



**FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA



## PRÉ-QUALIFICAÇÃO DE LIGAÇÕES ROTULADAS

Ibrahim Abdul Sani

Orientador: Professor Rui António Duarte Simões

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Construção Metálica e Mista



Coimbra, Janeiro, 2014

## AGRADECIMENTO

O espaço limitado desta secção não me permite agradecer, como gostaria, a todas as pessoas que, ao longo do meu Mestrado em Construção Metálica e Mista, me ajudaram direta ou indiretamente a cumprir os meus objetivos e a realizar esta etapa da minha formação académica. Desta forma, deixo apenas algumas palavras, poucas, mas a extração do meu reconhecimento e gratidão.

Ao Coordenador do Mestrado em Construção Metálica e Mista, Professor Doutor Luís Simões da Silva, agradeço a oportunidade em frequentar este Mestrado que muito contribuiu para o enriquecimento da minha formação académica e científica.

Ao meu orientador, Professor Rui Duarte Simões, expresso o meu profundo agradecimento pela orientação e apoio incondicionais. Agradeço também a oportunidade que me deu de me orientar a formação e reconheço, com gratidão, não só a confiança que em mim depositou, mas também privilégio que tive de o conhecer e com ele interagir ao longo da realização do Mestrado.

Expresso também a minha gratidão a todos os docentes e colaboradores de Curso de Mestrado em Construção Metálica e Mista, pelo profissionalismo, e pela total disponibilidade que sempre revelaram para comigo.

Um obrigado muito especial ao João Guerra Martins e Liliana Marques, pela paciência e disponibilidade permanentes.

Aos Colegas da turma, o meu Muito Obrigada pela vossa amizade, companheirismo e ajuda, fatores muito importantes durante os meus estudos. Uma referência especial a Ricardo Carmona, Sílvio Gonçalves, Vítor Carvalho, Nuno Esteves, Adriano Lopes, Rodolfo Martins e a João Bernardino.

Aos meus amigos/as, um agradecimento especial pelo apoio moral e pela transmissão de confiança e força, em todos os momentos. Por tudo, e a todos manifesto a minha enorme gratidão!

À Minha Família, em especial a minha esposa e ao meu filho, aos Meus Pais, aos Meus Irmãos, um Muito obrigado por, sempre, acreditarem em mim. Espero que esta etapa, que agora termino, possa, de alguma forma, retribuir e compensar todo o carinho, apoio e dedicação que me oferecem. Ao meu filho dedico todo este trabalho.

## RESUMO

O tema pré-qualificação de ligações rotuladas, foi escolhido com o objetivo desenvolver uma pesquisa capaz de ajudar os projetistas no dimensionamento das estruturas, em particular nas ligações consideradas flexíveis.

Na pesquisa, começa-se por descrever a importância da ligação na estrutura metálica, os fatores que influenciam o seu comportamento, e os requisitos exigidos para que a ligação seja considerada flexível (rotuladas).

Se a ligação flexível é capaz de desempenhar o papel para que foi projetada sem desenvolver momentos significativos que possam influenciar de forma negativa o comportamento da estrutura, então importa ressaltar que, ao longo da pesquisa, é notável o papel dos componentes ativos no cumprimento desse papel, para tal, são necessários alguns requisitos para assegurar a ductilidade e capacidade de rotação.

Estes requisitos podem ser definidos com base nas características mecânicas e geométricas de diferentes componentes da ligação.

Os requisitos de capacidade de rotação para proporcionar a rotação suficiente, são muitas vezes expressos através de limitações geométricas.

Os requisitos de ductilidade evitam a ocorrência de roturas frágeis, especialmente nos parafusos e soldaduras.

A presente tese, aborda 4 (quatro) tipos da ligação rotulada: ligação rotulada com chapa de extremidade, ligação rotulada com chapa de alma, ligação rotulada com cantoneira de alma e ligação rotulada com chapa na base de coluna. Para cada um dos primeiros três tipos, são apresentadas 4 (quatro) configurações: ligação viga-viga, ligação viga-coluna, ligação a coluna de secção tubular usando parafusos flowdrill e ligação a coluna de secção tubular usando parafusos hollo, para a ligação rotulada com chapa na base da coluna, são apresentados apenas (sem Tabela de pré-qualificação) os procedimentos de dimensionamento baseados no EN1993-1-8, e seguindo uma abordagem de área efetiva.

De acordo com os critérios recomendados no EC3-1-8<sup>[7]</sup> e outras literaturas de cálculo e dimensionamento de ligações rotuladas, foi criada uma ferramenta de cálculo automático (Excel), que permite a elaboração das Tabelas de pré-qualificação como as indicadas no anexo C.

Com o resultado desta dissertação, de uma forma simples, num período de tempo curto, com poucas verificações, o projetista pode dimensionar a ligação de forma económica e segura.

## ABSTRACT

The theme of prequalification of simple joints was chosen with the aim to develop a research which can help designers in the design of structures, particularly on joints considered as pinned.

In the survey, one begins by describing the importance of connecting the metal frame, the factors that influence their behavior, and the requirements for the connection to be considered simple.

If a simple joint is able to play the role for which it was designed without developing significant moments that may negatively influence the behavior of the structure, then it is important to highlight throughout the research that, it is remarkable the role of the active components in fulfilling this role to this end, some requirements are needed to ensure ductility and rotation capacity.

These requirements can be defined based on the mechanical and geometrical characteristics of different components of joints.

The ductility requirements to provide sufficient rotation are often expressed by geometric limits.

The requirements for ductility avoid the occurrence of brittle failure, especially on screws and welds.

This thesis addresses four types of simple joints: Header plate, fin plate, double angle cleats and column bases. For each of the first three types are shown four configurations: beam-to-beam, beam-to-column, and joint of a beam to column using flowdrill bolts or hollo bolts. For column-base joints are presented only (no table of prequalification) the design procedures based on EN1993 -1 -8, following an approach of effective area.

According to the required criteria in EC3-1-8 and other literature for design of simple joints, it was developed an automatic tool (spreadsheet in Excel), which enables the elaboration of Tables for simple joints prequalification, as indicated in Annex C.

With the result of this thesis, in a simple way, in a short period of time and with few checks, the designer can design a joint economically and safely.

## Índice

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	OBJECTIVO .....	1
1.2	CONFIGURAÇÃO DAS LIGAÇÕES ESTUDADAS.....	2
1.3	ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	6
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	8
3	ABORDAGEM REGULAMENTAR .....	9
3.1	GENERALIDADES.....	9
3.2	CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES .....	9
3.2.1	Classificação segundo a rigidez .....	10
3.2.2	Classificação segundo a resistência.....	12
3.3	MODELAÇÃO DA LIGAÇÃO CONFORME EC3-1-8 .....	13
3.3.1	Modelação da ligação rotulada .....	15
3.4	A FORMA PRÁTICA PARA SATISFAZER OS REQUISITOS DE ROTAÇÃO E DUCTILIDADE NA LIGAÇÃO ROTULADA 15	
3.4.1	Princípios gerais.....	15
3.5	COMPONENTES BÁSICOS .....	17
3.5.1	Soldaduras.....	17
3.5.2	Parafusos.....	18
3.6	GEOMETRIA .....	21
3.6.1	Entalhes/recorte da Viga .....	21
3.6.2	Chanfros no Banzo .....	22
3.6.3	Distância dos Parafusos .....	22
4	TIPOLOGIAS DA LIGAÇÃO CONSIDERADAS.....	25
4.1	LIGAÇÃO ROTULADA COM CHAPA DE EXTREMIDADE DE ALTURA PARCIAL .....	25
4.1.1	Introdução .....	25
4.1.2	Considerações práticas .....	26
4.1.3	Requisito de dimensionamento para a capacidade de rotação .....	27
4.1.4	Requisitos de dimensionamento para a ductilidade da ligação .....	29
4.1.5	Critério para evitar as roturas prematuras do parafuso devido a forças de tração 29	
4.1.6	Critério para evitar a rotura prematura de soldadura devido a forças de tração	30

---

4.1.7	Robustez.....	34
4.1.8	Recomendações geométricas .....	34
4.1.9	Dimensionamento .....	36
4.1.10	Procedimento de dimensionamento para ligações com chapa de extremidade de altura parcial .....	36
4.2	LIGAÇÃO ROTULADA COM CHAPA DE ALMA .....	38
4.2.1	Introdução .....	38
4.2.2	Considerações práticas .....	38
4.2.3	Chapa de alma curta e longa.....	39
4.2.4	Requisitos de dimensionamento para a capacidade de rotação .....	40
4.2.5	Requisitos de dimensionamento para a ductilidade da ligação .....	43
4.2.6	Critério para evitar a rotura prematura da soldadura devido a forças de tração: 43	
4.2.7	Critério para permitir uma redistribuição plástica das forças internas .....	43
4.2.8	Robustez.....	45
4.2.9	Recomendações geométricas .....	45
4.2.10	Dimensionamento .....	47
4.2.11	Procedimentos de dimensionamento .....	47
4.3	LIGAÇÃO ROTULADA COM CANTONEIRA DE ALMA.....	49
4.3.1	Considerações práticas .....	50
4.3.2	Requisitos de dimensionamento para a capacidade de rotação .....	51
4.3.3	O encaixe nos furos da ligação .....	51
4.3.4	Robustez.....	52
4.3.5	Recomendações geométricas .....	52
4.3.6	Dimensionamento .....	53
4.3.7	Procedimento de dimensionamento.....	54
4.4	LIGAÇÃO ROTULADA COM CHAPA NA BASE DA COLUNA .....	55
4.4.1	Introdução .....	55
4.4.2	Identificação dos componentes ativos .....	56
4.4.3	Resistência do betão.....	59
4.4.4	Afastamento da chapa de base .....	60
4.4.5	Recomendações geométricas .....	60
4.4.6	Dimensionamento .....	61
4.4.7	Método da área efetiva .....	62
4.4.8	Procedimentos de dimensionamento .....	63

