realçar que todas as condições descritas em cima requerem que a rotura das soldaduras é indiscutivelmente evitada, devido ao seu mecanismo de colapso frágil.

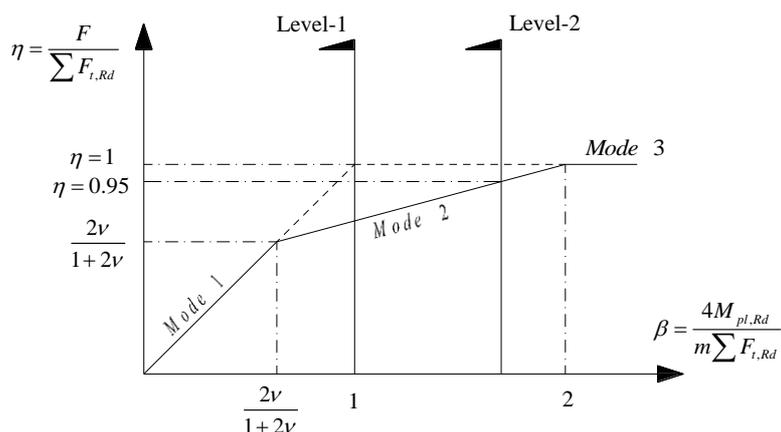


Figura 3.3 Critério de ductilidade: Resistência da peça em T equivalente e os correspondentes mecanismos de rotura.

3.2. Critérios adicionais de dimensionamento

3.2.1. Fiadas de parafusos ativas em tração

Diferentemente do método das componentes prescrito no EN1993-1-8, em que todas as fiadas de parafusos em tração são obtidas rigorosamente por imposição do equilíbrio com a resultante interna de compressão, o número de fiadas de parafusos ativas em tração é assumido a priori como descrito, uma vez que a contribuição das fiadas de parafusos abaixo do eixo central da ligação é razoavelmente desprezada na situação de momento fletor.

3.2.2. Centro de compressão e braço do binário

Para juntas com chapa de extremidade, a EN 1993-1-8 especifica que o centro de compressão localiza-se no meio da espessura do banzo da viga, ou na extremidade no esquadro no caso de juntas com esquadro. Resultados experimentais e numéricos mostram que a localização do centro de compressão depende em ambos os casos no tipo de junta e da exigência de rotação devido à formação de modos plásticos com diferente participação de cada componente da junta. De acordo com os procedimentos de dimensionamento propostos e baseando nos resultados experimentais e numéricos presentes na literatura (Lee, 2002; Lee et al, 2005; Abidelah et al, 2012) e obtidas dentro do alcance das condições do projecto (Maris et al., 2015, Stratan et al., 2016, D’Aniello et al, 2017; Tartaglia and D’Aniello, 2017, Tartaglia et al. 2018), a localização do centro de compressão é assumida do

seguinte modo: (i) no meio da espessura do banzo da viga para juntas com chapa de extremidade estendida (ver Figura 3.4a); (ii) no centro geométrico da secção composto pelos banzos da viga e a nervura de reforço, para juntas de chapa de extremidade reforçadas (ver Figura 3.4b); (iii) a 0.5 da altura do esquadro h_h , no caso de juntas com esquadro (ver Figura 3.4c).

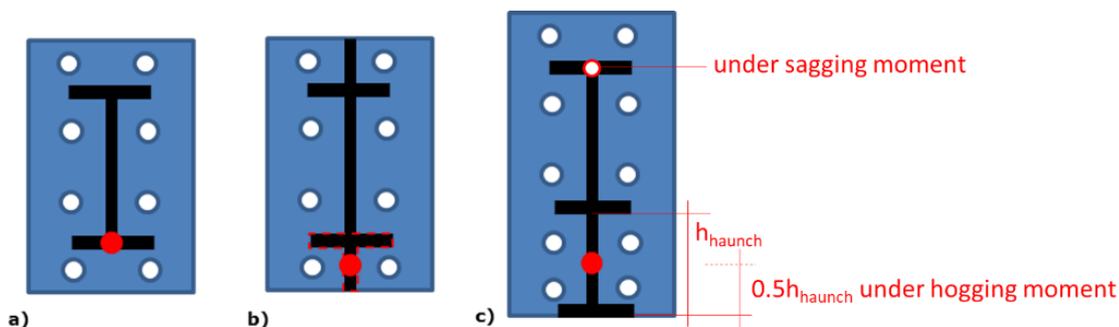


Figura 3.4 Localização do centro de compressão para diferentes tipologias de juntas (a) com chapa de extremidade não reforçada (b) com chapa de extremidade reforçada (c) ligações com esquadro.

3.3. Juntas viga-coluna com esquadro

3.3.1. Descrição da configuração da junta

Ligações viga-coluna com chapa de extremidade e com esquadro enquadram-se na classificação de juntas de resistência total e juntas rígidas, com painel de coluna resistente ou balanceada. A configuração de juntas viga-coluna com chapa de extremidade e esquadro é ilustrada na Figura 3.5. A ligação utiliza a chapa de extremidade com parafusos de alta resistência, e é reforçada através da utilização de esquadros por baixo do banzo inferior da viga. Os reforços transversais de coluna e os reforços da viga são obrigatórios. Reforços da alma suplementares são opcionais, e podem ser usados para melhorar a rigidez e resistência do painel da alma da coluna.

O ângulo do esquadro é medido entre o banzo inferior da viga e o banzo do esquadro, e poderá variar entre 30° a 45° . Os tipos de soldaduras para os quais as juntas viga-coluna com esquadro foram pré-qualificadas são ilustradas na Figura 3.6. Todas as soldaduras foram dimensionadas para permitir a transmissão de forças correspondente à resistência das partes soldadas. Isto é alcançado através da utilização de dois cordões de ângulo (ambos os lados da chapa) com uma espessura mínima de 0.05 vezes a espessura da chapa. Soldaduras críticas (banzo superior da viga, banzo do esquadro, chapa suplementar da alma com o banzo da coluna) são de penetração total em contornos arredondados. Soldaduras de topo do banzo da viga e de contorno do banzo do esquadro são reforçadas com cordão de soldadura adicional.

3.3.2. Lista de sistemas para os quais a ligação foi pré-qualificada

Ligações viga-coluna com chapa de extremidade e esquadro descritas neste documento são pré-qualificadas para os seguintes sistemas estruturais:

- Pórticos simples (MRFs);
- Pórticos com contraventamento centrado (i.e. MRF+ CBFs);
- Pórticos com contraventamento excêntrico (i.e. MRF+ EBFs).

Adicionalmente, estas juntas devem ser usadas apenas em vigas-coluna com eixo perpendicular e disposição regular de vãos do sistema sismo resistente, nomeadamente, vigas não inclinadas.

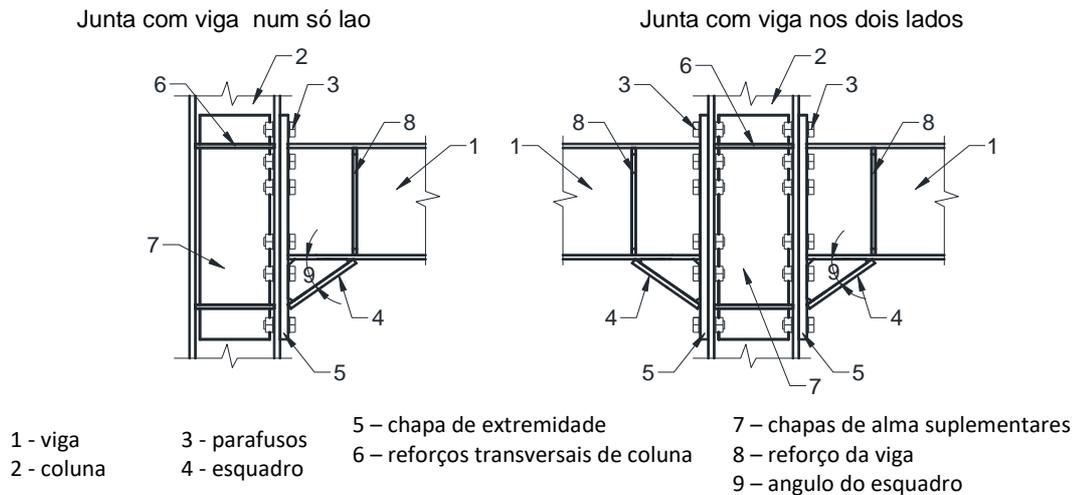


Figura 3.5 Caracterização de juntas com chapa de extremidade e esquadro.

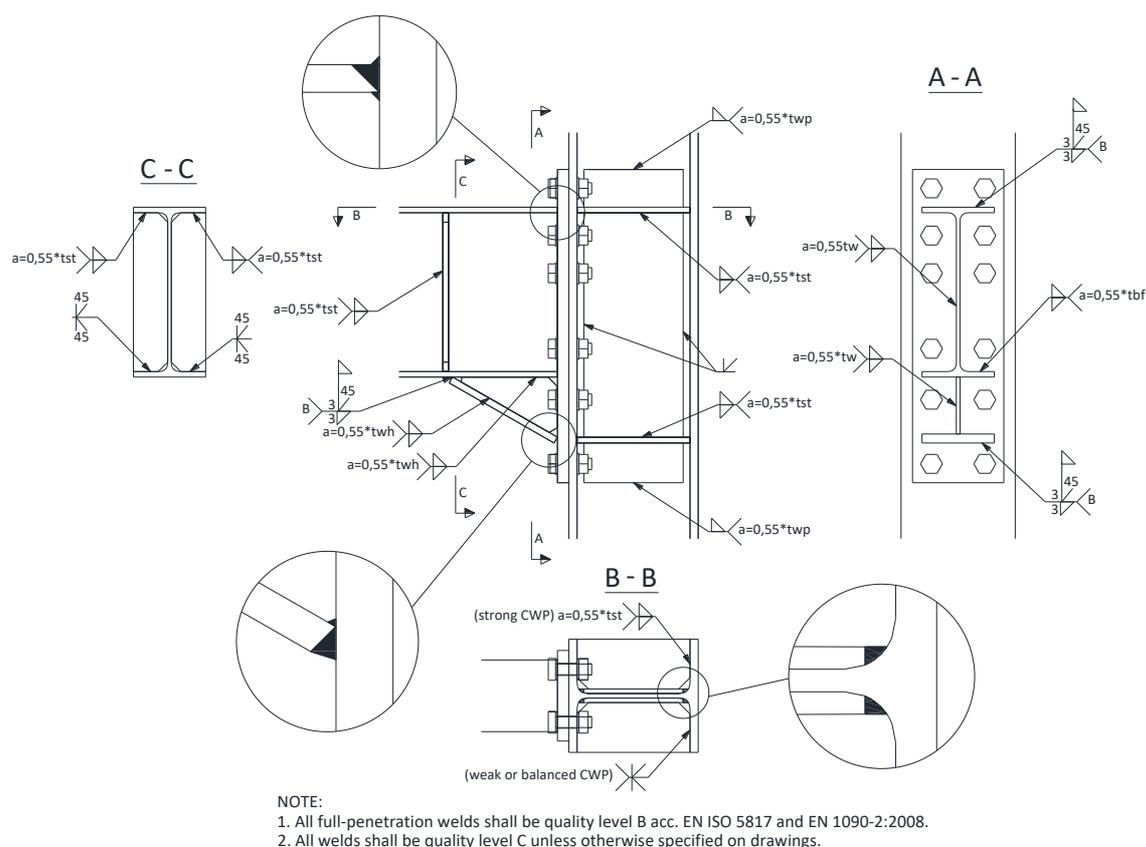


Figura 3.6 Detalhe das soldaduras para juntas com chapa de extremidade e esquadro

3.3.3. Lista de valores-limite para a pré-qualificação

Quadro 3.1 Lista de valores-limite para a pré-qualificação

Elementos	Intervalo de aplicação
Viga	Vigas de banzo largo laminadas a quente desde IPE330 até IPE600. As secções transversais devem ser de Classe 1 de acordo com a EN 1993-1-1. Vigas compostas com secções transversais semelhantes podem ser utilizadas, desde que as soldaduras entre a alma e os banzos sejam em bordos arredondados de penetração total.
Altura	De 330 a 600 mm
Razão entre o vão livre e a altura (entre a localização das rótulas plásticas assumida)	Mínimo 7
Espessura do banzo	Mínimo: 11 mm Máximo: 21 mm* (10% extrapolação com respeito ao máximo testado)
Material	De S235 a S355
Coluna	Vigas de banzo largo laminadas a quente desde HEB260/HEM260 até HEB550/HEM550. As secções transversais devem ser de Classe 1 de acordo com a EN 1993-1-1.