---

---

5	TABELAS DE CÁLCULO - NOTAS EXPLICATIVAS .....	64
5.1	INTRODUÇÃO DE DADOS.....	64
5.2	CÁLCULOS E RESULTADOS .....	66
6	CONCLUSÕES .....	68
7	BIBLIOGRAFIA.....	69
	ANEXOS A .....	71
	ANEXO B.4 – VERIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO ROTULADA COM CHAPA NA BASE DE COLUNA....	135
	ANEXO C.1– PRÉ-QUALIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO ROTULADA COM CHAPA DE EXTREMIDADE	140
	ANEXO C.2– PRÉ-QUALIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO ROTULADA COM CHAPA DE ALMA .....	144
	ANEXO C.3– PRÉ-QUALIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO ROTULADA COM CANTONEIRA DE ALMA ...	148

## Índices de figuras

Figura 1.1 - Ligação rotulada com chapa de extremidade de altura parcial	3
Figura 1.2 – Ligação rotulada com chapa de alma	4
Figura 1.3 - Ligação rotulada com cantoneira de alma	5
Figura 1.4 - Ligação rotulada com chapa na base da coluna	5
Figura 3.1 – Classificação das ligações	10
Figura 3.2 - Limites de classificação da ligação segundo a rigidez	10
Figura 3.3 - Classificação da ligação por resistência (ECCS N°126)	12
Figura 3.4 - Ligações de resistência total	13
Figura 3.5 - Modelação de local da ligação	14
Figura 3.6 - Linha de carregamento	16
Figura 3.7- Linha de carga para ligação rotulada com chapa de alma	16
Figura 3.8 - Fig. Entalhe/corte na viga	22
Figura 3.9 - Símbolos para as distâncias entre os eixos dos furos de peças da ligação	22
Figura 3.10 – Banzo cortado	23
Figura 4.1 – Ligação rotulada com chapa de extremidade de altura parcial	25
Figura 4.2- Contacto e evolução de momento flector	27
Figura 4.3- Características geométricas da ligação e ilustração de contacto entre a viga e elemento e apoio	28
Figura 4.4 - Cordão de soldadura de angulo e lateral	31
Figura 4.5 – Possíveis modos de rotura da ligação rotulada com chapa de extremidade de altura parcial	33
Figura 4.6 - Geometria recomendada para chapa de extremidade de altura parcial	35
Figura 4.7- Ligação rotulada com chapa de alma	38
Figura 4.8 - Fixação de chapa de alma	39
Figura 4.9 - Detalhe para facilitar a montagem	39
Figura 4.10 - Contacto e evolução de momento fletor	40
Figura 4.11 - Características geométricas da junta e da demonstração do contacto entre a viga e o elemento de suporte	41
Figura 4.12 - Resistência de dimensionamento para componentes da ligação rotulada com chapa de alma e principalmente para a derivação de resistência da ligação ao corte	42
Figura 4.13 - Determinação de resistência ao corte na ligação	42
Figura 4.14 – Padrão para ligação com chapa de alma	46



---

Figura 4.15 - Ligação com cantoneira: Ligação viga-coluna e viga-viga	49
Figura 4.16 - Deformação de cantoneira	50
Figura 4.17 - Furos curto de encaixe na cantoneira	51
Figura 4.18- Medidas padrão para a ligação rotulada com cantoneira de alma	53
Figura 4.19 – Bases da Coluna	55
Figura 4.20 - Base de coluna e Parafusos	58
Figura 4.21 - Cálculo de área efetiva	61
Figura 4.22- Cálculo da área efetiva para secções tubulares	62

---

## Indices de Tabelas

Tabela 3.1 - Tipo de modelação da ligação	14
Tabela 3.2 – Resistência da tração normal de parafusos flowdrill	19
Tabela 3.3 – Resistência da tração a robustez de parafusos flowdrill	19
Tabela 3.4 - Resistência de dimensionamento para parafuso hollo em aço de carbono	20
Tabela 3.5 - Resistência de dimensionamento para parafuso hollo em aços inoxidáveis	21
Tabela 3.6 - Distância mínima e máxima entre eixos, a extremidades e a bordos	23
Tabela 4.1 - Tamanho da chapa de extremidade de altura parcial recomendadas:	26
Tabela 4.2 – Valores de $\beta_w$ e $f_{v,w,d}$ para aços de acordo com EN 10025 e espessura de soldadura necessária para força total em caso de dupla soldura de angulo	32
Tabela 4.3 – Recomendações geométrica para ligação a parafusos Normal e Flowdrill	35
Tabela 4.4 - Recomendações para parafusos Hollo	35
Tabela 4.5 – Padrão para ligação com chapas de alma	46
Tabela 4.6 - Medidas padrão para a ligação rotulada com cantoneira de alma	53
Tabela 4.7 - Resistência de betão	60
Tabela 5.1- Tabela de dados de introdução	65
Tabela 5.2- Resumo geral das verificações de dimensionamento ligação viga-viga	66

## Simbologia

$A$	área nominal de parafuso
$A_s$	área resistente de parafuso
$A_{b,v}$	área bruta ao corte da viga apoiada
$A_{b,v,net}$	área útil ao corte da viga apoiada
$A_{nt}$	área útil sujeita ao tração
$A_{nv}$	área útil sujeita ao corte
$A_{req}$	área de chapa de base necessária
$A_{cot}$	área da secção bruta da coluna
$A_{req}$	área requerida
$A_{eff}$	área efetiva
$a$	espessura da garganta da soldadura
$B_{t,Rd}$	resistência de dimensionamento dos parafusos
$b$	largura geral da parede da secção tubular
$D_h$	diâmetro do furo para um parafuso hollo
$d$	diâmetro nominal do parafuso
$d_o$	diâmetro do furo para um parafuso normal/ flowdrill
$h_b$	altura da alma da viga apoiada
$h_c$	altura da porção reta da alma das colunas
$e_1$	distância para qualquer peça da ligação, entre o centro de furo (de um parafuso) e a extremidade adjacente, medida na direção da transmissão do esforço
$e_2, e_3$	distância para qualquer peça da ligação, entre o centro de furo (de um parafuso) e o bordo adjacente, medida na direção perpendicular à transmissão do esforço
$F_{v,Rd}$	valor de cálculo da resistência de dimensionamento ao corte
$F_{t,Rd}$	valor de cálculo da resistência à tração por parafuso
$F_{t,Rd,u}$	valor de cálculo da resistência à robustez
$F_{u,p}$	valor de cálculo da resistência à tração última da chapa
$f_{jd}$	carga de dimensionamento ao esmagamento aa betão de fundação
$f_{ub}$	tensão última do parafuso
$f_u$	tensão última de aço
$f_y$	tensão de cedência aço
$f_{y,b}$	tensão de cedência do parafuso
$I_{bg}$	inercia de um grupo de parafusos
$l_{w,eff}$	o comprimento efetivo da soldadura
$M_{cn}$	valor de cálculo do momento resistente da viga com entalhe na presença do corte
$M_{b,pl,Rd}$	valor de cálculo do momento plástico resistente da viga
$M_{c,pl,Rd}$	valor de cálculo do momento plástico resistente da coluna
$P_{col}$	perímetro da coluna

---

$P_s$	tensão de um parafuso ao corte
$P_{bs}$	valor de cálculo da resistência da cantoneira ao esmagamento
$P_{vn}$	valor de cálculo da resistência de corte no entalhe
$P_{tr}$	valor de cálculo da resistência à tração reduzida de parafuso na presença de forças de alavanca elevadas
$p_1$	distância entre os eixos dos parafusos de uma fiada, medida na direção de transmissão do esforço
$p_2, p_3$	distância medida perpendicularmente à direção da transmissão do esforço, entre fiadas adjacentes de parafusos
$s$	comprimento da perna da soldadura de angulo
$t_{cf}$	espessura da banzo da coluna de apoio
$t_p$	espessura da chapa
$t_{w,b1}$	espessura da alma da viga apoiada
$V_{pl,n,Rd}$	valor de cálculo da resistência ao corte na secção crítica da viga com único entalhe
$V_{pl,dn,Rd}$	valor de cálculo da resistência ao corte na secção crítica da viga com duplo entalhe
$V_{bc,Ed}$	força de corte atuante na alma
$V_{pl,n,Rd}$	valor de cálculo da resistência ao corte no entalhe para viga com um entalhe
$V_{pl,dn,Rd}$	valor de cálculo da resistência ao corte no entalhe para as vigas com duplo entalhe
$V_{Ed}$	força de corte atuante na ligação
$V_{Rd}$	valor de cálculo da resistência da ligação ao corte
$VR_a$	valor de cálculo da resistência real ao corte
$V_{Rd,web}$	valor de cálculo da resistência da soldadura por unidade de comprimento
$V_{Rd}$	valor de cálculo da resistência de dimensionamento ao esforço transversal
$X_{lt}$	fator de redução para a encurvadura lateral torsional da chapa
$W_{el,n}$	módulo elástico da secção bruta em T
$z$	distância entre a face externa do elemento de suporte e centro de grupo dos parafusos
$Z$	módulo elástico da secção bruta e T na linha de parafuso
$\beta_w$	fator correlação de variação da resistência na soldadura
$\gamma_{mo}$	fator parcial de segurança de secção de aço, é igual a 1.0
$\gamma_{m2}$	fator parcial de segurança para a secção líquida do furo de parafusos
$\emptyset_{disp}$	capacidade de rotação da ligação disponível
$\emptyset_{nesc}$	capacidade de rotação da ligação necessária

---

# 1 Introdução

Ao longo dos últimos anos assistiu-se a uma crescente utilização de estruturas metálicas na construção de edifícios, mais especificamente no caso de pavilhões industriais.

Esta crescente utilização de estruturas metálicas deve-se, em parte, ao decréscimo do preço do aço, justificado em certa medida pela importação de perfis pré-fabricados.

A necessidade de por vezes se conseguir resultados de outra ordem, que as estruturas de betão armado não permitem, como por exemplo, menor tempo de execução, objetivos de ordem estrutural, flexibilidade na mudança de configuração dos espaços e até fatores de ordem arquitetónica, esbelteza, transparência, etc., têm também contribuído significativamente para a crescente utilização deste tipo de estruturas.

Destaca-se a importância da simplicidade na adoção dos detalhes das ligações, que proporciona um impacto considerável nas dimensões totais da estrutura, gerando grande economia no final; porém há toda a necessidade de contribuir para uma escolha de detalhes adequados que podem permitir a redução de tempo e minimizar o custo final de projeto.

## 1.1 *Objectivo*

Podemos encontrar diferentes definições de ligação, mas de uma forma prática pode ser definida com sendo o local onde dois ou mais elementos convergem.

As ligações apresentam grande influência no comportamento das estruturas metálicas. É através delas que se verifica a transmissão de esforços entre os elementos ligados, bem como permitem considerações que influenciam diretamente o dimensionamento da estrutura como um todo. Uma correta conceção permite uma distribuição mais equilibrada dos esforços na estrutura, e conseqüentemente, um dimensionamento mais económico, porém não menos seguro.

Com a atual situação da crise económica, que de forma considerável afetou a área de construção civil, a redução do custo é cada vez mais um fator determinante para os projetistas.

Com o presente trabalho pretende-se fazer uma pré-qualificação de ligações rotuladas, de modo a minimizar o tempo de cálculo de dimensionamento deste tipo de ligação, escolha de detalhes adequadas que podem permitir o desempenho dos requisitos exigidos pelas normas e regulamentos, fatores que podem contribuir para a redução de custo de projeto.

Para atingir o objetivo da presente tese, de acordo com os critérios recomendados no EC3-1-8<sup>[14]</sup> e o seu anexo nacional, no EC3-1-1<sup>[12]</sup>, com a referência na publicação de ECCS N° 126<sup>[10]</sup>, publicação de SCI e BCSA P212<sup>[19]</sup> e P358<sup>[20]</sup> e outras literaturas de cálculos e dimensionamentos das ligações rotuladas, foram elaboradas folhas de cálculo direto em Excel; com os resultados obtidos, foi possível elaborar as Tabelas da pré-qualificação apresentadas no anexo C.

Nas Tabelas de pré-qualificação apresentadas no anexo C, desenvolvidas para várias tipologias da ligação viga-viga, viga-coluna e base de coluna, são considerados apenas perfis laminados a quente das seções I, H, seções tubulares quadradas, retangulares e circulares, utilizando parafusos normais, flowdrill e hollo-bolt.

As Tabelas da pré-qualificação foram dispostas de modo a que o projetista possa simplesmente selecionar determinada ligação e, com o mínimo de cálculos, verificar se a ligação tem a resistência suficiente e cumpre os requisitos de ductilidade e capacidade de rotação.

Os procedimentos começam com os requisitos de detalhe para a aplicação em causa, em seguida apresenta as verificações para cada elemento da ligação, incluindo soldaduras, chapas, parafusos, almas e banzos das secções ligadas.

## **1.2 Configuração das ligações estudadas**

Na prática, existem diversas configurações de ligações rotuladas; ressalta na presente tese, a pré-qualificação das configurações consideradas mais usuais, conforme se segue:

- I. Ligação rotulada com chapa de extremidade de altura parcial
  - Ligação viga – viga (Figura 1.1 a)
  - Ligação viga - coluna (Figura 1.1 b)
  - Ligação a coluna de secção tubular, usando parafuso flowdrill (Figura 1.1 c)
  - Ligação a coluna de secção tubular, usando parafusos hollo (Figura 1.1 d)
  
- II. Ligação rotulada com chapa de alma
  - Ligação viga – viga (Figura 1.2 a)
  - Ligação viga – coluna de secção H (Figura 1.2 b)
  - Ligação viga- coluna de secção tubular quadrada (Figura 1.2 c)
  - Ligação a coluna da secção tubular circular (Figura 1.2 d)
  
- III. Ligação rotulada com cantoneira de alma
  - Ligação viga – viga (Figura 1.3 a)

- Ligação viga – coluna de secção H (Figura 1.3 b)
- Ligação a coluna de secção tubular quadrada (Figura 1-3 c)
- Ligação a coluna de secção tubular circular (Figura 1-3 d)

#### IV. Ligação rotulada com chapa na base da coluna

- Base com chumbadouros fixado ao centro (Figura 1-4 a)
- Base com chumbadouro fixado aos bordos (Figura 1-4 b)

#### I. Ligação rotulada com chapa de extremidade de altura parcial:

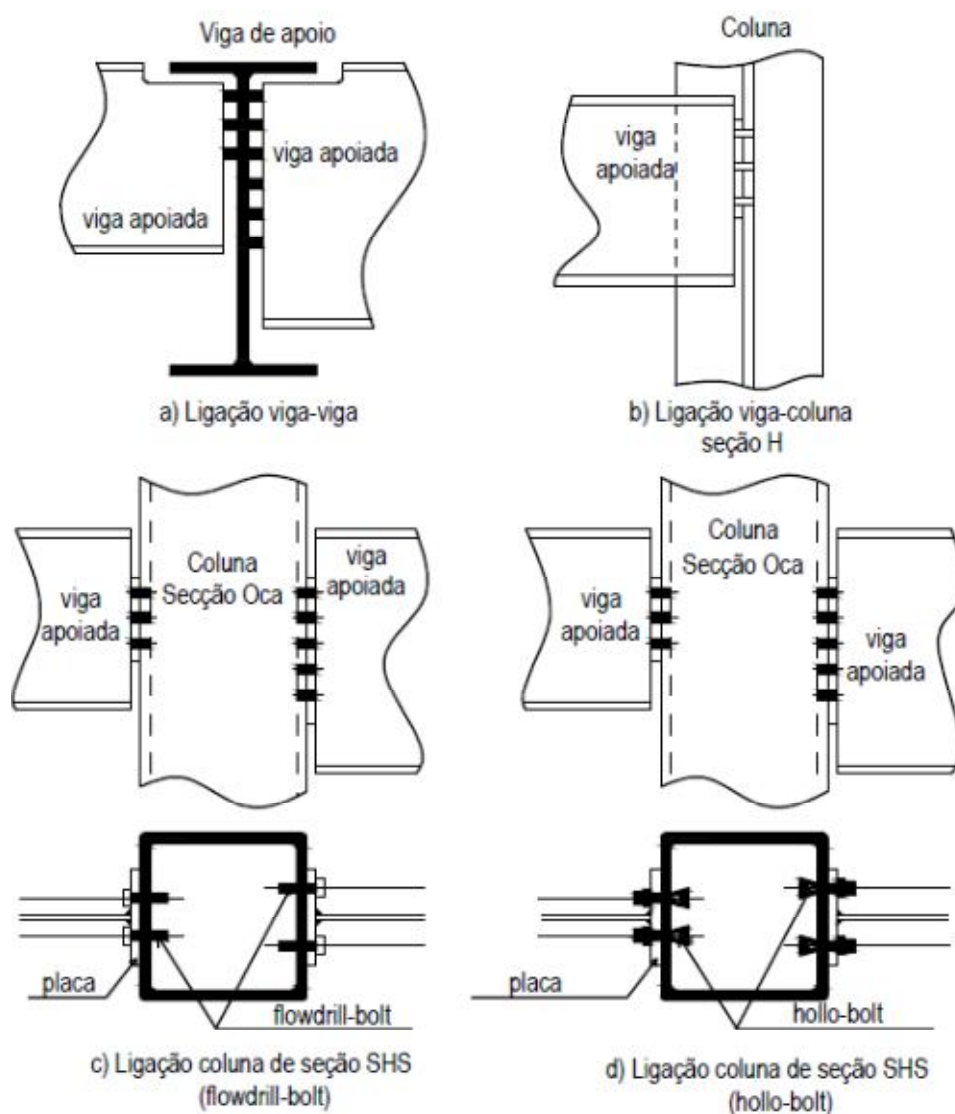


Figura 1.1 - Ligação rotulada com chapa de extremidade de altura parcial

**II. Ligação rotulada com chapa de alma:**

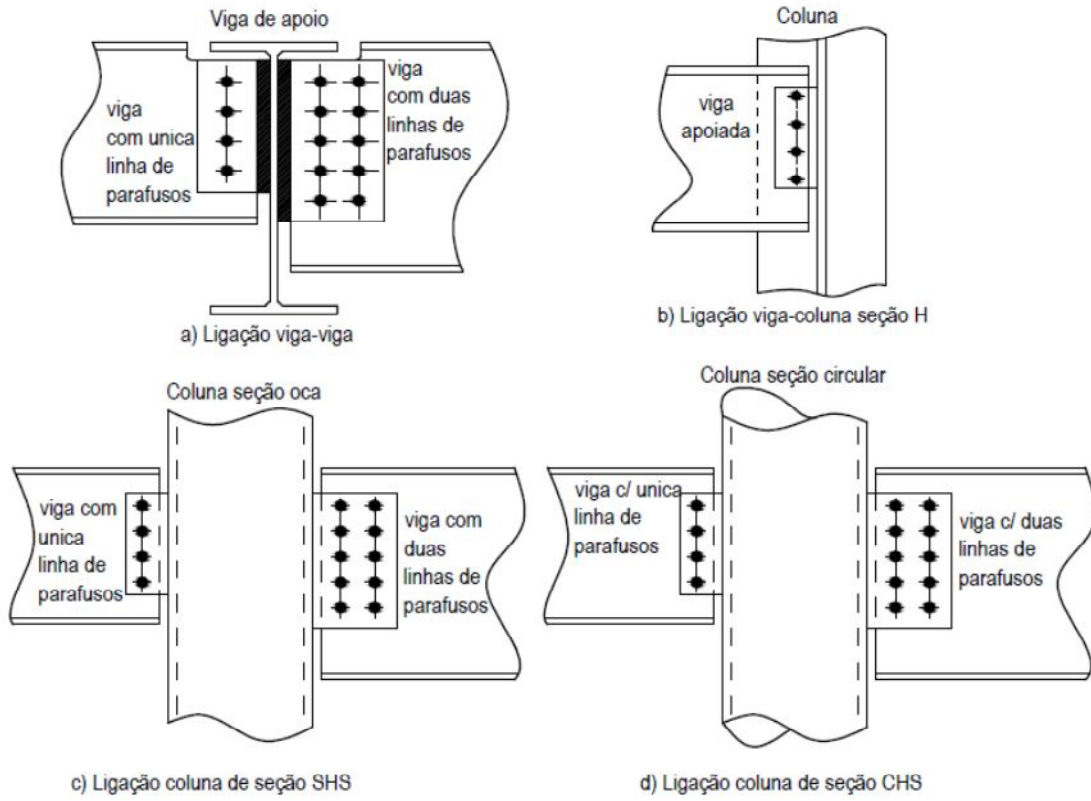
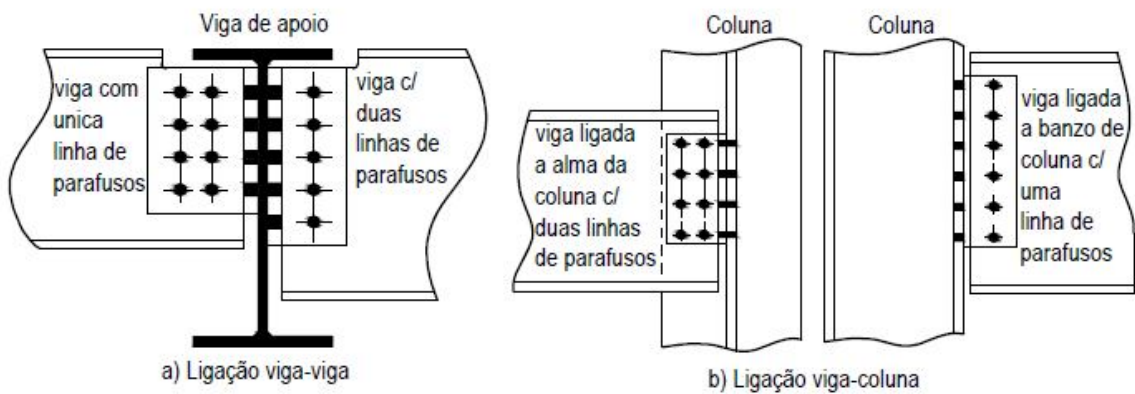