	Vigas compostas com secções transversais semelhantes podem ser utilizadas, desde que as soldaduras entre a alma e os banzos sejam em bordos arredondados de penetração total.
Altura	De 260 a 550 mm
Espessura do banzo	Mínimo: 17.5 mm Máximo: 40 mm
Material	De S235 a S355
<i>Altura viga/coluna</i>	0.60-2.00
<i>Chapa de extremidade</i>	20-40
Espessura	Mínimo: 20 mm Máximo: 40 mm
Largura	Mínimo: largura do banzo da viga + 30 mm Máximo: largura do banzo da coluna
Material	De S235 a S355
<i>Reforços transversais da coluna e reforços da viga</i>	De acordo com o especificado na EN 193-1-8 e na EN 1998-1.
Material	De S235 a S355
<i>Chapas suplementares da alma</i>	De acordo com o especificado na EN 1993-1-8 e na EN 1998-1. É permitida a consideração da área total das chapas suplementares da alma no cálculo da resistência ao esforço transversal do painel da alma da coluna.
Altura	Pelo menos igual à altura da chapa de extremidade.
Material	De S235 a S355
<i>Parafusos</i>	Parafusos estruturais de alta resistência assemblados para pré-esforço, e acordo com EN 14399-3 (sistema HR) e a EN 14399-4 (sistema HV). Os parafusos devem ser esforçados de acordo com a EN 1090-2.
Tamanho	M24 a M36
Grade	8.8 ou 10.9
Furos	De acordo com a EN 1993-1-8
<i>Esquadro</i>	
Ângulo	O ângulo entre o banzo do esquadro e o banzo inferior da viga pode variar entre 30° e 45°.
<i>Soldaduras</i>	De acordo com a Figura 3.6
Chapa de extremidade e o banzo superior da viga e o banzo do esquadro	Soldaduras em bordos arredondados com penetração total reforçadas
Chapas de continuidade e banzos da coluna	Soldaduras em bordos arredondados com penetração total
Chapas suplementares da alma e banzos da coluna	Soldaduras em bordos arredondados com penetração total
Outras soldaduras	Cordões de soldadura em ambos os lados com espessura maior do que 0.55 vezes a espessura das chapas ligadas

Note. Os testes de pré-qualificação foram realizados para vigas com perfis entre IPE360 e IPE600. O limite inferior é estendido a IPE330 uma vez que representa menos do que 10% da variação da altura da viga, e para vigas de tamanhos menores foi verificado que são caracterizadas por maior ductilidade nos testes de requalificação.

3.3.4. Processo de dimensionamento

3.3.4.1. Conceito de dimensionamento

Juntas com chapa de extremidade estendida e com esquadro tem como objetivo proporcionar uma ligação de resistência total e rígida, com painel de alma resistente ou balanceada. O processo de dimensionamento baseia-se no método das componentes preconizado na EN 1993-1-8, com alguns ajustes descritos abaixo, e tem em conta os requisitos da EN 1998-1. A junta é composta pela ligação, painel da alma da coluna e do membro ligado (viga). A ligação é dimensionada para o momento fletor e esforço de corte na face da coluna, correspondente à formação da rotula plástica na viga (perto do esquadro), tendo em conta a sobre resistência do material e o endurecimento.

As simulações numéricas realizadas no projeto EQUALJOINTS mostram que para momento fletor negativo o centro de compressão localiza-se à distância Δ_c acima do banzo do esquadro. Com base nos resultados obtidos até ao momento, pode-se assumir que o centro de compressão desloca-se para cima cerca de 50% da altura do esquadro ($\Delta_c = 0.45 h_n$, ver Figura 3.7a). Para momento fletor positivo, a usualmente considera-se que o centro de compressão localiza-se no meio do banzo comprimido (Figura 3.7b). Por outro lado, as fiadas de parafusos localizadas perto do centro de compressão desenvolvem forças de tração desprezáveis, devido à flexibilidade da chapa de extremidade e da ductilidade limitada das fiadas de parafusos no banzo tracionado.

Consequentemente, foi assumido que apenas as fiadas de parafusos que estão acima da meia altura da secção transversal da viga (sem considerar o esquadro) estão ativas sob momento negativo. Quando sujeitas a momento positivo, apenas as fiadas de parafusos localizadas além da meia altura da secção transversal da viga incluindo o esquadro são consideradas com ativas.

O painel da alma da coluna pode ser dimensionado para ser balanceada com a viga, partilhando com as posteriores exigências deformações plásticas, ou para serem mais resistentes do que a viga.

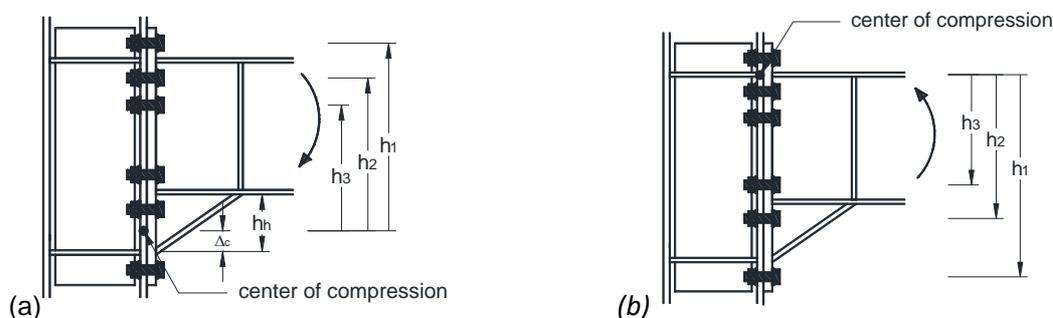


Figura 3.7 Centro de compressão das fiadas de parafusos ativas em compressão para momento fletor (a) negativo e (b) positivo.

3.3.4.2. Procedimento global

Passo 1: Escolha inicial da geometria da ligação e materiais

- Classe do parafuso, dimensão do parafusos e número de fiadas de parafusos
- Espessura e dimensão da chapa de extremidade
- Espessura e dimensões do esquadro
- Espessura e dimensões dos reforços transversais
- Espessura e dimensões das chapas suplementares da alma
- Especificação das soldaduras

Passo 2: Caracterização das componentes

- Resistência das componentes (junta sujeita a momento)
- Rigidez das componentes (junta sujeita a momento)
- Resistência das componentes (junta sujeita a corte)

Passo 3: Procedimento de montagem

- Resistência da ligação sujeita a momento
- Resistência da ligação sujeita a corte
- Resistência do painel da alma da coluna
- Rigidez da junta sujeita a momento

Passo 4: Classificação da ligação e verificações

3.3.4.3. Escolha inicial da ligação

As recomendações apresentadas na tabela seguinte podem ser utilizadas para a geometria inicial e materiais da ligação.

Elementos a ligar	a	Dimensões da viga		
		Pequeno (\approx IPE360)	Médio (\approx IPE450)	Grande (\approx IPE600)
Classe do parafusos	do	10.9		
Tamanho do parafuso	do	M27	M30	M36
Número de fiadas de parafusos	de	6	6	6
Chapa de extremidade	de	<i>Espessura:</i> $t_{ep}=d_b$. <i>Dimensões:</i> A largura deve ser maior que a largura do banzo da viga (pelo menos 30 mm, de modo a acomodar a soldadura) e menor do que o banzo da coluna. A parte saliente deve ser suficiente para permitir uma fiada de parafusos, respeitando as regras preconizadas na EN 1993-1-8 (§3.5).		
Esquadro		A largura do banzo do esquadro deve ser igual à largura do banzo da viga A espessura do banzo do esquadro deve ser maior do que γ_{ov} vezes a espessura do banzo da viga. A espessura da alma do esquadro deve ser igual ou maior do que a espessura da alma da viga. Altura do esquadro: <ul style="list-style-type: none"> • $h_h = 0.4 \cdot h_b$ para ângulo do esquadro de $30^\circ \leq \alpha < 40^\circ$; • $h_h = 0.5 \cdot h_b$ para ângulo do esquadro de $40^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$. 		

Chapa suplementares da alma	A espessura e as dimensões das chapas suplementares da alma devem respeitar as regras presentes na EN 1993-1-8 (§ 6.2.6.1), caso contrário soldaduras de bujão deverão ser utilizadas para garantir a resistência de estabilidade das chapas suplementares.
-----------------------------	---

Reforços transversais

Detalhes da soldadura

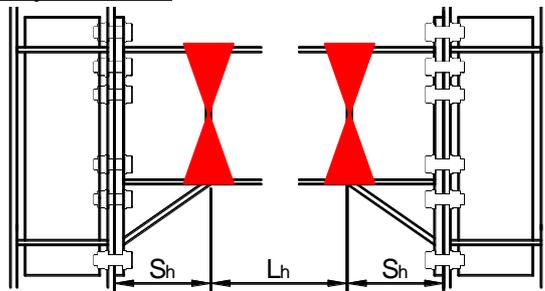
Quadro 3.1

Nota: t_{ep} é a espessura da chapa de extremidade e d_b é o diâmetro nominal do parafuso.

3.3.4.4. Procedimento de assemblagem e verificações

Tipo de classificação	Critério	Referência	
Resistência da ligação em flexão	Ligações de resistência total: $M_{con,Rd} \geq M_{con,Ed} = \alpha \cdot (M_{b,Rd} + V_{b,Ed} \cdot S_h)$ $\alpha = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov}$	Equaljoints	
Resistência da ligação solicitada ao corte	$V_{con,Rd} \geq V_{b,Ed}$	Equaljoints	
Resistência do painel de alma de coluna solicitada ao corte	Painel da alma forte: $V_{wp,Rd} \geq V_{wp,Ed}$ com $V_{wp,Ed} = \alpha \cdot (M_{b,Rd} + V_{b,Ed} \cdot S_h) / z - V_{c,Ed}$	Equaljoints	
Classificação segundo a rigidez	Classificação	Contraventado Não contraventado	EC3-1-8 5.2.2
	Juntas semi-rígidas	$0.5 \leq k_b < 8$	
	Juntas rígidas	$k_b \geq 8$	$k_b \geq 25$
	$k_b = S_{j,ini} / (EI_b / L_b)$		

Determinação do valor de cálculo do momento resistente na face da coluna e correspondente força de corte.



O valor de cálculo do momento resistente na face da coluna corresponde à cedência e a endurecimento da rotula plástica na extremidade do esquadro, dado por:

$$M_{con,Ed} = M_{b,Rd} + V_{b,Ed} \cdot S_h$$

O valor de cálculo da resistência ao esforço transversal da ligação $V_{con,Ed}$ é determinado com base no pressuposto de rotulas plásticas totalmente plastificadas e endurecidas em ambas as extremidades da viga:

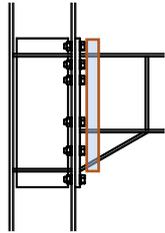
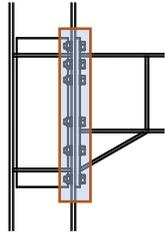
$$V_{con,Ed} \cong V_{b,Ed} = V_{Ed,M} + V_{Ed,G}$$

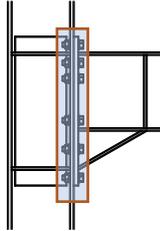
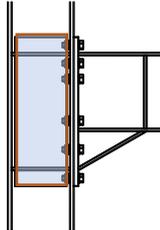
em que:

$M_{pl,Rd}^* = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov} \cdot W_{pl,beam} \cdot f_{y,beam}$ é o momento plástico esperado no local das rotulas plásticas;

$W_{pl,beam}$ é o módulo de flexão plástico da viga;

$f_{y,beam}$ é tensão de cedência mínima especificada do elemento;

<p>γ_{sh} é o coeficiente de endurecimento para ter em conta o pico de resistência da ligação;</p> <p>γ_{ov} é o fator de sobre resistência do material;</p> <p>$V_{Ed,M}$ é o valor de cálculo do esforço transversal devido à aplicação dos momentos plásticos;</p> <p>$V_{Ed,G}$ é o valor de cálculo do esforço transversal devido às cargas não sísmicas;</p> <p>s_h é a distância desde a face da coluna à rótula plástica;</p> <p>L_h é a distância entre rótulas plásticas.</p> <p>Nota: os testes experimentais mostram que as rótulas plásticas formam-se a uma distância da extremidade da viga. Uma localização mais exata pode ser utilizada se necessário.</p>	
<p><u>Verificação da extremidade da viga incluindo o esquadro</u></p> <p>A verificação de segurança da extremidade da viga incluindo o esquadro é feita segundo a EN 1993-1-1 para o valor de cálculo do momento fletor expectável na face da coluna:</p> $\frac{M_{con,Ed}}{M_{bh,Rd}} \leq 1,0$ <p>em que:</p> <p>$M_{bh,Rd}$ é o momento plástico resistente da peça em T composta pelo banzo superior da viga, banzo do esquadro e alma da viga-esquadro, desprezando o banzo inferior da viga, ver subcláusula 6.2.6.7 da EN 1993-1-8;</p> <p>$M_{con,Ed}$ é o momento máximo espectável na face da coluna.</p> <p>De modo a ter em conta a possível sobre resistência do material na viga considerando o esquadro, a espessura do banzo do esquadro deve ser aumentada por γ_{ov}.</p>	
<p><u>Verificação da resistência da chapa de extremidade à flexão.</u></p> <p>Verificação da resistência da ligação em flexão sujeita a momento negativo/positivo:</p> $\frac{M_{con,Ed}}{M_{con,Rd}} \leq 1,0$ <p>em que $M_{con,Rd}$ é o valor de cálculo do momento fletor da ligação.</p> <p>As componentes seguintes são utilizadas para obter o momento fletor resistente da ligação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Banzo da coluna em flexão; • Chapa de extremidade em flexão; • Alma da viga à tração; • Alma da coluna em tração transversal; • Alma da coluna em compressão transversal. <p>$M_{con,Rd}$ é determinado de acordo com a EN 1993-1-8, com as seguintes modificações:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quando sujeita a momento negativo apenas as fiadas de parafusos acima da meia-altura da secção transversal da viga (excluindo o esquadro) são consideradas como ativas; • Quando sujeita a momento positivo, apenas as fiadas de parafusos abaixo da meia-altura da secção transversal da viga incluindo o esquadro são consideradas como ativas; 	

<ul style="list-style-type: none"> • Para momento negativo, o centro de compressão é deslocado para cima certa de 0.50% da altura do esquadro ($\Delta_c = 0.5 h_h$, ver Figura 3.7a); • As componentes seguintes não são tidas em conta: painel de alma de coluna solicitado ao corte, banzo de viga e alma (e esquadro) em compressão. 	
<p><u>Verificação da resistência da ligação ao corte</u></p> $\frac{V_{b,Ed}}{V_{con,Rd}} \leq 1,0$ <p>em que $V_{con,Rd}$ é a resistência da ligação ao corte.</p> <p>As seguintes componentes são consideradas para obter a resistência ao esforço transversal da ligação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alma da viga solicitada ao corte; • Parafusos em esmagamento no banzo da coluna; • Parafusos em esmagamento na chapa de extremidade; • Parafusos ao corte. Apenas os parafusos não contabilizados para a resistência à flexão da ligação devem ser verificados. 	
<p><u>Verificação do painel de alma de coluna</u></p> <p>O valor de cálculo do esforço transversal no painel de alma de coluna é determinado com base no momento fletor e nas forças de corte que atuam no painel de alma.</p> $V_{wp,Ed} = \alpha \cdot (M_{b,Rd} + V_{b,Ed} \cdot s_h) / z - V_{c,Ed}$ <p>em que</p> <p>$V_{wp,Ed}$ é o valor de cálculo do esforço transversal;</p> <p>$V_{c,Ed}$ é o esforço transversal na coluna;</p> <p>z é o braço do binário.</p> <p>Para um painel de alma forte, o valor de cálculo do esforço transversal deve ser obtido tendo em conta o desenvolvimento da plastificação total e endurecimento das rótulas plásticas na viga:</p> $\alpha = \gamma_{sh} \cdot \gamma_{ov}$ <p>A resistência do painel de alma de coluna é verificada pela seguinte relação:</p> $\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} \leq 1,0$ <p>$V_{wp,Rd}$ é determinado de acordo com a EN 1993-1-8. As seguintes limitações aplicam-se:</p> <ul style="list-style-type: none"> • É permitido considerar a área total das chapas suplementares de alma no cálculo da resistência adicional ao esforço transversal do painel de alma de coluna. • A resistência ao esforço transversal adicional $V_{wp,add,Rd}$ devido aos banzos da coluna e aos reforços transversais pode ser desprezada. 	