Figura 1.2 – Ligação rotulada com chapa de alma

**III. Ligação rotulada com cantoneira de alma**





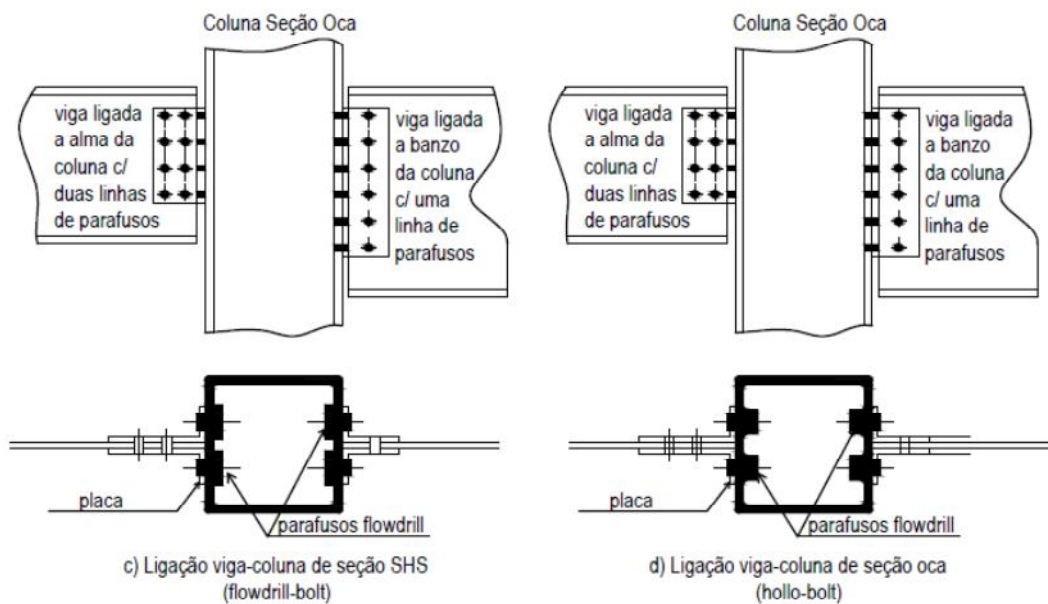


Figura 1.3 - Ligação rotulada com cantoneira de alma

#### IV. Ligação rotulada com chapa na base de coluna

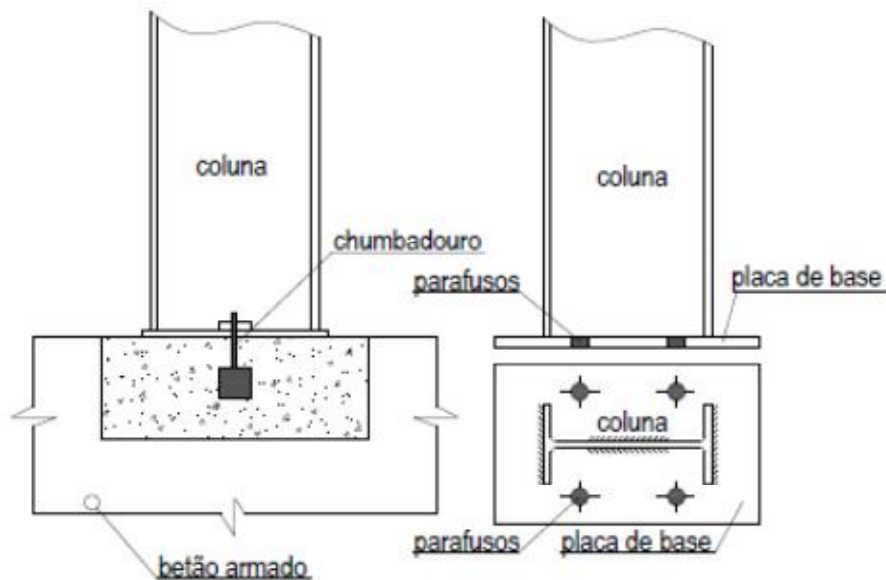


Figura 1.4 - Ligação rotulada com chapa na base da coluna

### **1.3 Estruturação da dissertação**

A dissertação está organizada em 7 capítulos e 3 anexos.

A tese inicia-se com 3 subtítulos, o primeiro é dedicado aos Agradecimentos os outros subtítulos constituem o Resumo da dissertação em português e inglês, respetivamente.

O capítulo 1. Introdução. Este capítulo faz introdução à dissertação, na qual se definem o problema e objetivos genéricos da dissertação e as configurações das ligações estudadas.

O capítulo 2. Revisão bibliográfica. Refere-se à revisão de diferentes formas de abordagem de modelação das ligações rotuladas, e o porquê da escolha de determinado modelo de abordagem para presente dissertação.

O capítulo 3. Abordagem regulamentar. Este capítulo aborda de forma geral, os critérios regulamentares e considerações gerais das ligações rotuladas, a classificação das ligações e respetiva modelação, e especificidades da ligação rotulada, com ênfase nos critérios exigidos para uma rotação e ductilidade necessárias para que a ligação seja considerada rotulada.

O capítulo 4 – Tipologias de ligações estudadas. Este capítulo trata de estudo detalhado de cada tipologia da ligação estudada, estando subdividido em 4 subcapítulos:

- 4.1 Ligação rotulada com chapa de extremidade;
- 4.2 Ligação rotulada com chapa de alma;
- 4.3 Ligação rotulada com cantoneira de alma;
- 4.4 Ligação rotulada com chapa na base da coluna.

Nestes subcapítulos são apresentadas as considerações práticas, requisitos específicos para conseguir a ductilidade e rotação necessárias, integridades estruturais, recomendações geométricas e dimensionamento (critérios, procedimento e as verificações necessárias) para cada tipologia da ligação estudada.

O Capítulo 5. Tabelas de cálculo automático. Notas explicativas. De forma sintética, este capítulo explica a programação de folhas de cálculo, a metodologia de utilização, com ênfase na introdução de dados e extração de resultados.

A Conclusão. Neste capítulo consta a conclusão final a que se chegou com a elaboração da presente dissertação.

Nas Referencias bibliográficas faz-se a descrição das literaturas consultadas durante as pesquisas que facilitaram a elaboração da presente dissertação.

Os Anexos. Constam diferentes Tabelas conforme indicadas:

Anexo A- Tabelas de resistência e dimensões exigidas para os cálculos de dimensionamento;

Anexo B- Tabelas das verificações necessárias para cada tipologia da ligação;

Anexo C- Produto final de tese, as Tabelas de pré-qualificação das ligações rotuladas.

## 2 Revisão bibliográfica

Como antes referi, a presente tese assenta basicamente nas abordagens de dimensionamento de acordo com os princípios gerais indicadas no EC3-1-8<sup>[16]</sup> e seus anexos nacional, EC3-1-1, com a ênfase na publicação de N° 126 de ECSS<sup>[10]</sup>, as publicações P212<sup>[19]</sup> e P358<sup>[20]</sup> de CSI e BCSA e outras literaturas de cálculos e dimensionamentos das ligações rotuladas.

O EC3-1-8<sup>[16]</sup> fornece regras comuns de cálculos de ligações nominalmente rotuladas, com chapas de extremidade de altura total, e as publicações ECSS N° 126<sup>[10]</sup> e publicações P212<sup>[19]</sup> e P358<sup>[20]</sup> de CSI e BCSA, tratam de forma mais específica as ligações rotuladas.

Nota-se que, de acordo com os requisitos do Eurocódigo 3 parte 1-8, uma ligação flexível é modelada por uma mola rotacional por isso é considerada semirrígida (o que é na realidade). A sua rigidez de rotação, o momento resistente à flexão e a resistência de dimensionamento ao corte têm de ser avaliados e as propriedades reais da ligação têm de ser explicitamente considerada na modelação e dimensionamento da ligação. Para a publicação ECCS N°126<sup>[10]</sup>, apesar das propriedades reais, uma ligação flexível é modelada como uma rótula, e as regras de dimensionamento apresentadas nesta publicação podem ser aplicadas, mas em algumas estritas condições, a fim de garantir o carácter seguro da modelação.

Considera-se que a abordagem de Eurocódigo 3 parte 1-8 é a mais bem fundamentada cientificamente, mas requer cálculos mais complexos na análise global e no dimensionamento da ligação; e a análise global e o dimensionamento da ligação abordada na publicação ECCS N°126<sup>[10]</sup> são mais simples neste caso, uma vez que se baseiam numa abordagem comum rotulada, por isso, para a presente dissertação, foi utilizada a abordagem de modelação publicada na ECSS N° 126<sup>[10]</sup>.

Ainda importa referenciar que o EC3-1-8 aborda a ligação de forma abrangente, enquanto as publicações ECSS N°126<sup>[10]</sup> as publicações conjunta de CSI e BCSA P212<sup>[19]</sup> e P358<sup>[20]</sup> respetivamente abordam de forma específica a ligação rotulada.

## 3 Abordagem regulamentar

### 3.1 Generalidades

Considera-se uma ligação rotulada ou flexível, a ligação capaz de transmitir os esforços atuantes sem desenvolver momentos consideráveis.

Segundo o Eurocódigo 3 parte 1-8<sup>[16]</sup>, as ligações rotuladas devem ter uma resistência de cálculo tal que a estrutura seja capaz de satisfazer todos os requisitos fundamentais de dimensionamento definidos nesta norma, e também no Eurocódigo 3 parte 1-1<sup>[14]</sup>.

Os métodos de cálculo fornecidos admitem que a qualidade de execução respeita o que esta especificado nas normas de execução, listada na parte 1.2 de Eurocódigo 3 parte 1-8<sup>[14]</sup>, nomeadamente a norma EN 1090-2<sup>[2]</sup>.

A resistência da ligação deve ser determinada com base na resistência individual das suas componentes básicas. Os componentes básicos identificados para as ligações rotuladas serão abordadas mais a frente.

### 3.2 Classificação das ligações

A pormenorização construtiva de qualquer ligação deverá ser coerente com as hipóteses consideradas no método de análise adotado, sem afetar de modo desfavorável qualquer parte da estrutura.

Durante os trabalhos, constatei diferentes classificações das ligações, de vários autores e diferentes pesquisas. Na presente tese dá-se ênfase à classificação segundo o EC3-1-8.

Segundo o EC3-1-8, as ligações podem ser classificadas de acordo com os valores das suas propriedades estruturais principais, isto é, rigidez de rotação, resistência e ductilidade. É muito importante que as propriedades estruturais de todas as ligações correspondem aos pressupostos na análise da estrutura e no dimensionamento dos seus membros. Em particular, em relação as ligações rotuladas, a capacidade de rotação disponível da junta deve ser suficiente para acomodarem as rotações das juntas resultantes da análise.

Considera-se o seguinte sistema de classificação das ligações:

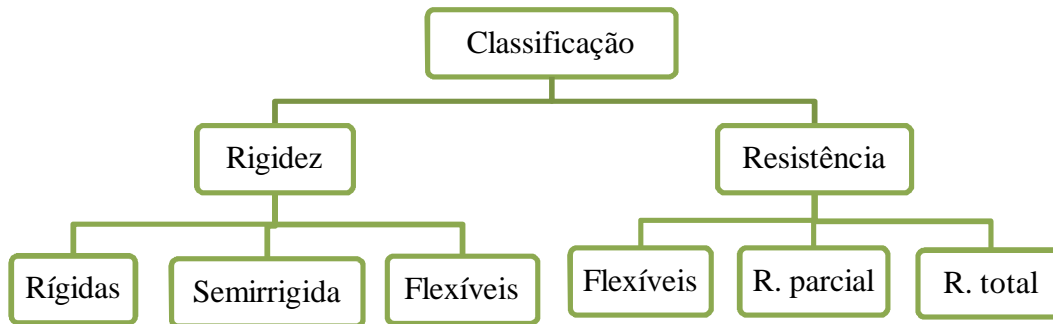


Figura 3.1 – Classificação das ligações

### 3.2.1 Classificação segundo a rigidez

Os limites para a rigidez inicial das ligações, em função de suas classificações, são apresentados na figura 3-2, e obtidos pelas expressões:

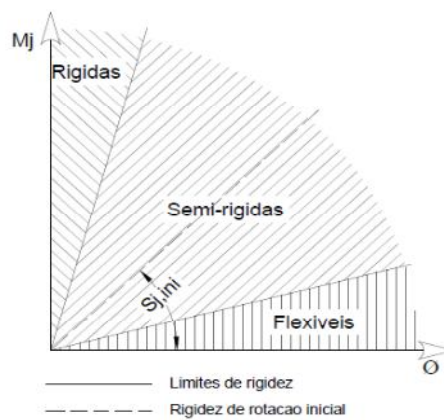


Figura 3.2 - Limites de classificação da ligação segundo a rigidez

$$\begin{array}{ccc}
 \text{Flexíveis} & \text{Rígidas} & \text{Semirrigidas} \\
 S_{j,ini} \leq 0,5 \cdot E \cdot \frac{I_b}{L_b} & S_{j,ini} \leq k_b \cdot E \cdot \frac{I_b}{L_b} & 0,5 \cdot E \cdot \frac{I_b}{L_b} < S_{j,ini} < k_b \cdot E \cdot \frac{I_b}{L_b} \quad (1) \\
 \text{(a)} & \text{(b)} & \text{(c)}
 \end{array}$$

Sendo:

$K_b$  – maior valor de  $I_b/L_b$  entre todos os elementos ligados;

$K_e$  – maior valor de  $I_c/L_c$  entre todos os elementos de apoio;

$I_b$  – momento de inercia da secção da viga;  
 $I_c$  – momento de inercia da secção da coluna;  
 $L_b$  – vão de uma viga (entre eixos de elementos de apoio)  
 $L_c$  – altura da coluna

Nota: Os limites para a classificação das ligações de base de colunas são apresentados no subcapítulo 4.4.1

### **a) Ligações flexíveis**

As ligações articuladas/flexíveis permitem a rotação e devem ser dimensionadas de modo a impedirem o aparecimento de momentos significativos que possam afetar desfavoravelmente os elementos da estrutura.

As ligações articuladas devem ter a capacidade para transmitir as forças de dimensionamento e acomodar as rotações daí resultantes.

### **b) Ligações semirrígidas**

Uma ligação que não satisfaz os critérios da ligação rígida ou da ligação articulada deve ser classificada como ligação semirrígida.

As ligações semirrígidas devem garantir um grau previsível de interação entre as peças, determinado de acordo com a relação momento-rotação de cálculo da ligação.

As ligações semirrígidas devem ser capazes de transmitir os esforços calculados no dimensionamento.

### **c) Ligações rígidas**

As ligações rígidas devem ser dimensionadas de modo a que a sua deformação não tenha uma influência significativa na distribuição dos esforços na estrutura, nem na sua deformação global.

Conseguem transmitir os esforços atuantes e estas ligações rígidas devem ser capazes de transmitir os esforços calculados no dimensionamento.

$K_b = 8$ , para casos em que o sistema de contraventamentos reduz o deslocamento horizontal em pelo menos 80%;

$K_b = 25$ , para outros casos

Ressalta-se que a presente tese, não trata das ligações rígidas

### 3.2.2 Classificação segundo a resistência

Comparando o valor de cálculo do seu momento resistente,  $M_{j,Rd}$ , com os valores de cálculo dos momentos resistentes dos elementos ligados, uma ligação poderá ser classificada como nominalmente flexível, resistência parcial e resistência total, conforme a Figura 3-3.

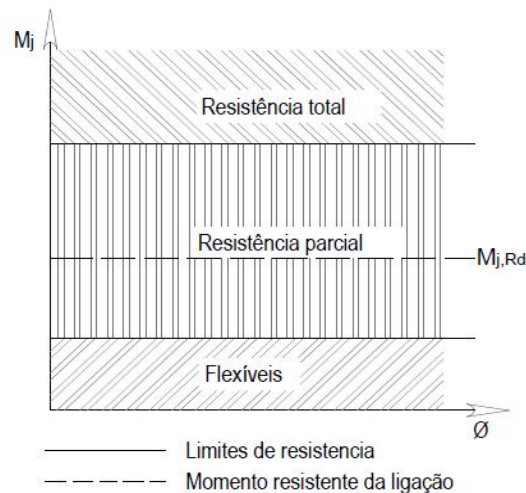


Figura 3.3 - Classificação da ligação por resistência (ECCS N°126)

#### i) Ligações articuladas

As ligações articuladas devem ter a capacidade de transmitir as forças calculadas no dimensionamento, sem permitir a formação de momentos significativos que possam afetar desfavoravelmente os elementos da estrutura.

A capacidade de rotação de uma ligação articulada deve ser suficiente para permitir para que os elementos da ligação toda se formem as rótulas plásticas necessárias.

#### Limitação:

Uma junta poderá ser classificada como nominalmente articulada se o valor de cálculo do seu momento resistente for inferior ou igual a 25% do momento resistente requerido para uma junta de resistência total, desde que também tenha uma capacidade de rotação suficiente.

$$M_{j,Rd} \geq 0,25 \cdot M_{resis. \text{ total}} \quad (2)$$

#### ii) Ligações de resistência total

O valor de cálculo de resistência de uma ligação de resistência total deveser pelo menos igual ao dos elementos ligados.



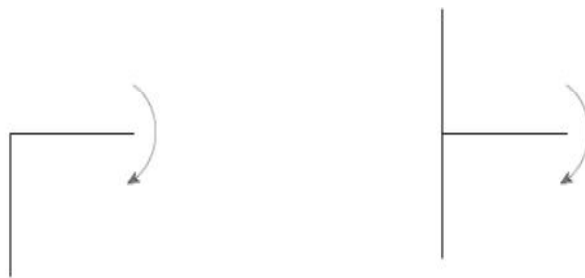
**Limitação:**

O valor de cálculo da resistência de uma ligação com resistência total deve ser pelo menos igual ao das peças a ligar:

$$M_{j,Rd} \geq M_{resis. total} \quad (3)$$

No topo da coluna  $M_{j,Rd} \geq M_{b,pl,Rd} \text{ ou } M_{j,Rd} \geq M_{c,pl,Rd} \quad (4)$

No nível intermedio da coluna  $M_{j,Rd} \geq M_{b,pl,Rd} \text{ ou } M_{j,Rd} \geq M_{c,pl,Rd} \quad (5)$



a) No topo da coluna

b) No nível intermédio da coluna

Figura 3.4 - Ligações de resistência total

Onde:

$M_{b,pl,Rd}$  – Valor de cálculo do momento resistente plástico da viga

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

(eventualmente reduzido pelas forças de tração ou de corte na coluna).