3.3.4.5. Caracterização das componentes

Componente	Regras detalhadas	Referências
Painel de alma de coluna solicitado ao corte	Regras da EN 1993-1-8, 6.2.6.1 aplicam-se, com as seguintes observações: <ul style="list-style-type: none"> É permitido considerar a área total das chapas suplementares de alma no cálculo da resistência ao esforço transverso adicional o painel de alma de coluna; A resistência ao esforço transverso adicional $V_{wp,add,Rd}$ devido aos banzos da coluna e aos reforços transversais pode ser desprezada. 	EN 1993-1-8 6.2.6.1 6.3.2
Banzo de coluna em flexão	Regras da EN 1993-1-8 aplicam-se.	EN 1993-1-8 6.2.6.4 6.3.2
Chapa de extremidade em flexão	Regras da EN 1993-1-8 aplicam-se.	EN 1993-1-8 6.2.6.5 6.3.2
Alma de coluna em compressão	Regras da EN 1993-1-8 aplicam-se.	EN 1993-1-8 6.2.6.2 6.3.2
Alma de viga à tração	Regras da EN 1993-1-8 aplicam-se.	EN 1993-1-8 6.2.6.8 6.3.2
Alma de coluna em tração transversal	Regras da EN 1993-1-8 aplicam-se.	EN 1993-1-8 6.2.6.3 6.3.2
Alma de viga solicitada ao corte	Regras da EN 1993-1-8 aplicam-se.	EN 1993-1-1 6.2.6
Parafusos em esmagamento no banzo da coluna	Regras da EN 1993-1-8 aplicam-se..	EN 1993-1-8 3.6.1
Parafusos em esmagamento na chapa de extremidade	Regras da EN 1993-1-8 aplicam-se.	EN 1993-1-8 3.6.1
Parafusos ao corte	Regras da EN 1993-1-8 aplicam-se.	EN 1993-1-8 3.6.1

3.3.4.6. Classificação da rigidez

Juntas com chapa de extremidade estendida e esquadro podem ser consideradas como rígidas,

- resistência do painel de alma de coluna é obtida através da equação (6.7) da EN 1993-1-8, desprezando a resistência ao esforço transverso adicional $V_{wp,add,Rd}$ devido aos banzos da coluna e aos reforços transversais;
- modelo da linha media é utilizado para a análise estrutural global;
- parafusos da categoria E (totalmente pré-esforçados) de acordo com a EN 1993-1-8.

As regras da EN 1993-1-8 podem ser utilizadas para quantificar rigidez da a ligação e do painel de alma de coluna. Modelação avançada da ligação e do painel de alma de coluna pode ser utilizado para a análise global estrutural, se necessário.

3.3.4.7. Classificação da ductilidade

Juntas viga-coluna com chapa de extremidade estendida e com esquadro dimensionadas de acordo com as especificações abaixo são consideradas habilitadas para aplicação em sistemas estruturais DCH e DCM (pórticos simples, pórticos com contraventamento centrado e pórticos com contraventamento excêntrico).

É baseado no facto de que todas as ligações testadas satisfazem os seguintes requisitos (ANSI/AISC 341-16):

- A ligação foi capaz de acomodar um ângulo de deslocamento do piso de pelo menos 0.04 rad
- A resistência à flexão da ligação medida, determinada na face da coluna, foi igual a pelo menos 0.80Mp da viga ligada no piso com um ângulo de 0.04 rad.

O utilizador é advertido embora o deslocamento do piso corresponde a uma descida de 20% do momento máximo era menor do que 0.04 rad (mas maior do que 0.03 rad) para esquadros.

3.4. Juntas viga-coluna com chapa de extremidade saliente reforçadas

3.4.1. Descrição da configuração da junta

A configuração da junta é descrita na Figura 3.8, diz respeito às juntas com chapa de extremidade estendida. Dependendo da altura da viga e do critério de dimensionamento, podem ser adotadas 4 ou 6 fiadas de parafusos. O uso de chapas adicionais é uma opção que pode ser necessária para o reforço da alma da coluna, enquanto que o uso de chapas de continuidade (reforços transversais na coluna) é recomendado em todos os casos.

Os tipos de soldadura descritos de acordo com os critérios de dimensionamento são listados no Quadro 3.2.

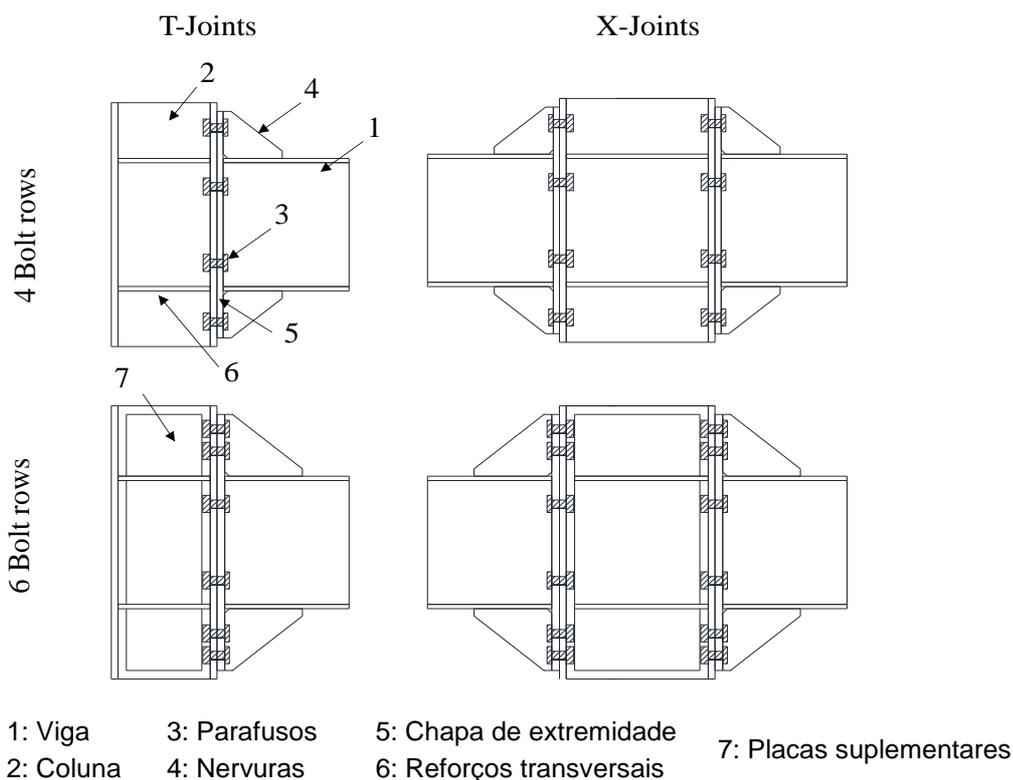


Figura 3.8 Descrição da junta com chapa de extremidade estendida reforçada.

Quadro 3.2 Tipos de soldadura de acordo com os critérios de dimensionamento

Elementos soldados	Resistência da junta		
	Total	Equivalente	Parcial
Banzo da viga e Chapa de extremidade (bf-ep)	FPW	FPW	FPW
Alma da viga e Chapa de extremidade (bw-ep)	FPW	FPW	FW
Chapas de continuidade e Coluna (cp-c)	FW	FW	FPW
Nervura e Chapa de extremidade (r-ep)	FPW	FPW	FPW
Nervura e Banzo da viga (r-bf)	FPW	FPW	FPW
Chapas da alma adic. e Coluna (Swp-c)	FPW+PW	FPW+PW	FPW+PW

3.4.2. Lista de sistemas de pré-qualificação das ligações

As juntas aparafusadas com chapa de extremidade reforçadas pré-qualificadas neste documento podem ser usadas nos seguintes sistemas estruturais:

- Pórticos simples (MRFs);
- Pórticos com contraventamento centrado (i.e. MRF+ CBFs);
- Pórticos com contraventamento excêntrico (i.e. MRF+ EBFs);

Adicionalmente, estas juntas devem ser usadas apenas em pórticos com eixo da viga perpendicular ao eixo do pilar e com configuração regular de vãos do sistema sísmo-resistente, nomeadamente vigas inclinadas.

3.4.3. Lista de valores limite para a pré-qualificação

Quadro 3.3 Valores limite para a pré-qualificação

Elementos	Área de aplicação	
<i>Viga</i>		
	Altura	Máximo=600mm
	Razão vão-altura	Máximo=23, Mínimo=10
	Espessura do banzo	Máximo=19mm
	Material	De S235 a S355
<i>Coluna</i>		
	Altura	Máximo=550mm
	Espessura do banzo	Máximo=29mm
	Material	De S235 to S355
<i>Altura viga/coluna</i>		0.65-2.15
<i>Chapa de extremidade</i>		
		18-30mm
	Espessura	Quadro 3.4
	Material	De S235 to S355
<i>Chapas de continuidade</i>		
	Espessura	Igual ou maior do que a espessura do banzo da viga ligada
	Material	De S235 to S355
<i>Chapas adicionais</i>		
	Espessura	Quadro 3.4
	Material	De S235 to S355
<i>Parafusos</i>		
		HV ou HR
	Tamanho	Quadro 3.4
	Classe	10.9
	Número de fiadas de parafusos	Quadro 3.4
	Anilha	De acordo com EN 14399-4
	Furos	De acordo com EN1993-1-8
<i>Soldaduras</i>		
Chapa de extremidade e banzos da viga		Soldaduras reforçadas em bordos arredondados com penetração total (Figura 3.9)
Chapas de continuidade e banzos da coluna		Soldaduras em bordos arredondados com penetração total (Figura 3.9)
Chapas adicionais e banzos da coluna		Soldaduras em bordos arredondados com penetração total (Figura 3.9)
Outras soldaduras		Soldaduras de ângulo: espessura do cordão maior que 0.55 vezes a espessura das chapas ligadas.

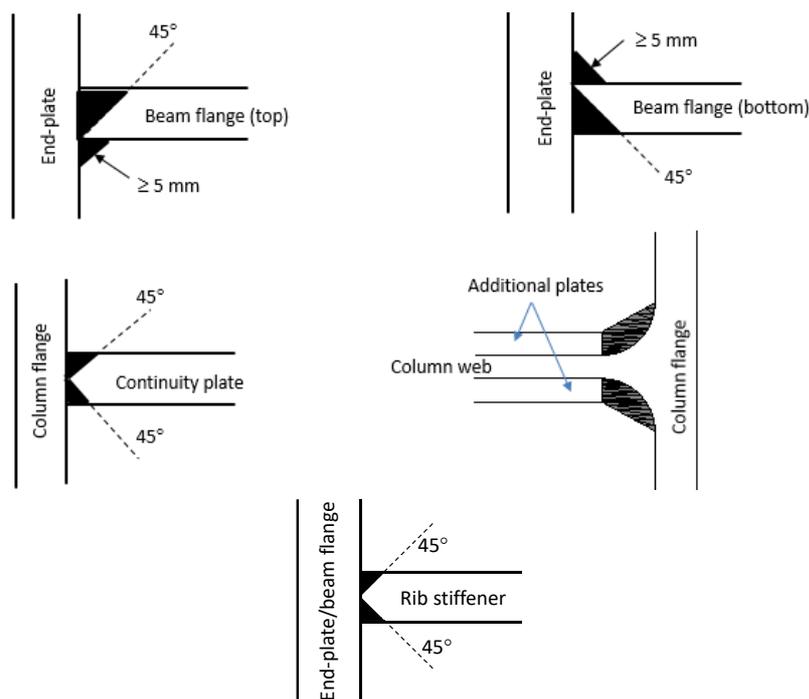


Figura 3.9 Detalhes das juntas com soldaduras em bordos arredondados com penetração total

3.4.4. Procedimento de dimensionamento

Para além das escolhas feitas no que respeita à geometria e materiais da ligação, são abordados de seguida os três principais passos de dimensionamento das componentes:

- Caracterização das componentes
- Procedimento de montagem
- Classificação da ligação e verificações de segurança

3.4.4.1. Procedimento global

Passo 1: Escolha inicial da geometria e materiais da ligação

- Classe do parafuso, tamanho do parafusos e número de fiadas de parafusos
- Espessura de dimensões da chapa de extremidade
- Espessura e dimensões das chapas de continuidade
- Espessura e dimensões de chapas adicionais (se for o caso)
- Especificações das soldaduras

Passo 2: Caracterização das componentes

- Resistência das componentes (junta em flexão)
- Rigidez das componentes (junta em flexão)
- Resistência das componentes (junta solicitada ao corte)

Passo 3: Procedimento de montagem

- Resistência da junta em flexão
- Rigidez da junta em flexão
- Resistência da ligação solicitada ao corte
- Grau de ductilidade da ligação

Passo 4: Classificação da junta e verificações de segurança

- Resistência à flexão
- Rigidez à flexão
- Resistência ao corte
- Ductilidade
- Verificação

3.4.4.2. Escolha inicial da ligação

As recomendações apresentadas no Quadro 3.4 podem ser utilizadas para a escolha inicial da geometria e materiais.

Quadro 3.4 **Escolha inicial das geometrias e dos materiais da ligação**

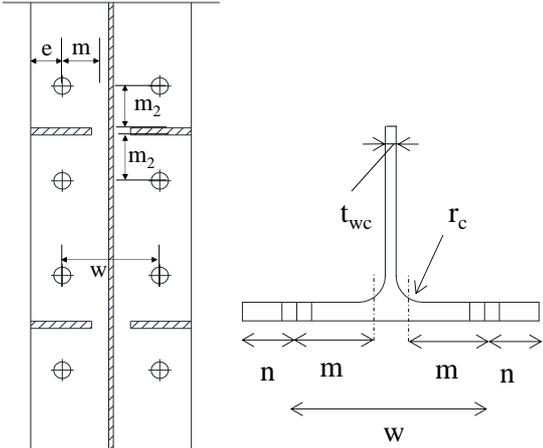
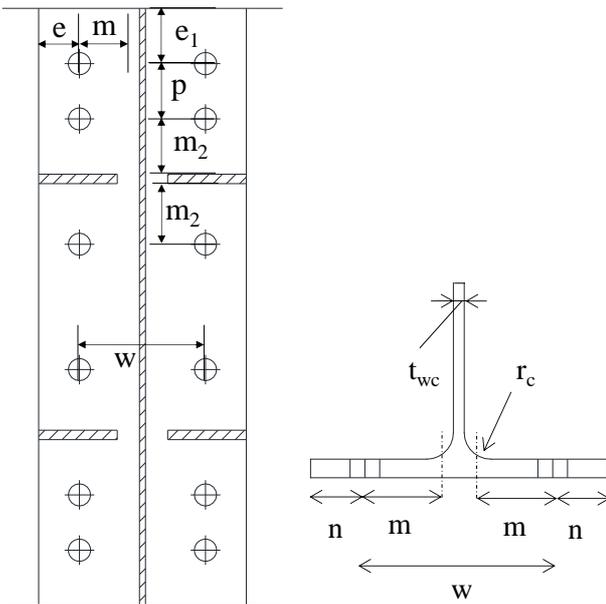
Elementos da ligação	da	Dimensões da viga		
		Pequena (\approx IPE360)	Média (\approx IPE450)	Alta (\approx IPE600)
Classe do parafuso		10.9		
Classe do parafuso		M27	M30	M36
Tamanho do parafuso		4/6	4/6	6
Número de linhas de parafusos		<p><i>Espessura:</i> $t_{ep}=(2/3\div 5/6)d_b$ para ligações de resistência total poderá ser ligeiramente superior que os banzos da coluna; $t_{ep}=(2/3\div 5/6)d_b$ para juntas equivalentes; mas deverá ser menor que a espessura dos banzos da coluna.</p> <p><i>Dimensões:</i> A largura deve ser menor ou igual ao banzo da coluna. A parte saliente deve ser suficiente para posicionar uma ou duas linhas de parafusos respeitando as regras dadas em EC3-1-8 (§3.5).</p>		
Chapa de extremidade	de	A espessura e as dimensões das chapas adicionais devem respeitar as regras dadas em EC3-1.8 (6.2.6.1), caso contrário, devem ser usadas soldaduras de bujão para garantir a resistência necessária das chapas suplementares.		
Chapas adicionais				
Chapas de continuidade	de	Quadro 3.3		
Nota: t_{ep} é a espessura da chapa de extremidade e d_b é o diâmetro nominal do parafuso.				

3.4.4.3. Procedimento de montagem e de verificações

Classificação	Critério	Referências									
Resistência à flexão	$M_{con,Rd} \approx M_{Ed}$: ligação de resistência equivalente $M_{con,Rd} > M_{Ed}$: ligação de resistência total $V_{wp,Rd} > \min[F_{con,Rd}, F_{fbc,Rd}]$: painel de alma forte em que: $F_{con,Rd} = \sum F_{Rd,ri}$ (l = 1 to 5 para juntas com 6 fiadas de parafusos e i = 1 to 3 para juntas com 4 fiadas de parafusos), é a força de corte na ligação devido às fiadas de parafusos em tração. $F_{fbc,Rd}$ é a resistência do banzo da viga e da alma em compressão.	Equaljoints									
Classificação de rigidez	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Classificação</th> <th>Contraventado</th> <th>Não contraventado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Juntas semi-rígidas</td> <td>$0.5 \leq k_b < 8$</td> <td>$0.5 \leq k_b < 2.5$</td> </tr> <tr> <td>Juntas rígidas</td> <td>$k_b \geq 8$</td> <td>$k_b \geq 25$</td> </tr> </tbody> </table> $k_b = S_{j,ini} / (EI_b / L_b)$	Classificação	Contraventado	Não contraventado	Juntas semi-rígidas	$0.5 \leq k_b < 8$	$0.5 \leq k_b < 2.5$	Juntas rígidas	$k_b \geq 8$	$k_b \geq 25$	Eq. 5.2.1-8 5.2.2
Classificação	Contraventado	Não contraventado									
Juntas semi-rígidas	$0.5 \leq k_b < 8$	$0.5 \leq k_b < 2.5$									
Juntas rígidas	$k_b \geq 8$	$k_b \geq 25$									
Resistência ao corte	$V_{con,Rd} \approx V_{b,Rd}$: resistência equivalente em corte $V_{con,Rd} > V_{b,Rd}$: resistência total em corte										
Classificação de ductilidade	$\beta_{max} \leq 1.0$: grau de ductilidade 1 $\beta_{max} > 1.0$ and $\eta_{max} \leq 0.95$: grau de ductilidade 2 em que: $\beta_{max} > \max[\beta_{r1}, \beta_{r2}]$; $\eta_{max} > \max[\eta_{r1}, \eta_{r2}]$	Equaljoints									

3.4.4.4. Caracterização das componentes

Resistência das componentes (em flexão)

Componente	Regras detalhadas	Referências
Banzo de coluna em flexão	<p style="text-align: center;">Casos com 4 fiadas de parafusos</p>  <p style="text-align: center;">Casos com 6 fiadas de parafusos</p> 	<p>EC3-1-8 6.2.6.4</p>
Componente	Regras detalhadas	Referências

Para cada fiada de parafusos ou um grupo de fiadas de parafusos, a resistência é obtida através da seguinte fórmula:

$$F_{cjb,Rd} = \min[F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}] * \text{ou}$$

$$F_{cjb,Rd} = \min[F_{T,1-2,Rd}; F_{T,3,Rd}] **$$

em que:

- $F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$
- $F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$
- $F_{T,3,Rd} = \sum \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$
- $F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$

no qual:

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

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

$$m = (w / 2 - t_{wc} / 2 - 0,8 r_c)$$

$n = \min[e, 1,25m]$, com troços circulares pode ser utilizado $n = \infty$.

$$e_w = d_w / 4$$

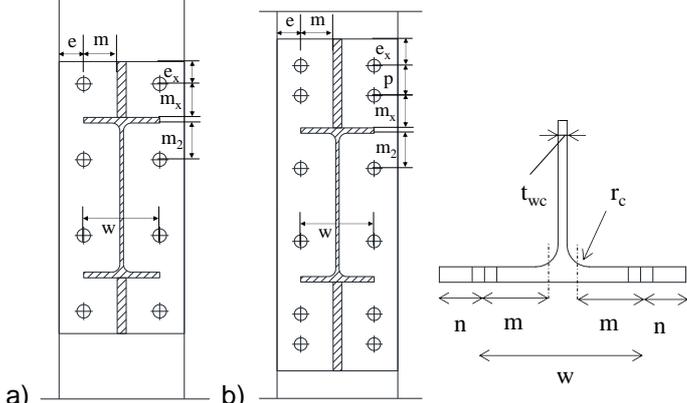
d_w é o diâmetro da anilha, ou da largura através dos pontos da cabeça do parafuso ou da porca.

*Se se desenvolverem forças de alavanca

**se não se desenvolverem força de alavanca

NB EC1993-1-8 permite a consideração de forças de alavanca em qualquer caso para ligações aparafusadas. À luz dos resultados descritos no âmbito do projeto EQUALJOINT, esta afirmação não é conservativa e a ativação da força de alavanca deve ser verificada caso a caso.

Componente	Regras detalhadas	Referências
	<p>Comprimentos efetivos</p> <p>❖ <i>Ligação com 4 fiadas de parafusos</i></p> <p><u>Fiada 1:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><u>Fiada 2:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p>α é dado pela Figura 6.11 da EC3-1-8, dependendo de:</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \quad \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ <p>N.B. Entre a primeira e a segunda fiada de parafusos, nenhum grupo pode ser ativado uma vez que as placas de continuidade foram introduzidas.</p> <p>❖ <i>Ligação com 6 fiadas de parafusos</i></p> <p><u>Fiada 1:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m; 4m + 1.25e]$ $l_{eff,2} = 4m + 1.25e$ <p><i>Primeira fiada do grupo 1+2</i></p> $l_{eff,1} = \min[2p; p]$ $l_{eff,nc} = p$ <p><u>Fiada 2:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><i>Segunda fiada do grupo 1+2</i></p> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p; 0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)]$ $l_{eff,1} = 0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)$ <p><u>Fiada 3:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p>α é dado pela Figura 6.11 da EC3-1-8, dependendo de:</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}$ $\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ <p>N.B. Entre a primeira e a segunda fiada de parafusos o efeito de grupo pode influencia a resistência da fiada, por outro lado, nenhum efeito de grupo na terceira fiada de parafuso pode ser ativado, uma vez que a chapa de continuidade foi introduzida .</p>	<p>Quadro 6.5 (EC3-1-8)</p>

Chapa de extremidade em flexão	<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Casos com (a) 4 fiadas de parafusos e com (b) 6 fiadas de parafusos</p> <p>Para cada fiada de parafusos ou grupo de fiadas, a resistência é obtida através da fórmula seguinte:</p> <p>$F_{cfb,Rd} = \min[F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}]^*$ ou</p> <p>$F_{cfb,Rd} = \min[F_{T,1-2,Rd}; F_{T,3,Rd}]^{**}$</p> <p>em que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$ • $F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{t,Rd}}{m+n}$ • $F_{T,3,Rd} = \sum \frac{0.9f_{ub}A_s}{\gamma_{M2}}$ • $F_{T,1,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$ <p>em que:</p> <p>$M_{pl,1,Rd} = 0,25\Sigma\ell_{eff,1}t_{fc}^2f_{y,fc}/\gamma_{M0}$</p> <p>$M_{pl,2,Rd} = 0,25\Sigma\ell_{eff,2}t_{fc}^2f_{y,fc}/\gamma_{M0}$</p> <p>$m = (w/2 - t_{wc}/2 - 0.8r_c)$</p> <p>$n = \min[e, 1.25m]$, para troços circulares pode ser utilizado $n=\infty$.</p> <p>$e_w = d_w / 4$</p> <p>d_w é o diâmetro da anilha, ou da largura através dos pontos da cabeça do parafuso ou da porca.</p> <p>*Se se desenvolverem forças de alavanca</p> <p>**se não se desenvolverem força de alavanca</p>	EC3- 1-8 6.2.6. 5
--------------------------------	---	----------------------------

Componente	Regras detalhadas	Referências
	<p>Comprimentos efetivos</p> <p>❖ <i>Ligação com 4 fiadas de parafusos</i></p> <p><u>Fiada 1:</u></p> $l_{eff,1} = \min \begin{cases} 2\pi m \\ \pi m + 2e_x \\ \alpha m - (2m + 0.625e) + e_x \\ 2m + 0.625e + e_x \\ 4m + 1.25e \end{cases}$ $l_{eff,2} = \min \begin{cases} \alpha m - (2m + 0.625e) + e_x \\ 2m + 0.625e + e_x \\ 4m + 1.25e \end{cases}$ <p><u>Fiada 2:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p>α é dado pela Figura 6.11 do EC1993-1-8, dependente de:</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m + e}$ $\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e}$ <p>❖ <i>Ligação com 6 fiadas de parafusos</i></p> <p><u>Fiada 1:</u></p> $l_{eff,1} = \min \begin{cases} 2\pi m \\ \pi m + 2e_x \\ 4m + 1.25e \\ 2m + 0.625e + e_x \end{cases}$ $l_{eff,2} = \min \begin{cases} 4m + 1.25e \\ 2m + 0.625e + e_x \end{cases}$ <p><i>Primeira fiada do grupo 1+2</i></p> $l_{eff,1} = \min \begin{cases} \pi m + p \\ 2e_x + p \\ 2m + 0.625e + 0.5p \\ e_x + 0.5p \end{cases}$ $l_{eff,2} = \min \begin{cases} 2m + 0.625e + 0.5p \\ e_x + 0.5p \end{cases}$ <p><u>Fiada 2:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p><i>Segunda fiada do grupo 1+2</i></p> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p; 0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)]$ $l_{eff,2} = 0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)$ <p><u>Fiada 3:</u></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p>α é dado pela Figura 6.11 do EC3-1-8.</p>	