**iii) Ligações de resistência parcial**

Ligações que possuem um comportamento intermédio, podendo o momento resistente ser inferior ao dos elementos a ligar, mas igual ou superior ao momento de cálculo atuante:

**Limitação:**  $0,25. M_{resis. total} < M_{j,Rd} < M_{resis. total} \quad (6)$

A capacidade de rotação de uma ligação com resistência parcial, que coincida com uma rótula plástica, deve ser suficiente para permitir para que os elementos da ligação se formem todas as rótulas plásticas necessárias.

**3.3 Modelação da ligação conforme EC3-1-8**

A modelagem da ligação depende da classificação da ligação e da seleção de procedimento no quadro de análise estrutural e dimensionamento.

O EC3-1-8 considera três tipos de modelação da ligação (flexível, contínuo e Semi-contínuo).

O tipo de modelação da ligação conforme EC3-1-8<sup>[14]</sup>, é apresentado na Tabela 3-1

Tabela 3.1 - Tipo de modelação da ligação

MÉTODO DE ANÁLISE GLOBAL	CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES		
Elástico	Nominalmente Flexível	Rígida	Semirrígida
Rígida-Plástica	Nominalmente Flexível	Resistência total	Resistência parcial
Elastica-Plástica	Nominalmente Flexível	Rígida e Resistência total	Rígida e Resistência parcial Semirrígida e resistência parcial Semirrígida e resistência total
Tipo de modelação da ligação	Flexível	Contínuo	Semi-contínuo

Assim, na análise global, o comportamento da ligação pode ser representado na Figura 3-5 de seguinte modo:

- Uma rótula, para a modelação flexível;
- Uma mola rotacional, para a modelação Semi-contínuo;
- Uma mola infinitamente rígida e resistente a rotação, para a modelação contínua.

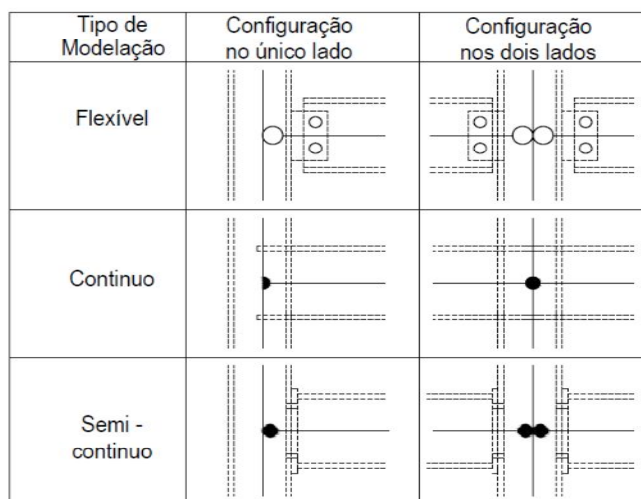


Figura 3.5 - Modelação de local da ligação

Na análise estrutural global, a rótula ou a mola que modela a ligação é assumida como sendo situada na intersecção dos eixos dos elementos ligados.

### 3.3.1 Modelação da ligação rotulada

As regras de dimensionamento são dadas para as ligações assumidas em como não transmitem momentos fletores. Assim, as ligações devem ser modeladas por uma rótula. Infelizmente, uma grande quantidade das ligações que são tradicionalmente consideradas como uma rótula não têm uma rigidez ou resistência necessária para serem classificadas como rotuladas.

Mas um exame cuidadoso do problema permite de qualquer maneira concluir que é garantida a segurança "pressuposto de rótula" se forem cumpridos os dois requisitos seguintes:

- A ligação possui uma capacidade de rotação suficiente;
- A ligação possui uma ductilidade suficiente.

O primeiro requisito refere-se à capacidade de rotação que a ligação deveria ter, a fim de "rodar" como uma rótula, sem desenvolver momentos fletores internos demasiado elevados.

O segundo requisito existe para garantir que o desenvolvimento combinado de forças de corte e momento fletor não estão a conduzir a modos de roturas frágeis (por exemplo, a rotura de um parafuso ou uma soldadura). Em outras palavras, o dimensionamento da ligação deve ser concebida para permitir deformação plástica interna, em vez de fenómenos frágeis.

Se estes dois requisitos (capacidade de rotação necessária e ductilidade suficiente) são cumpridos, pode-se considerar a ligação realmente semirrígida ou nominalmente flexível.

## 3.4 *A forma prática para satisfazer os requisitos de rotação e ductilidade na ligação rotulada*

### 3.4.1 Princípios gerais

Uma ligação rotulada não é nada mais do que uma idealização da realidade; os modelos de ligações estudadas na presente tese, sofrem uma rotação interna significativa, mas de qualquer maneira transferem um certo momento fletor.

Para garantir a segurança do modelo da ligação rotulada, são necessários alguns requisitos para a ductilidade e capacidade de rotação.

Os requisitos de capacidade de rotação para proporcionar a rotação suficiente, sem desenvolver momento fletor muito significativo que poderia afetar os membros da estrutura são muitas vezes expressos com limitações geométricas.

Os requisitos de ductilidade evitam a ocorrência de roturas frágeis, especialmente nos parafusos e soldaduras. Para análise estrutural de uma rótula, assume-se que a junta está

sujeita apenas a uma força de corte. Na realidade, atuam simultaneamente sobre a ligação, um momento de flexão e uma força de corte.

Na aplicação de uma força de corte mais o momento fletor (Figura 3-6), a evolução real e idealização dos tipos de carregamentos podem ser representados por duas linhas. A primeira é uma horizontal ( $M_{SD} = 0$ ) e a segunda é uma oblíqua. A inclinação real da linha de carregamento depende de rigidez relativa entre a ligação e os elementos ligados

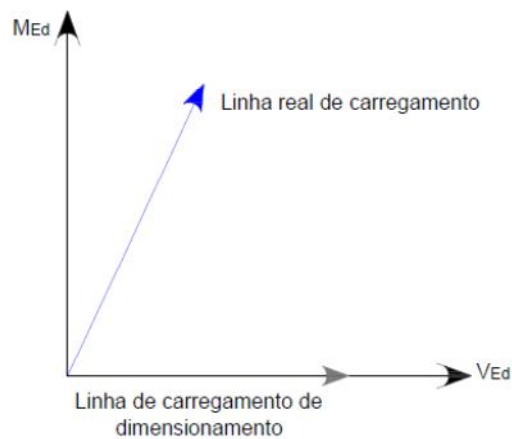


Figura 3.6 - Linha de carregamento

Para a ligação rotulada com chapa de alma, há duas seções transversais diferentes que devem ser consideradas separadamente. A primeira está localizada na face exterior do elemento de apoio, enquanto a segunda é ao nível do centro do grupo de parafusos. (Figura 3-7).

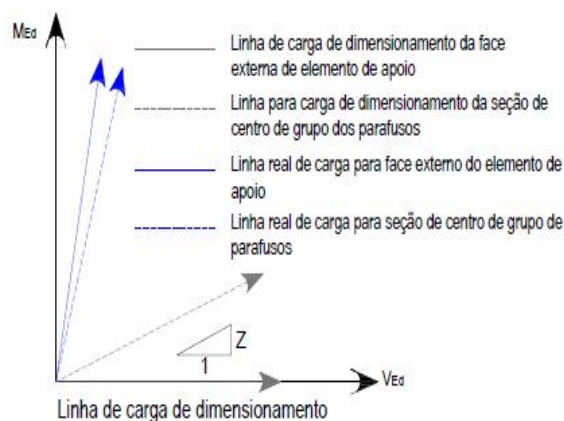


Figura 3.7- Linha de carga para ligação rotulada com chapa de alma

A situação de carregamento real nessas duas seções não é igual, assim levando à existência de duas linhas distintas  $M_{Ed}-V_{Ed}$  apresentadas na Figura 3-7.

Mas se um modelo é considerado como uma rótula, a primeira secção é assumida como transfere apenas forças de corte ( $M_{Ed} = 0$ ) enquanto o segundo, por uma questão de equilíbrio, transfere a força de corte  $V_{Ed}$ , e um momento fletor  $M_{Ed}$  igual a  $V_{Ed} \cdot z$ .

$z$  é definido como a distância entre a face externa do elemento de apoio e o centro de grupo dos parafusos.

A resistência de dimensionamento ao corte de cada componente da ligação pode ser representada graficamente por uma força de corte e momento fletor. Esta resistência é influenciada ou não pelo momento fletor atuante; a representação será uma curva ou uma linha vertical.

Como conclusão, os requisitos de ductilidade têm como Objectivo assegurar a deformação real e a resistência de dimensionamento ao corte que podem ocorrer como resultado de uma redistribuição plástica das forças internas no interior da ligação.

Os requisitos de dimensionamento que devem ser cumpridos para permitir a capacidade de rotação suficiente e ductilidade para todos os tipos de ligações estudadas na presente tese estão descritos no capítulo 4.

### **3.5 Componentes básicos**

A relação de cálculo de momento-rotação de uma ligação rotulada depende das propriedades dos seus componentes básicos.

Os componentes básicos identificados para ligação rotulada são: soldaduras, parafusos, chapas/chapas da ligação e ou cantoneiras, almas e banzos de perfis ligados.

Todos os componentes de ligações devem ter uma resistência de cálculo que permita à estrutura permanecer funcional e satisfazer as exigências fundamentais de dimensionamento para o Estado Limite Último definidos no capítulo 2 do EC3-1-8.

#### **3.5.1 Soldaduras**

O comprimento da perna de 6mm ou 8mm pode ser facilmente executado em uma única passagem. Soldaduras de ângulo destes tamanhos são geralmente reconhecidas como sendo extremamente confiáveis e, normalmente precisam de poucos testes além da inspeção visual de costume.