Componente	Regras detalhadas	Referências
Banzo e alma de viga ou de coluna em compressão	$F_{fbc,Rd} = M_{c,Rd} f_{y,b} / (h + \xi b - 0.5t_{fb})$ <ul style="list-style-type: none"> • h é a altura da viga ligada; • $M_{c,Rd}$ é o valor de cálculo do momento resistente da viga mais a secção transversal da nervura, reduzido se necessário para permitir para o corte, ver EN 1993-1-1. • t_{fb} é a espessura do banzo da viga ligada. • ξ_b é a posição do centro de compressão; • b é a altura da nervura. 	EC3-1-8 6.2.6.7
Alma da coluna e chapas de continuidade em compressão	<p>A resistência da alma da coluna e das chapas de continuidade pode ser calculadas por :</p> $F_{wcc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,cf} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} + \frac{A_{cp} f_{y,cp}}{\gamma_{M0}}$ <p>em que:</p> $b_{eff,c,cf} = t_{fb} + \sqrt{2}(a_{w1} + a_{w2}) + 5(t_{fc} + r_c) + 2t_{ep}$ <p>A_{cp} é a área das chapas de continuidade (ambos os lados); O fator de redução k_{wc} tem em conta as tensões axiais na alma da coluna, definido em 6.2.6.2(2) do EC3-1-8. O fator de redução ω é dado pelo quadro Quadro 6.3 do EC3-1-8; NB: quando as chapas de continuidade são utilizadas, o fator de redução devido à encurvadura da alma da coluna sob compressão transversal pode ser desprezado.</p>	EC3-1-8 6.2.6.2
Alma de viga à tração	$F_{wbt,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0}$ <p>A largura efetiva $b_{eff,t,wb}$ da alma de viga à tração deve ser tida em conta como igual ao comprimento efetivo da peça em T equivalente para a chapa de extremidade em flexão para uma fiada de +parafusos individual ou em grupo.</p>	EC3-1-8 6.2.6.8
Alma de coluna em tração transversal	$F_{wct,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$ <p>A largura efetiva $b_{eff,t,wc}$ da alma da viga em tração deve ser tomada igual à largura da peça em T equivalente para a chapa de extremidade à flexão para uma fiada de parafusos ou grupo de parafusos. O fator de redução ω é dado pelo Quadro 6.3 do EC3-1-8.</p>	EC3-1-8 6.2.6.3

Componente	Regras detalhadas	Referências
Parafusos à tração	<p>A resistência de uma fiada de parafusos (dois parafusos) à tração é dada por:</p> $F_{bt,Rd} = 2 \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>em que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • f_{ub} é a tensão de rotura à tração; • A_s é a área útil na rosca. 	EC3-1-8 3.6.1

3.4.4.5. Rigidez das componentes (junta em flexão)

Componente	Regras detalhadas	Referências
Painel de alma de coluna solicitado ao corte	<p>Para juntas reforçadas, k_1 é igual a infinito, enquanto que para juntas não reforçadas é:</p> $k_1 = \frac{0.38 \cdot A_{vc}}{\beta z}$ <p>em que: β é o parâmetro de transformação definido na EN1993-1-8 cl. 5.3(7), e z é o braço do binário.</p>	EC3-1-8 6.3.2
Banzo de coluna em flexão	<p>Para uma fiada de parafusos à tração:</p> $k_4 = \frac{0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_{fc}^2}{m^3}$ <p>A largura efetiva b_{eff} é o menor valor das larguras efetivas de uma fiada de parafusos (individual ou como parte de um grupo de parafusos).</p>	EC3-1-8 6.3.2
Chapa de extremidade em flexão	<p>Para uma fiada de parafusos à tração:</p> $k_5 = \frac{0.9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^2}{m^3}$ <p>A largura efetiva b_{eff} é o menor valor das larguras efetivas de uma fiada de parafusos (individual ou como parte de um grupo de parafusos).</p>	EC3-1-8 6.3.2
Alma de coluna em tração transversal	<p>Para ligações soldadas reforçadas, k_3 é igual a infinito, enquanto que para ligações não reforçadas é:</p> $k_3 = \frac{0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{d_c}$ <p>A largura efetiva b_{eff} é o menor valor das larguras efetivas de uma fiada de parafusos (individual ou como parte de um grupo de parafusos) do banzo de coluna em flexão.</p>	EC3-1-8 6.3.2
Parafusos à tração	<p>Para uma fiada de parafusos à tração:</p> $k_{10} = \frac{1.6 \cdot A_s}{L_b}$	EC3-1-8 6.3.2
Nervura no lado comprimido	$k_{RIB} = \frac{A_{eq}}{L_{Strut}} \cdot \cos(\alpha)$ <p>em que (tal como definido por Lee):</p> $A_e = \frac{\eta(ab - c^2)}{\sqrt{(a-c)^2 + (b-c)^2}}$ $L_e = (0.6)\sqrt{(a^2 + b^2)}$ <p>α á a inclinação da nervura.</p>	Equaljoints

3.4.4.6. Resistência das componentes (junta solicitada ao corte)

Componente	Regras detalhadas	Referências				
Alma da viga solicitada ao corte	$V_{b,RD} = \chi_w A_{wb} f_{y,b} / \sqrt{3} \gamma_{M1}$ <p>em que:</p> $A_{w,b} = A_b - 2b_b t_{fb} + (t_{wb} + 2r_b) t_{fb}$ $\chi_w = 0.83 / \bar{\lambda}_w \text{ se } \bar{\lambda}_w \geq 0.83;$ $\chi_w = 1.0 \text{ se } \bar{\lambda}_w < 0.83$ <p>com $\bar{\lambda}_w = 0.3467 (h_{wb} / t_{wb}) \sqrt{f_{y,b} / E}$</p>	EC3-1-5 5.3				
Banzo da coluna em esmagamento	<p>Para uma fiada de parafusos (dois parafusos) ao corte:</p> $F_{b,Rd} = 2 \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}}$ <p>em que:</p> <p>para parafusos de extremidade: $k_1 = \min[2.8 \frac{e}{d_0} - 1.7, 2.5]$</p> <p>para parafusos interiores: $k_1 = \min[1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5]$</p> <p>$\alpha_b$ dependendo da direção da transmissão esforços e da posição dos parafusos:</p> <p style="text-align: center;">Ligação com 4 fiadas de parafusos</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border-right: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><i>Esforço transversal descendente</i></p> <p>Fiadas 1, 3 e 4:</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Fiada 2:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$ </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p><i>Esforço transversal ascendente</i></p> <p>Fiadas 1, 2 e 4:</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Fiada 3:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$ </td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Ligação com 6 fiadas de parafusos</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border-right: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><i>Esforço transversal descendente</i></p> <p>Fiadas 1, 3 e 5:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$ <p>Fiadas 2, 4 e 6:</p> $\alpha_b = 1.0$ </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p><i>Esforço transversal ascendente</i></p> <p>Fiadas 1, 3 e 5:</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Fiadas 2, 4 e 6:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$ </td> </tr> </table>	<p><i>Esforço transversal descendente</i></p> <p>Fiadas 1, 3 e 4:</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Fiada 2:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$	<p><i>Esforço transversal ascendente</i></p> <p>Fiadas 1, 2 e 4:</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Fiada 3:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$	<p><i>Esforço transversal descendente</i></p> <p>Fiadas 1, 3 e 5:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$ <p>Fiadas 2, 4 e 6:</p> $\alpha_b = 1.0$	<p><i>Esforço transversal ascendente</i></p> <p>Fiadas 1, 3 e 5:</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Fiadas 2, 4 e 6:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$	EC3-1-8 3.6.1
<p><i>Esforço transversal descendente</i></p> <p>Fiadas 1, 3 e 4:</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Fiada 2:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$	<p><i>Esforço transversal ascendente</i></p> <p>Fiadas 1, 2 e 4:</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Fiada 3:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$					
<p><i>Esforço transversal descendente</i></p> <p>Fiadas 1, 3 e 5:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$ <p>Fiadas 2, 4 e 6:</p> $\alpha_b = 1.0$	<p><i>Esforço transversal ascendente</i></p> <p>Fiadas 1, 3 e 5:</p> $\alpha_b = 1.0$ <p>Fiadas 2, 4 e 6:</p> $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$					
Chapa de extremidade em esmagamento	<p>Para uma fiada de parafusos (dois parafusos) ao corte:</p> $F_{b,Rd} = 2 \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}}$ <p>para parafusos de extremidade: $k_1 = \min[2.8 \frac{e}{d_0} - 1.7, 2.5]$</p> <p>para parafusos interiores: $k_1 = \min[1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5]$</p>	EC3-1-8 3.6.1				

	<p>α_b dependendo da direção da transmissão esforços e da posição dos parafusos:</p> <p style="text-align: center;">Ligação com 4 fiadas de parafusos</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Esforço transversal descendente</i></p> <p>Fiada 1: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Fiada 2 e 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiada 3: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Esforço transversal ascendente</i></p> <p>Fiada 1 e 3: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiada 2: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiada 4: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> </td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Ligação com 6 fiadas de parafusos</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Esforço transversal descendente</i></p> <p>Fiada 1: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Fiadas 2, 4 e 6: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiadas 3 e 5: $\alpha_b = 1.0$</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Esforço transversal ascendente</i></p> <p>Fiadas 1, 3 e 5: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiadas 2 e 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiada 6: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> </td> </tr> </table>	<p><i>Esforço transversal descendente</i></p> <p>Fiada 1: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Fiada 2 e 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiada 3: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p>	<p><i>Esforço transversal ascendente</i></p> <p>Fiada 1 e 3: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiada 2: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiada 4: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p>	<p><i>Esforço transversal descendente</i></p> <p>Fiada 1: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Fiadas 2, 4 e 6: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiadas 3 e 5: $\alpha_b = 1.0$</p>	<p><i>Esforço transversal ascendente</i></p> <p>Fiadas 1, 3 e 5: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiadas 2 e 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiada 6: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p>	
<p><i>Esforço transversal descendente</i></p> <p>Fiada 1: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Fiada 2 e 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiada 3: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p>	<p><i>Esforço transversal ascendente</i></p> <p>Fiada 1 e 3: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiada 2: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiada 4: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p>					
<p><i>Esforço transversal descendente</i></p> <p>Fiada 1: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Fiadas 2, 4 e 6: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiadas 3 e 5: $\alpha_b = 1.0$</p>	<p><i>Esforço transversal ascendente</i></p> <p>Fiadas 1, 3 e 5: $\alpha_b = \min[1.0, p / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiadas 2 e 4: $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiada 6: $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p>					
Parafusos ao corte	<p>Para uma fiada de parafusos (dois parafusos) ao corte:</p> $F_{b,Rd} = 2 \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>$\alpha_v = 0.5$ para parafusos 10.9.</p>	EC3-1-8 3.6.1				

3.5. Juntas viga-coluna com chapa de extremidade saliente não reforçadas

3.5.1. Descrição da configuração da junta

A configuração da junta testada é descrita na Figura 3.10, que corresponde a juntas com chapa de extremidade estendida não reforçada. Dependendo da altura da viga, podem ser adotadas 4 ou 6 linhas de parafusos. O uso de chapas adicionais é uma opção para quando é necessário reforçar a alma da coluna, enquanto que o uso de chapas de continuidade (reforços transversais na coluna) é recomendado em todos os casos.

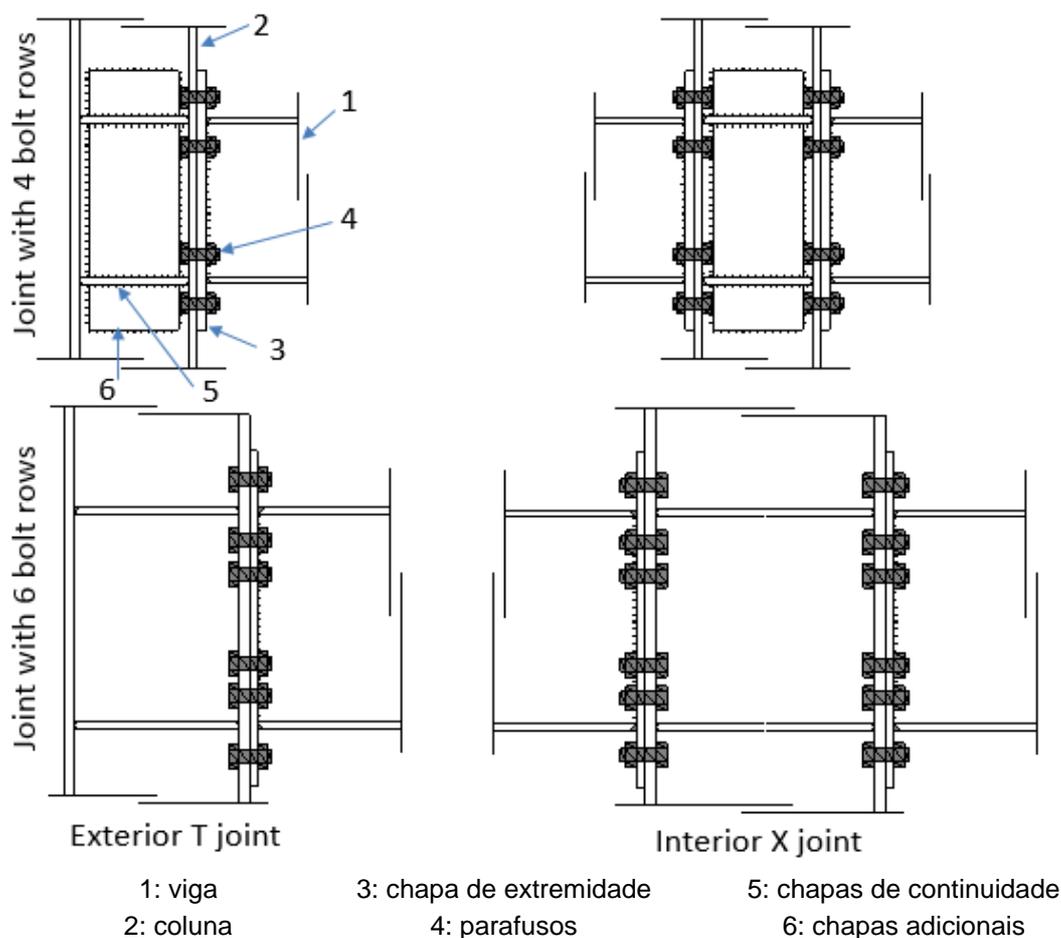


Figura 3.10 Descrição das juntas não reforçadas com chapa de extremidade estendida

3.5.2. Lista de sistemas para os quais a ligação é pré-qualificada

Juntas aparafusadas com chapa de extremidade estendidas não reforçadas pré-qualificadas neste documento podem ser utilizadas para os seguintes sistemas estruturais:

- Pórticos com contraventamento centrado (i.e. MRF+ CBFs);
- Pórticos com contraventamento excêntrico (i.e. MRF+ EBFs);

Adicionalmente, estas juntas devem ser usadas apenas em pórticos com eixo da viga perpendicular ao eixo do pilar e com configuração regular de vãos do sistema sísmo-resistente, nomeadamente vigas inclinadas.