No capítulo 4.1.6 é abordada de forma mais detalhada os critérios para evitar a rotura prematuro de soldadura.

### 3.5.2 Parafusos

Os parafusos estruturais para ligações de membros das seções laminadas e tubulares são baseados predominantemente em parafusos não pré-esforçados de classe 4.6 e 8.8 utilizados em folgas normalizadas. Segundo a publicação P358 SCI e BCSA<sup>[20]</sup> esses parafusos são denominados parafusos comuns e outros padrões (ver Tabela 2 em BS 5950-2: 2001)<sup>[21]</sup>.

Recomenda-se a utilização de parafusos da classe 4.6 geralmente apenas para a ligação de componentes mais leves.

Não é recomendável a variação dos parafusos de classes diferentes com mesmo diâmetros no mesmo projeto.

Segue-se as propriedades e características de parafusos utilizados no cálculo de dimensionamento das ligações pré-qualificadas.

#### I. Parafusos totalmente roscados

A prática comum é utilizar parafusos totalmente roscados, ou seja, um tamanho de parafuso que pode ser universalmente utilizado para grande número de ligações. Para presente dissertação são utilizados parafusos M20 8.8, totalmente enfiada com 60 mm de comprimento.

#### II. Parafuso para seções tubulares quadradas e retangulares

Os parafusos Flowdrill e Sistemas Hollo-Bolt são usados para as ligações aparafusadas nos perfis tumulares quadrados, retangulares e circulares.

##### a) Parafusos Flowdril

#### Resistência de tensão normal

As resistências à tração e propriedade dos parafusos da classe 8.8 para o dimensionamento normal são apresentados na Tabela 3-2 e tem em conta a espessura da parede da secção tubular e a resistência do parafuso.

#### Resistência à tração - robustez

As resistências para a robustez são os valores de resistência normal, multiplicado por  $\gamma_{M2}/\gamma_{Mu} = 1.25/1.1$ . A resistência local do elemento também deve ser verificada (ver as verificações

14 e 15 para chapas de extremidade em anexo A). As propriedades de resistência de tração a robustez de parafusos flowdrill, são apresentadas na Tabela 3-3

Tabela 3.2 – Resistência da tração normal de parafusos flowdrill

PARAFUSOS FLOWDRILL								
Resistência à tração normal ( $F_{t,Rd}$ ) kN								
Diâmetro de Parafuso	Espessuras da Parede da Seção Tubular							
	S275					S355		
	5,0	6.3	8,0	10,0	12.5	5,0	6.3	8 a 12.5
M16	46,0	60,0	70.3			59,0	70.3	
M20	70,0	86,0	95,0	97,0	110,0	102,0	110,0	
M24	80,0	101,0	122,0	134,0	158,0	103,0	130,0	158,0

Tabela 3.3 – Resistência da tração a robustez de parafusos flowdrill

PARAFUSOS FLOWDRILL								
Resistência da tração à robustez ( $P_{si}$ ) kN								
Diâmetro de Parafuso	Espessuras da Parede da Seção Tubular							
	S275					S355		
	5	6.3	8	10	12.5	5	6.3	8 a 12.5
M16	52	68	80			67	80	
M20	80	97	108	110	125	116	125	
M24	91	115	139	152	180	117	148	180

Para corte e esmagamento veja a Tabela da resistência de parafuso normal em anexo A

## b) Parafuso hollo

### Resistência ao corte

Parafusos hollo têm uma resistência ao corte maior do que parafusos normal, uma vez que o corpo de dispositivo da ligação proporciona a resistência, bem como o próprio parafuso. Os

valores de resistência são apresentados na Tabela 3-4 para parafuso hollo em aço carbono e na Tabela 3-5 para parafuso hollo em aço inoxidável. Para cálculos de pré-dimensionamento, na presente dissertação são utilizados parafusos hollo em aço de carbono.

### Resistência à tração - o dimensionamento normal

As resistências de tração de parafusos-hollo para o dimensionamento normal para parafuso hollo em aço de carbono, são apresentadas na Tabela 3-4, e para parafuso hollo em aço inoxidável, na Tabela 3-5.

Tabela 3.4 - Resistência de dimensionamento para parafuso hollo em aço de carbono

Resistência de dimensionamento para parafuso hollo em aço de carbono			
Diâmetro de parafuso (mm)	Capacidade ao corte $F_{v,Rd}$ (kN)	Resistência à tração normal, $F_{t,Rd}$ (kN)	Resistência de tração à robustez $F_{t,Rd,u}$ (kN)
M8	26.3	18.5	21
M10	43.4	31.7	36
M12	56.8	36.6	41.6
M16	111	67.4	76.6
M20	169	99.2	113

### Resistência à tração - a robustez

As resistências ao arrancamento para a robustez são superiores às de dimensionamento normal, pois são permitidas grandes deformações e é aplicada um fator parcial inferior. Os valores para parafuso hollo em aço carbono são apresentados na Tabela 3-4 e para parafuso hollo em aço inoxidável na Tabela 3-5. A resistência local de elemento também deve ser verificada (ver a verificação 14 e 15 para ligação com chapa de alma).



Tabela 3.5 - Resistência de dimensionamento para parafuso hollo em aços inoxidáveis

Resistência de dimensionamento para parafuso hollo em aços inoxidáveis			
Diâmetro de parafuso (mm)	Resistência ao corte $F_{v,Rd}$ (kN)	Resistência a tração normal, $F_{t,Rd}$ (kN)	Resistência de tração à rebustez, $F_{t,Rd,u}$ (kN)
M8	24.6	21.4	24.4
M10	40.8	36.8	41.8
M12	52	42.6	48.5
M16	102	78.4	89.1
M20	164	123	140

Para corte e esmagamento veja a Tabela da resistência de parafuso normal em anexo A

### iii) Furos

A prática normal é para furos serem perfurados nos membros e acessórios. Diâmetros dos furos devem ser os seguintes:

- Parafuso de diâmetro ( $d \leq 24$  mm):  $d + 2$  mm
- Parafuso de diâmetro ( $d \geq 24$  mm):  $d + 3$  mm
- Holding down bolts:  $d + 6$  mm

Furos de 22 milímetros ou 26 milímetros podem ser perfurados com a segurança no aço da classe S275 até 12 mm de espessura.

## 3.6 Geometria

### 3.6.1 Entalhes/recorte da Viga

Entalhe é normalmente necessário para ligação viga-viga, para permitir que o banzo da viga apoiada encaixe na alma da viga de apoio (Figura 3-10).

O comprimento do entalhe deve proporcionar uma folga nominal de 10 mm a partir da extremidade do banzo da viga de apoio e variará dependendo de largura da viga de apoio, mas deve ser mantido a um mínimo 10 mm, para evitar problemas de instabilidade locais.

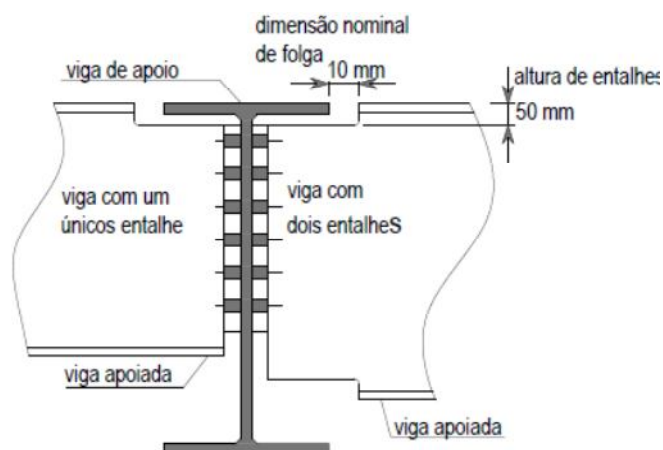


Figura 3.8 - Fig. Entalhe/corte na viga

A publicação P358 SCI e BCSA<sup>[20]</sup>, recomenda a altura de entalhe de 50 mm e é adequado para perfis laminados de secção I.

### 3.6.2 Chanfros no Banzo

Quando vigas de diferentes alturas são ligadas em lados opostos de uma coluna ou viga, a base do banzo da viga menor pode entrar em conflito com os parafusos da ligação a viga maior. Para isso, usa-se um acessório especial, como consta na Figura 3-10.

### 3.6.3 Distância dos Parafusos

Segundo os critérios definidos na EC3-1-8<sup>[16]</sup>, as regras de dimensionamento podem ser aplicadas só quando as distâncias máxima e mínima, quer entre eixos dos parafusos, quer aos bordos e às extremidades das peças dadas na Tabela 3-6, são respeitadas.

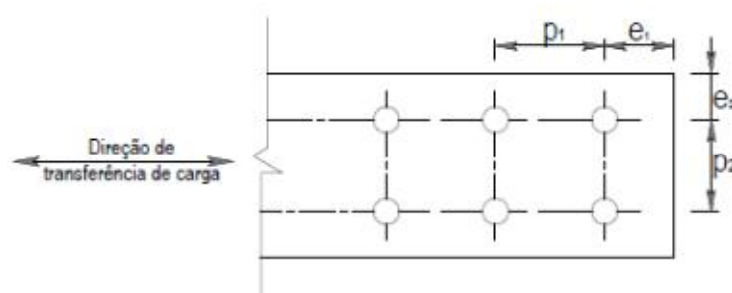


Figura 3.9 - Símbolos para as distâncias entre os eixos dos furos de peças da ligação

Para secções laminadas de perfis I, as distâncias entre centro de parafusos devem ser de 90 mm ou 140 mm para ligações rotuladas com chapa de extremidade de altura parcial.

Estas dimensões são projetadas para fornecer folga razoável para instalação do parafuso, bem como dando largura suficiente de flexibilidade na ligação rotulada com chapa de extremidade de altura parcial.