3.5.3. Lista de valores limite para a pré-qualificação

O Quadro 3.5 sumariza os valores limite para a pré-qualificação. este Quadro estará completo até ao fim do projeto.

Quadro 3.5 Valores limite para a pré-qualificação		
Elementos	Parâmetros	Campo de aplicação
<i>Viga</i>	Altura	Máximo = 600mm
	Rácio vão-altura	Máximo = 23, Mínimo = 10
	Espessura do banzo	Máximo = 19mm
	Material	De S235 to S355
<i>Coluna</i>	Altura	Máximo = 550mm
	Espessura do banzo	Máximo = 31mm
	Material	De S235 a S355
<i>Altura da viga/coluna</i>		0.65-2.15
<i>Chapa de extremidade</i>	Espessura	18-25mm
	Material	De S235 a S355
<i>Chapas de continuidade</i>	Espessura	Espessura igual ou maior do que o banzo da viga ligada
	Material	De S235 a S355
<i>Chapas adicionais</i>	Espessura	Quadro 3.6
	Material	De S235 a S355
<i>Parafusos</i>		HV ou HR
	Tamanho	Quadro 3.6
	Classe	10.9
	Número de linhas de parafusos	Quadro 3.6
	Anilha	
	Furos	
<i>Soldaduras</i>	Chapa de extremidade e banzos da viga	Soldaduras reforçadas em bordos arredondados com penetração total (Figura 3.9)
	Chapas de continuidade e banzos da coluna	Soldaduras em bordos arredondados com penetração total (Figura 3.9)
	Chapas adicionais e banzos da coluna	Soldaduras em bordos arredondados com penetração total ((Figura 3.9)
	Outras soldaduras	Soldaduras de ângulo: espessura do cordão maior que 0.55 vezes a espessura das chapas ligadas.

3.5.4. Procedimento de dimensionamento

Para além das escolhas feitas no que respeita à geometria e materiais da ligação, são abordados de seguida os três principais passos de dimensionamento das componentes:

- Caracterização das componentes
- Procedimento de montagem
- Classificação da ligação e verificações de segurança

3.5.4.1. Procedimento global

Passo 1: Escolha inicial da geometria e materiais da ligação

- Classe do parafuso, tamanho do parafusos e número de fiadas de parafusos
- Espessura de dimensões da chapa de extremidade
- Espessura e dimensões das chapas de continuidade
- Espessura e dimensões de chapas adicionais (se for o caso)
- Especificações das soldaduras

Passo 2: Caracterização das componentes

- Resistência das componentes (junta em flexão)
- Rigidez das componentes (junta em flexão)
- Resistência das componentes (junta solicitada ao corte)

Passo 3: Procedimento de montagem

- Resistência da junta em flexão
- Rigidez da junta em flexão
- Resistência da ligação solicitada ao corte
- Grau de ductilidade da ligação

Passo 4: Classificação da junta e verificações de segurança

- Resistência à flexão
- Rigidez à flexão
- Resistência ao corte
- Ductilidade
- Verificação

3.5.4.2. Escolha inicial da geometria e dos materiais da junta

As recomendações apresentadas no Quadro 3.6 podem ser utilizadas como uma boa estimativa inicial para a definição da geometria e materiais da ligação.

Quadro 3.6 Escolha inicial da geometria e dos materiais da junta

Elementos da ligação	da	Dimensões da viga		
		Pequena (≈IPE360)	Médio (≈ IPE450)	Grande (≈ IPE600)
Classe do Parafuso	10.9			
Dimensão do parafuso	M27	M30	M36	
Número de linhas de parafusos	4	4	6	

Chapa de extremidade	de	<p><i>Espessura:</i> $t_p=(1/2÷2/3)d$ para juntas de resistência parcial; $t_p=(2/3÷5/6)d$ para juntas de resistência equivalente; mas deverá ser inferior à espessura dos banzos da coluna.</p> <p><i>Dimensões:</i> A largura deve ser igual à largura do banzo da coluna. A parte saliente deve ser suficiente para posicionar uma linha de parafusos respeitando as regras dadas em EC3-1-8 (3.5).</p>
Chapas adicionais		Com colunas HEB e vigas IPE, as chapas adicionais são apenas consideradas quando é necessário ter painel da alma forte. A espessura e as dimensões das chapas adicionais devem respeitar as regras dadas em EC3-1.8 (6.2.6.1).
Chapas de continuidade		
Detalhes de soldadura		

Quadro 3.5

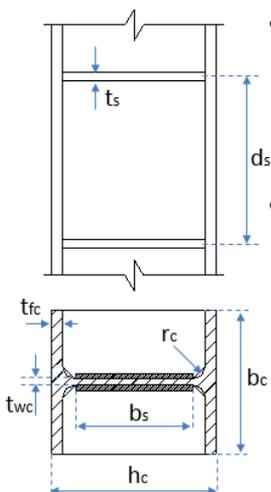
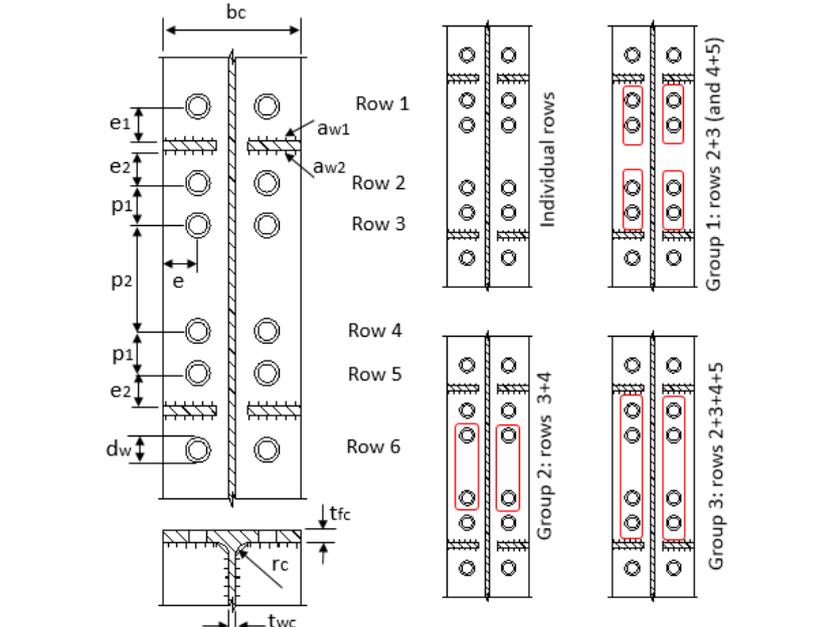
Nota: t_p é a espessura da chapa de extremidade e d é o diâmetro nominal do parafuso.

3.5.4.3. Procedimento de montagem e verificações

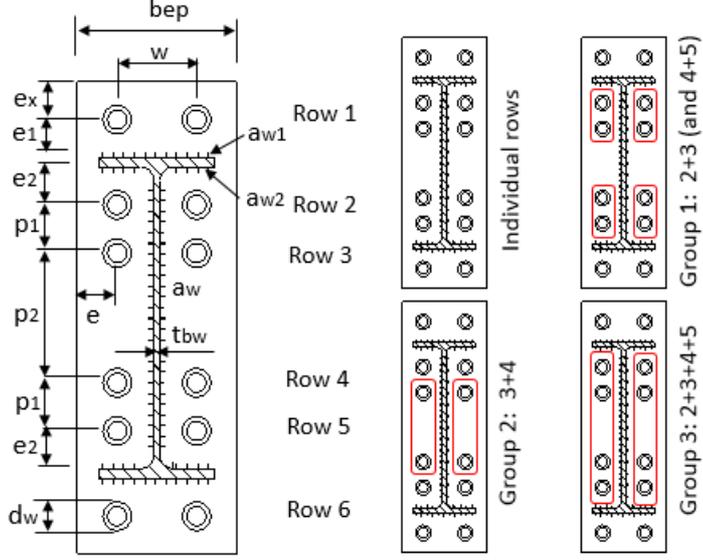
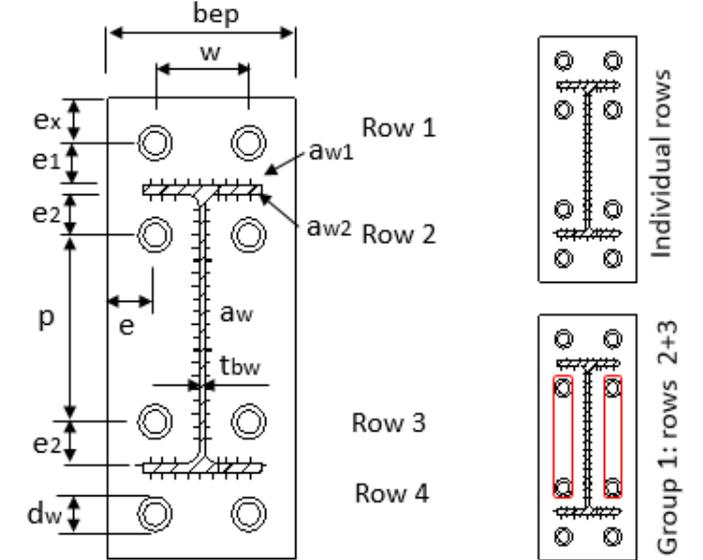
Classificação	Critério			Referências
Resistência à flexão	<p>$M_{con,Rd} < M_{con,Ed}$: ligação de resistência parcial</p> <p>$M_{con,Rd} \approx M_{con,Ed}$: ligação de resistência total</p> <p>$M_{con,Rd} > M_{con,Ed}$: ligação de resistência total</p> <p>$V_{wp,Rd} < \min[F_{con,Rd}, F_{fbc,Rd}]$: painel de alma fraco</p> <p>$V_{wp,Rd} \approx \min[F_{con,Rd}, F_{fbc,Rd}]$: painel de alma balanceada</p> <p>$V_{wp,Rd} > \min[F_{con,Rd}, F_{fbc,Rd}]$: painel de alma forte</p> <p>com:</p> <p>$F_{con,Rd} = \sum F_{Rd,ri}$ ($i = 1$ to 5 para juntas com 6 fiadas de parafusos e $i = 1$ to 3 para juntas com 4 fiadas de parafusos), é a força de corte na ligação devido às fiadas de parafusos em tração.</p> <p>$F_{fbc,Rd}$ é a resistência dos banzos da viga e alma à compressão.</p>			Equaljoints
Classificação de rigidez	<p>Classificação</p> <p>Juntas semi-rígidas</p> <p>Juntas rígidas</p>	<p>Contraventado</p> <p>$0.5 \leq k_b < 8$</p> <p>$k_b \geq 8$</p>	<p>Não contraventado</p> <p>$0.5 \leq k_b < 25$</p> <p>$k_b \geq 25$</p>	EC3-1-8 5.2.2
	$k_b = S_j / (EI_b / L_b)$			
Resistência ao corte	<p>$V_{con,Rd} < V_{b,Rd}$: resistência parcial em corte</p> <p>$V_{con,Rd} \approx V_{b,Rd}$: resistência equivalente em corte</p> <p>$V_{con,Rd} > V_{b,Rd}$: resistência total em corte</p>			
Classificação de ductilidade	<p>$\beta_{max} \leq 1.0$: grau de ductilidade 1</p> <p>$\beta_{max} > 1.0$ and $\eta_{max} \leq 0.95$: grau de ductilidade 2</p> <p>com: $\beta_{max} > \max[\beta_{r1}, \beta_{r2}]$; $\eta_{max} > \max[\eta_{r1}, \eta_{r2}]$</p>			Equaljoints

3.5.4.4. Caracterização das componentes

Resistência das componentes (em flexão)

Componente	Regras detalhadas	Referências
Painel de alma de coluna solicitado ao corte	$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 A_{vc} f_{y,wc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} + \frac{4 (0.25 t_s^2 f_{y,s}) (b_c - t_{wc} - 2r_c)}{d_s}$  <ul style="list-style-type: none"> • Painel de alma de coluna solicitado ao corte com reforços de alma transversais e sem placa adicional: $d_s A_{vc} = A_c - 2b_c t_{fc} + (t_{wc} + 2r_c) t_{fc}$ • Painel de alma de coluna solicitado ao corte com reforços de alma transversais e com placa adicional: $A_{vc} = A_c - 2b_c t_{fc} + (t_{wc} + 2r_c) t_{fc} + t_{wc} b_s$ 	EC3-1-8 6.2.6.1
Secção transversal da viga em flexão	$M_{b,Rd} = W_{b,p} f_{y,b}$ <ul style="list-style-type: none"> • $W_{b,p}$ é o módulo de flexão plástico da secção transversal da viga. • $f_{y,b}$ tensão de cedência da viga. 	
Banzo de coluna em flexão	 <p style="text-align: center;">Casos com 6 fiadas de parafusos</p>	EC3-1-8 6.2.6.4

	$l_{eff,1} = \min[2\pi m, 4m + 1, 25e]$ $l_{eff,2} = 4m + 1, 25e$ <p>Última fiada do grupo 1:</p> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p_1, 2m + 0.625e + 0.5 p_1]$ $l_{eff,2} = 2m + 0.625e + 0.5 p_1$ <p>Uma fiada do grupo 2:</p> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p_2, 0.5 p_2 + 0.5\alpha m]$ $l_{eff,2} = 0.5 p_2 + 0.5\alpha m$ <p>Fiada intermédia de um grupo de 3:</p> $l_{eff,1} = p_1 + p_2$ $l_{eff,2} = 0.5(p_1 + p_2)$ <p>α é dado pela Figura 6.11 da EC3-1-8, dependente de:</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ <p>Em que:</p> $m_2 = e_1 - 0.8\alpha_{w1}\sqrt{2} \text{ para a fiada 1}$ $m_2 = e_2 - 0.8\alpha_{w2}\sqrt{2} \text{ para a fiada 2 ou 5}$ <p>❖ <i>Ligação com 4 fiadas de parafusos</i></p> <p>Fiada 1:</p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p>Fiada 2:</p> <p><i>Individual:</i></p> $l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$ $l_{eff,2} = \alpha m$ <p>Uma fiada do grupo 2+3</p> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p, 0.5 p + 0.5\alpha m]$ $l_{eff,2} = 0.5 p + 0.5\alpha m$ <p>Fiada 3: semelhante à fiada 2</p> <p>α é dado pela Figura 6.11 da EC3-1-8, dependente de:</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ <p>em que:</p> $m_2 = e_1 - 0.8\alpha_{w1}\sqrt{2} \text{ para a fiada 1}$ $m_2 = e_2 - 0.8\alpha_{w2}\sqrt{2} \text{ para a fiada 2 ou 3}$	
--	--	--

<p>Chapa de extremidade e em flexão</p>	<div style="text-align: center;">  <p>Casos com 6 fiadas de parafusos</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Casos com 4 fiadas de parafusos</p> </div> <p>Para cada fiada de parafusos ou um grupo de fiadas de parafusos, a resistência é obtida através da seguinte fórmula:</p> $F_{pb,Rd} = \min[F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}] \text{ com}$ <ul style="list-style-type: none"> • $F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)}$ • $F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m+n}$ <p>No qual: $M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,1} t_{ep}^2 f_{y,ep} / \gamma_{M0}$ $M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,2} t_{ep}^2 f_{y,ep} / \gamma_{M0}$</p> $\begin{cases} m = 0,5(b_{ep} - 2e - t_{bw} - 1,6a_w \sqrt{2}) \\ n = \min[e, 1,25m] \end{cases} \text{ para fiadas de parafusos entre os } \text{os}$ <p>banzos da viga</p>	<p>EC3-1-8 6.2.6.5</p>
---	--	----------------------------

$$\begin{cases} m = e_1 - 0.8a_{w1}\sqrt{2} \\ n = \min[e_x, 1.25m] \end{cases} \text{ para fiadas de parafusos acima/abaixo dos banzos}$$

da viga

(com troços circulares pode ser utilizado $n=\infty$).

$$e_w = 0.25d_w$$

Comprimentos efetivos

❖ *Ligação com 6 fiadas de parafusos*

Fiada 1:

$$l_{eff,1} = \min \left\{ 2\pi m, \pi m + w, \pi m + 2e \right. \\ \left. 4m + 1.25e_x, e + 2m + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m + 0.625e_x \right.$$

$$l_{eff,2} = \min[4m + 1.25e_x, e + 2m + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m + 0.625e_x]$$

Fiada 2 (ou fiada 5):

Fiada individual:

$$l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$$

$$l_{eff,2} = \alpha m$$

Primeira fiada do grupo 1 (fiadas 2+3 ou 4+5)

$$l_{eff,1} = \min[\pi m + p_1, 0.5 p_1 + \alpha m - (2m + 0.625e)]$$

$$l_{eff,2} = 0.5 p_1 + \alpha m - (2m + 0.625e)$$

Fiada 3 (ou a fiada 4):

Fiada individual:

$$l_{eff,1} = \min[2\pi m, 4m + 1.25e]$$

$$l_{eff,2} = 4m + 1.25e$$

Última fiada do grupo 1 (fiadas 2+3 ou 4+5):

$$l_{eff,1} = \min[\pi m + p_1, 2m + 0.625e + 0.5 p_1]$$

$$l_{eff,2} = 2m + 0.625e + 0.5 p_1$$

Primeira fiada (ou última fiada) do grupo 2 (fiadas 3+4):

$$l_{eff,1} = \min[\pi m + p_2, 2m + 0.625e + 0.5 p_2]$$

$$l_{eff,2} = 2m + 0.625e + 0.5 p_2$$

Fiada intermédia do grupo 3 (fiadas 2+3+4+5):

$$l_{eff,1} = p_1 + p_2$$

$$l_{eff,2} = 0.5(p_1 + p_2)$$

α é dado pela Figura 6.11 da EC3-1-8, dependendo de:

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$$

em que:

$$m_2 = e_1 - 0.8a_{w1}\sqrt{2} \text{ a a fiada 1}$$

$$m_2 = e_2 - 0.8a_{w2}\sqrt{2} \text{ para a fiada 2 ou 5}$$

❖ *Ligação com 4 fiadas de parafusos*

Fiada 1:

$$l_{eff,1} = \min \left\{ 2\pi m, \pi m + w, \pi m + 2e \right. \\ \left. 4m + 1.25e_x, e + 2m + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m + 0.625e_x \right.$$

$$l_{eff,2} = \min[4m + 1.25e_x, e + 2m + 0.625e_x, 0.5b_{ep}, 0.5w + 2m + 0.625e_x]$$

Fiada 2:

Fiada individual:

$$l_{eff,1} = \min[2\pi m, \alpha m]$$

$$l_{eff,2} = \alpha m$$

	<p><i>Uma fiada do grupo 2+3</i></p> $l_{eff,1} = \min[\pi m + p, \quad 0.5 p + 0.5 \alpha m]$ $l_{eff,2} = 0.5 p + 0.5 \alpha m$ <p><i>Fiada 3: semelhante à fiada 2:</i></p> <p>α é dado pela Figura 6.11 da EC3-1-8, dependendo de:</p> $\lambda_1 = \frac{m}{m+e}; \quad \lambda_2 = \frac{m_2}{m+e}$ $m_2 = e_1 - 0.8 a_{w1} \sqrt{2} \text{ para a fiada 1}$ $m_2 = e_2 - 0.8 a_{w2} \sqrt{2} \text{ para a fiada 2 ou 3}$	
Banzo e alma de viga ou de coluna em compressão	$F_{bc,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_{fb})$ <p>em que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • h é a altura da viga ligada; • $M_{c,Rd}$ é o valor de cálculo do momento resistente da viga mais a secção transversal do esquadro, reduzido se necessário para permitir para o corte, ver EN 1993-1-1. • t_{fb} é a espessura do banzo da viga ligada. 	EC3-1-8 6.2.6.7
Alma da coluna e chapas de continuidade de em compressão	<p>A resistência da alma da coluna e das chapas de continuidade pode ser calculadas por:</p> $F_{wcc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,cf} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} + \frac{A_{cp} f_{y,cp}}{\gamma_{M0}}$ <p>em que:</p> $b_{eff,c,cf} = t_{fb} + \sqrt{2}(a_{w1} + a_{w2}) + 5(t_{fc} + r_c) + 2t_{ep}$ <p>A_{cp} é a área das chapas de continuidade (ambos os lados); O fator de redução k_{wc} tem em conta as tensões axiais na alma da coluna, definido em 6.2.6.2(2) do EC3-1-8. O fator de redução ω é dado pelo quadro Quadro 6.3 do EC3-1-8; NB: quando as chapas de continuidade são utilizadas, o fator de redução devido à encurvadura da alma da coluna sob compressão transversal pode ser desprezado. As geometrias (a esbelteza) das chapas de continuidade para satisfazerem esta condição serão apresentadas no Quadro 4.3.1.</p>	EC3-1-8 6.2.6.2
Alma de viga à tração	$F_{wbt,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb} / \gamma_{M0}$ <p>A largura efetiva $b_{eff,t,wb}$ da alma de viga à tração deve ser tida em conta como igual ao comprimento efetivo da peça em T equivalente para a chapa de extremidade em flexão para uma fiada de +parafusos individual ou em grupo.</p>	EC3-1-8 6.2.6.8
Alma de coluna em tração transversal	$F_{wct,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$ <p>A largura efetiva $b_{eff,t,wc}$ da alma da viga em tração deve ser tomada igual à largura da peça em T equivalente para a chapa de extremidade à flexão para uma fiada de parafusos ou grupo de parafusos. O fator de redução ω é dado pelo Quadro 6.3 do EC3-1-8.</p>	EC3-1-8 6.2.6.3
Parafusos à tração	<p>A resistência de uma fiada de parafusos (dois parafusos) à tração é dada por:</p> $F_{bt,Rd} = 2 \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>em que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • f_{ub} é a tensão de rotura à tração; 	EC3-1-8 3.6.1

	<ul style="list-style-type: none">• A_s é a área útil na rosca.	
--	--	--

3.5.4.5. Rigidez das componentes (junta em flexão)

Componente	Regras detalhadas	Referências
Painel de alma de coluna solicitado ao corte	$k_1 = \frac{0.38A_{vc}}{\beta z}$ em que: β é o parâmetro de transformação definido na EN1993-1-8 cl. 5.3(7), e z é o braço do binário.	EC3-1-8 6.3.2
Banzo de coluna em flexão	Para uma fiada de parafusos à tração: $k_4 = \frac{0.9b_{eff,cf}t_{fc}^3}{m^3}$ A largura efetiva b_{eff} é o menor valor das larguras efetivas de uma fiada de parafusos (individual ou como parte de um grupo de parafusos).	EC3-1-8 6.3.2
Chapa de extremidade em flexão	Para uma fiada de parafusos à tração: $k_5 = \frac{0.9b_{eff,ep}t_{ep}^3}{m^3}$ A largura efetiva b_{eff} é o menor valor das larguras efetivas de uma fiada de parafusos (individual ou como parte de um grupo de parafusos).	EC3-1-8 6.3.2
Alma de coluna em tração transversal	Para ligações soldadas reforçadas, k_3 é igual a infinito, enquanto que para ligações não reforçadas é: $k_3 = \frac{0.7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{d_c}$ A largura efetiva b_{eff} é o menor valor das larguras efetivas de uma fiada de parafusos (individual ou como parte de um grupo de parafusos) do banzo de coluna em flexão.	EC3-1-8 6.3.2
Parafusos à tração	Para uma fiada de parafusos à tração: $k_{10} = 1.6A_s / L_b$	EC3-1-8 6.3.2

3.5.4.6. Resistência das componentes (junta solicitada ao corte)

Componente	Regras detalhadas	Referências
Alma da viga solicitada ao corte	$V_{b,RD} = \chi_w A_{vb} f_{y,b} / \sqrt{3} \gamma_{M1}$ em que: $A_{vb} = A_b - 2b_b t_{fb} + (t_{wb} + 2r_b) t_{fb}$ $\chi_w = 0.83 / \bar{\lambda}_w \text{ se } \bar{\lambda}_w \geq 0.83;$ $\chi_w = 1.0 \text{ se } \bar{\lambda}_w < 0.83$ com $\bar{\lambda}_w = 0.3467 (h_{wb} / t_{wb}) \sqrt{f_{y,b} / E}$	EC3-1-5 5.3
Banzo da coluna em esmagamento	Para uma fiada de parafusos (dois parafusos) ao corte: $F_{b,Rd} = 2 \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}}$ em que:	EC3-1-8 3.6.1

	$k_1 = \min\left[2.8 \frac{e}{d_0} - 1.7, 2.5\right]$ <p>α_b dependendo da direção da transmissão esforços e da posição dos parafusos:</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Esforço transversal descendente</i> Fiadas 1, 5 e 6 (ou (*) fiadas 1, 3 e 4): $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiadas 2 e 4 (ou(*) fiada 2): $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiada 3: $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>(*): para juntas com 4 fiadas de parafusos (p_1 deve ser substituído por p)</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Esforço transversal ascendente</i> Fiadas 1, 2 e 6 (ou(*) fiadas 1, 2 e 4) $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiadas 3 e 5 (ou(*) fiada 3) $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiada 4: $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$</p> </td> </tr> </table>	<p><i>Esforço transversal descendente</i> Fiadas 1, 5 e 6 (ou (*) fiadas 1, 3 e 4): $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiadas 2 e 4 (ou(*) fiada 2): $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiada 3: $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>(*): para juntas com 4 fiadas de parafusos (p_1 deve ser substituído por p)</p>	<p><i>Esforço transversal ascendente</i> Fiadas 1, 2 e 6 (ou(*) fiadas 1, 2 e 4) $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiadas 3 e 5 (ou(*) fiada 3) $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiada 4: $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$</p>	
<p><i>Esforço transversal descendente</i> Fiadas 1, 5 e 6 (ou (*) fiadas 1, 3 e 4): $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiadas 2 e 4 (ou(*) fiada 2): $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiada 3: $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>(*): para juntas com 4 fiadas de parafusos (p_1 deve ser substituído por p)</p>	<p><i>Esforço transversal ascendente</i> Fiadas 1, 2 e 6 (ou(*) fiadas 1, 2 e 4) $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiadas 3 e 5 (ou(*) fiada 3) $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiada 4: $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$</p>			
<p>Chapa de extremidade de em esmagamento</p>	<p>Para uma fiada de parafusos (dois parafusos) ao corte:</p> $F_{b,Rd} = 2 \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_{fc}}{\gamma_{M2}}$ $k_1 = \min\left[2.8 \frac{e}{d_0} - 1.7, 2.5\right]$ <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Esforço transversal descendente</i> Fiadas 2 e 6 (ou(*) fiadas 2 e 4): $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiadas 1 (ou(*) fiada 1): $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Fiadas 3 e 5 (ou(*) fiada 3): $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiada 4: $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>(*): para juntas com 4 fiadas de parafusos (p_1 deve ser substituído por p)</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Esforço transversal ascendente</i> Fiadas 1 e 5 (ou(*) fiadas 1 e 3): $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiada 6 (ou(*) fiada 4): $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Fiadas 2 e 4 (ou(*) fiada 2) $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiada 3: $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$</p> </td> </tr> </table>	<p><i>Esforço transversal descendente</i> Fiadas 2 e 6 (ou(*) fiadas 2 e 4): $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiadas 1 (ou(*) fiada 1): $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Fiadas 3 e 5 (ou(*) fiada 3): $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiada 4: $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>(*): para juntas com 4 fiadas de parafusos (p_1 deve ser substituído por p)</p>	<p><i>Esforço transversal ascendente</i> Fiadas 1 e 5 (ou(*) fiadas 1 e 3): $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiada 6 (ou(*) fiada 4): $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Fiadas 2 e 4 (ou(*) fiada 2) $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiada 3: $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$</p>	<p>EC3-1-8 3.6.1</p>
<p><i>Esforço transversal descendente</i> Fiadas 2 e 6 (ou(*) fiadas 2 e 4): $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiadas 1 (ou(*) fiada 1): $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Fiadas 3 e 5 (ou(*) fiada 3): $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiada 4: $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>(*): para juntas com 4 fiadas de parafusos (p_1 deve ser substituído por p)</p>	<p><i>Esforço transversal ascendente</i> Fiadas 1 e 5 (ou(*) fiadas 1 e 3): $\alpha_b = 1.0$</p> <p>Fiada 6 (ou(*) fiada 4): $\alpha_b = \min[1.0, e_x / 3d_0]$</p> <p>Fiadas 2 e 4 (ou(*) fiada 2) $\alpha_b = \min[1.0, p_1 / 3d_0 - 0.25]$</p> <p>Fiada 3: $\alpha_b = \min[1.0, p_2 / 3d_0 - 0.25]$</p>			
<p>Parafusos ao corte</p>	<p>Para uma fiada de parafusos (dois parafusos) ao corte:</p> $F_{b,Rd} = 2 \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>$\alpha_v = 0.6$ para parafusos 8.8 e $\alpha_v = 0.5$ para parafusos 10.9.</p>	<p>EC3-1-8 3.6.1</p>		

3.6. Juntas *dog-bone*

As juntas dog-bone ou RBS (de secção de viga reduzida) foram consideradas no projeto EQUALJOINTS para examinar a sua utilização com aços Europeus e para assemblagem de viga larga-coluna incorporando este tipo de ligação dissipativa utilizada na construção Americana. Assim, estas juntas representam um caso especial que não é diretamente relacionado com as outras configurações de ligações (i. e. juntas com chapa de extremidade estendida não reforçada, reforçada e com esquadro). O dimensionamento neste caso segue, portanto, as especificações da AISC (ver configuração típica na Figura 6.1), apesar de alguns aspetos, tais como os relacionados com o dimensionamento do painel de alma podem ser substituídos pelas recomendações referidas anteriormente para juntas de resistência total para as outras configurações de acordo com as páticas de dimensionamento Europeu.

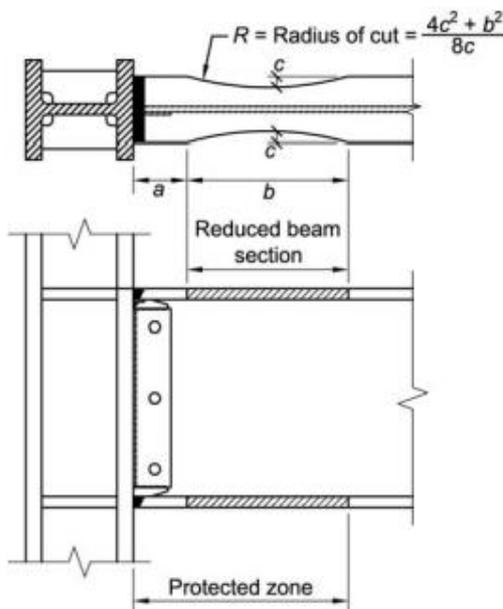


Figura 6.11 Configuração e dimensões das ligações com Viga de Secção Reduzida (ANSI/AISC 358)

O dimensionamento segue os requisitos da AISC 341 (Seismic Provisions for Structural Steel Buildings), AISC 358-16 (Prequalified Connections for Seismic Applications) and AISC 360 (Specification for Structural Steel Buildings).

O dimensionamento segue os seguintes procedimentos:

1. Verificação da encurvadura local da viga para compacidade sísmica
 $b_{bf}/(2t_{fb}) < \lambda_{ps} = 0.3\sqrt{(E/f_y)}$
2. Verificação da encurvadura local da coluna para compacidade sísmica
 $b_{cf}/(2t_{fc}) < \lambda_{ps} = 0.3\sqrt{(E/f_y)}$
3. Verificação dos limites da viga segundo AISC 358 Sect 5.3.1

De modo algum se baseia nos testes realizados no projeto *Equaljoints*, o tamanho das vigas pode ser estendido até à altura de W36 a W44 o que demonstra o comportamento adequado sob os requisitos de pré-qualificação.

4. Verificação dos limites da coluna segundo AISC 358 Sect 5.3.2

De modo algum se baseia nos testes realizados no projeto *Equaljoints*, o tamanho das vigas pode ser estendido até à altura de W36 a W40 o que demonstra o comportamento adequado sob os requisitos de pré-qualificação.

5. Cálculo do módulo plástico no centro da secção da viga reduzida (AISC 358 Sect 5.8, Step 2)

$$Z_{RBS} = Z_x - 2 c t_{fb} (h_b - t_{fb})$$

em que:

Z_{RBS} é o módulo plástico da secção no centro da viga reduzida

$Z_{pl.x}$ é o módulo plástico da secção segundo o eixo x-x para a secção da viga

t_{fb} é a espessura do banzo da viga

h_b é a altura da viga

c é a altura de um corte no centro da secção da viga reduzida

6. Cálculo do momento máximo provável na secção da viga reduzida (AISC 358 Sect 5.8 Step 3)

$$M_{pr} = M_{RBS} = C_{pr} R_y f_y Z_e$$

em que:

C_{pr} é o fator que tem em conta o pico de resistência, incluindo o endurecimento, restrição local, reforço adicional, e outras condições da ligação, determinado por:

$$C_{pr} = \frac{f_y + f_u}{2f_y} \leq 1.2$$

R_y razão entre a tensão de cedência expectável e o mínimo especificado, f_y

7. Cálculo do esforço transversal no centro da RBS (AISC 358 Sect 5.8 Step 4)

$$V_p = V_{RBS} = 2 M_{pr} / L_h + V_g$$

8. Cálculo do esforço de corte correspondente na coluna

$$V_c = N_b V_e L_b / (N_c h_c)$$

9. Cálculo do momento máximo provável na face da coluna (AISC 358 Sect 5.8 Step 5)

$$M_f = M_{pr} + V_{RBS} S_h + M_g$$

Where:

$$M_g = \frac{1}{2} W_{ub} S_h^2$$

10. Cálculo do momento plástico espectável na viga (AISC 358 Sect 5.8 Step 6)

$$M_{pe} = R_y f_y Z_{bx}$$

11. Verificação se a resistência à flexão não excede $\Phi_d M_{pe}$ (AISC 358 Sect 5.8 Step 7)

$$M_f < \Phi_d M_{pe}$$

12. Cálculo e verificação da força concentrada na coluna

$$\begin{aligned} P_b &\leq \Phi f_y w_{tw} (5k + l_b) \\ &\leq \Phi 0.8 t_w^2 [1 + 3 (l_b / d)] (t_w / t_f)^{1.5} (E f_{yw} t_f / t_w)^{1/2} \\ &\leq \Phi 6.25 f_{yf} t_f^2 \end{aligned}$$

em que:

$$P_b = M_f b_{fb} t_{fb} / Z_x$$

13. Verificação da razão momento coluna-viga (AISC 341 Sect. 9.6)

$$\Sigma M_{pc}^* / \Sigma M_{pb}^* > 1.0$$

em que:

ΣM_{pc}^* é a soma dos momentos na coluna acima e abaixo da junta na interseção do eixo da viga com o eixo da coluna

$$= \Sigma [Z_c (f_{yc} - P_{uc} / A_g) + V_c d_b / 2]$$

ΣM_{pb}^* é a soma dos momentos nas vigas na interseção do eixo da viga com o eixo da coluna

$$= N_b M_{RBS} + \Sigma M_v$$

ΣM_v é o momento adicional devido à amplificação do corte devido à localização da rótula plástica no eixo da coluna

$$= (V_{RBS} + V_{RBS}) (a + b / 2 + d_c / 2)$$

14. Verificação da resistência do painel de alma de coluna (AISC341 Sect 9.3)

$$0.75 P_c > P_r$$

$$\varphi_v R_n > \Sigma M_f / (d_b - t_{fb}) - V_c$$

15. Cálculo da espessura requerida para a chapa dupla

$$R_u \leq \varphi R_{ncol} + \varphi R_{ndp}$$

$$t_{dp} \geq (R_u - \varphi R_{ncol}) / (0.6 f_y d_c)$$

16. Verificação da espessura requerida da alma da coluna e das chapas duplas providenciadas

$$t \geq (d_z + w_z) / 90$$

17. Verificação se é requerida chapas de continuidade (AISC 358 Step 10)

$$t_c \geq 0.4 [1.8 b_b f_t b_f (F_{yb} R_{yb}) / (F_{yc} R_{yc})] 0.5$$

$$t_c \geq b_{fb} / 6 \text{ or } 12$$

18. Cálculo da espessura requerida para as chapas de continuidade

$$\text{Check 1: } t_s \geq 0.5 t_{bf}$$

$$\text{Check 2: } P_b \leq \varphi R_{ncol} + \varphi R_{ncp}$$

$$t_s \geq (P_b - \varphi R_{ncol}) / (0.9 f_y b_{bf})$$

Como referido em cima, o dimensionamento segue as especificações da AISC 341 (Seismic Provisions for Structural Steel Buildings), AISC 358-16 (Prequalified Connections for Seismic Applications) and AISC 360 (Specification for Structural

Steel Buildings). O que é em consistência com os testes propostos realizados no âmbito do projeto que não examinam o dimensionamento Europeu de secções Europeias, mas em vez disso se foca em validar o uso de aços superiores Europeus dimensionados de acordo com as especificações Americanas e adotadas na prática Americana de construção.

Referências

- American Institute of Steel Construction (AISC) (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, ANSI-AISC 341-10 Standard, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA, 2010
- American Institute of Steel Construction (AISC) (2010). *Specification for Structural Steel Buildings*, ANSI-AISC 360-10 Standard, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA, 2010
- American Society for Testing and Materials (ASTM) (2011). “*Standard Practices for Cycle-Counting in Fatigue Analysis*.” ASTM Standard E1049-85, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ANSI/AISC 358-10 (2010). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*.
- ANSI/ASIC 341-16 (2016): *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction
- Arce G. *Impact of higher strength steels on local buckling and overstrength of links in eccentrically braced frames*. MS thesis, Univ.of Texas at Austin, Austin, Tex. (advisor: M.D. Engelhardt).
- ASTM E606 / E606M-12 (2012) *Standard Test Method for Strain-Controlled Fatigue Testing*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- Bjorhovde R, Colson A. (1991) *Economy of semi-rigid frame design*, in *Connections in Steel Structures II: Behaviour, Strength and Design*, Bjorhovde, R., Haaijer, G., and Stark, J.W.B (eds.), American Institute of Steel Construction, 418–430.
- Haaijer G, and Stark JWB (eds.), American Institute of Steel Construction, 418–430.
- Brandonisio G, De Luca A., Mele E. (2012). *Shear strength of panel zone in beam-to-column connections*. *Journal of Constructional Steel Research*, 71, 129–142.
- CEN (2005). *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of Joints*. European Committee for Standardization (CEN), 2005.
- CEN (2005). *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Assessment and retrofitting of buildings*. European Standard EN 1998-3:2005, Brussels.
- D’Aniello M, Landolfo R, Piluso V, Rizzano G. (2012). *Ultimate Behaviour of Steel Beams under Non-Uniform Bending*. *Journal of Constructional Steel Research*, 78, 144–158.
- Güneyisi EM, D’Aniello M, Landolfo R, Mermerdaş K. (2013). *A novel formulation of the flexural overstrength factor for steel beams*. *Journal of Constructional Steel Research*, 90, 60-71
- Güneyisi EM, D’Aniello M, Landolfo R, Mermerdaş K. (2014). *Prediction of the flexural overstrength factor for steel beams using artificial neural network*. *Steel and Composite Structures, An International Journal*, 17(3), 215-236.
- Mazzolani FM, Piluso V. (1992). *Member behavioural classes of steel beams and beam-columns*. *Proc. of First State of the ArtWorkshop, COSTI, Strasbourg*, 517-29.
- Tartaglia R, D’Aniello M, Rassati GA, Swanson JA, Landolfo R. (2018). *Full strength extended stiffened end-plate joints: AISC vs recent European design criteria*. *Engineering Structures*, Volume 159, 15 March 2018, Pages 155–171