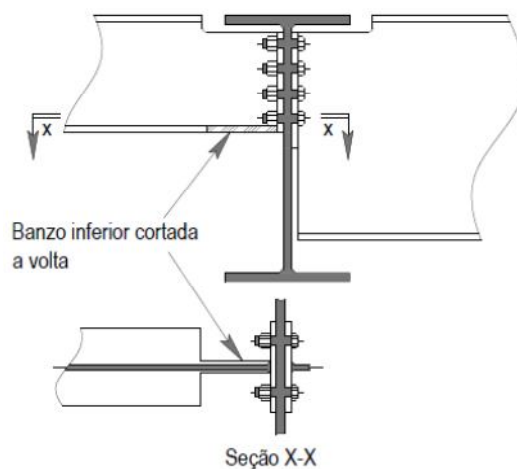


Figura 3.10 – Banzo cortado

Tabela 3.6 - Distância mínima e máxima entre eixos, a extremidades e a bordos

Distância e espaçamento ver a Figura 3-9	Mínimo	Máximo		
		Estruturas de aço fabricado de acordo com EN 10025 com exceção de aços de acordo com EN 10025-5		Estruturas de aço fabricado de acordo com EN 10025-5
		Aço exposto a água e outras influências corrosivas	Aço não exposto a água e outras influências corrosivas	Aço usado sem proteção
Distância à extremidade $e_1$	$1.2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$		Maior entre $8t$ e $125 \text{ mm}$
Distância ao bordo lateral $e_2$	$1.2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$		
Distância entre os eixos $p_1$	$2.2d_0$	Menor entre $14t$ e $200 \text{ mm}$	Menor entre $14t$ e $200 \text{ mm}$	Menor entre $14t_{\min}$ e $125 \text{ mm}$
Distância entre os eixos $p_2$	$2.4d_0$	Menor entre $14t$ e $200 \text{ mm}$	Menor entre $14t$ e $200 \text{ mm}$	Menor entre $14t_{\min}$ e $125 \text{ mm}$
1) Valores máximos de espaçamento, distâncias de topo e distâncias de bordo são ilimitados, exceção nos seguintes casos:				

- ✚ Para os elementos a compressão , a fim de evitar a instabilidade local e para evitar a corrosão em elementos expostos e;
- ✚ Para elementos à tração expostos para evitar a corrosão

2) A resistência ao enfunamento local da chapa comprimida entre as peças da ligação deverá ser calculada de acordo com a EN 1993-1-1<sup>[12]</sup>, utilizando  $0,6 p_1$  para comprimento de encurvadura. Não é necessário verificar o enfunamento local entre as peças da ligação no caso de  $p_1 / t$  ser inferior a  $9\varepsilon$ . A distância ao bordo lateral não deverá exceder aos requisitos relativos ao enfunamento para um elemento saliente de uma peça comprimida, ver a EN 1993-1-1<sup>[12]</sup>. A distância à extremidade não é afetada por este requisito,

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

## 4 Tipologias da ligação consideradas

Na presente dissertação são estudadas 4 tipologias das ligações rotuladas:

- Ligação rotulada com chapa de extremidade de altura parcial
- Ligação rotulada com chapa de alma
- Ligação rotulada com cantoneira de alma
- Ligação rotulada a base de coluna

### 4.1 *Ligação rotulada com chapa de extremidade de altura parcial*

#### 4.1.1 Introdução

Ligação rotulada com chapa de extremidade de altura parcial é a ligação utilizando uma chapa de altura parcial soldada na extremidade da viga apoiada e aparafusada no elemento de apoio (coluna ou viga).

Para fixação nas colunas de seção tubular, são usadas os parafusos especiais.

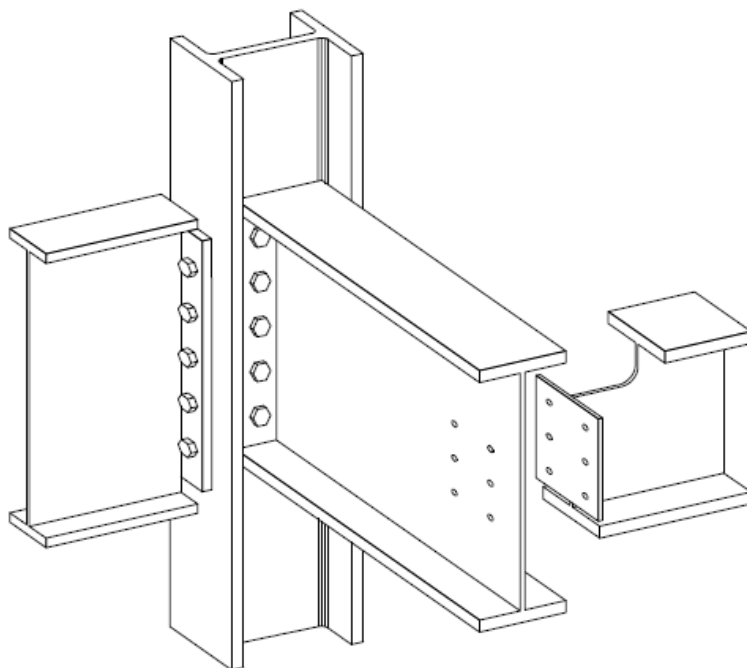


Figura 4.1 – Ligação rotulada com chapa de extremidade de altura parcial

### 4.1.2 Considerações práticas

A prática normal: a chapa de altura parcial é soldada à alma da viga, geralmente com soldadura de ângulo.

Na presente tese, as soldaduras são dimensionadas como sendo de resistência total com base na espessura da alma.

É muito comum, em particular para as chapas mais finas, ocorrer a curvatura da chapa devido à contração da soldadura. Neste caso a ligeira curvatura da chapa não deve ser um problema, pois vai ser puxada durante a montagem da ligação e os parafusos serão fixados.

Todas as ligações devem resistir a uma força de tração mínima, recomenda-se a força de tração mínima de 75 kN até mesmo para edifícios da classe 1<sup>[20]</sup>.

Uma chapa de extremidade de altura parcial ligada a alma com maior espessura aumenta geralmente a resistência a tração, embora o comportamento nominalmente flexível se mantenha.

As espessuras da chapa de ligação de altura parcial recomendadas<sup>[19 e 20]</sup> são apresentadas na Tabela 4-1. São dadas novas recomendações de 2 mm mais espessas do que os detalhes anteriores. O aumento da espessura não faz mudar o comportamento fundamental da ligação nem afeta a classificação da ligação.

Tabela 4.1 - Tamanho da chapa de extremidade de altura parcial recomendadas:

Ligação rotulada com chapa de extremidade de altura parcial	Recomendação da publicação nº 212 de SCI e BCSA (mm)	Recomendação da publicação nº 358 de SCI e BCSA (mm)
Parafusos normais e parafusos flowdrill, Vigas $\leq$ IPE450	150 x 8	150 x 10
Parafusos normais e parafusos flowdrill, Vigas $\geq$ IPE450	200 x 10	200 x 12
Parafusos Hollo Vigas $\leq$ IPE450	180 x 8	180 x 10
Parafusos hollo: vigas $\geq$ IPE450	200 x 10	200 x 12

Se a resistência à tração conseguida com chapa de extremidade de altura parcial não é suficiente para cumprir a requisitos de robustez, o projetista é aconselhado a usar chapa de extremidade de altura total. A presente tese não abrange os estudos da ligação com chapa de

extremidade de altura total, para mais informação deste tipo de ligação, ver o parágrafo e os procedimentos de dimensionamento na Secção 4.7 da publicação nº 358 de SCI e BCSA<sup>[20]</sup>

A ligação com chapa de extremidade pode ser classificada como rotulada quando as suas propriedades estruturais principais, isto é, rigidez de rotação e capacidade de rotação (ou ductilidade) são satisfeitas.

Para aço S275, chapas de extremidade de altura parcial com espessura superior a 12 mm não satisfazem os requisitos de Eurocódigo para a capacidade de rotação e não podem ser classificados como flexível.<sup>[20]</sup>

#### 4.1.3 Requisito de dimensionamento para a capacidade de rotação

Com o Objectivo de permitir uma rotação sem aumentar demasiado o momento flector que se desenvolve dentro da junta/ligação, o contacto entre a banzo inferior da viga e o elemento de suporte tem que ser rigorosamente evitado. Assim, é imperativo que a altura da chapa seja inferior à alma da viga apoiada.

$$h_p \leq d_b, \quad (7)$$

em que  $d_b$  é a altura de alma da viga apoiada,  $h_p$  é a altura da chapa de extremidade.

Se tal contacto ocorrer, desenvolve-se uma força de compressão no local de contacto, que é equilibrada pelas forças de tração nos parafusos e desenvolve-se um momento flector significativo. Figura 4-2.

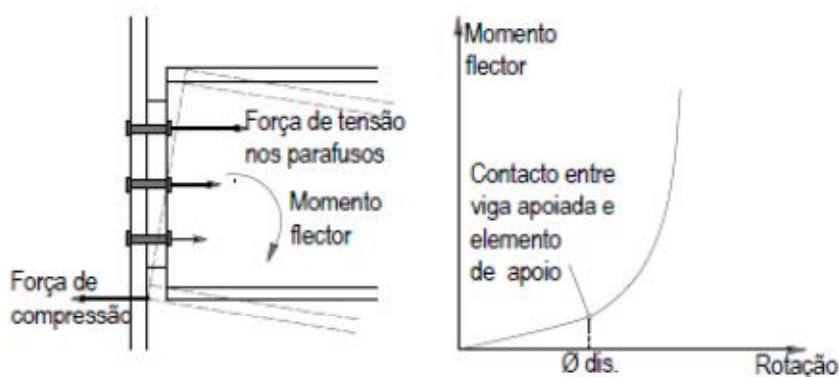


Figura 4.2- Contacto e evolução de momento flector

O nível de rotação em que o contacto ocorre é, obviamente, dependente das características geométricas da viga e da chapa de extremidade de altura parcial, mas também das deformações reais dos componentes da ligação.

O critério simples que o projetista pode aplicar, antes de qualquer cálculo, é verificar se os riscos de contatos podem ser ignorados; para isso podem ser feitas seguintes verificações:

(ver Figura 4-3):

- O elemento de apoio contínuo é indeformável;
- O centro de rotação da viga situa-se na extremidade inferior da chapa de extremidade de altura parcial.

Com base nos tais pressupostos, uma estimativa de segurança (isto é, um limite inferior) da chamada "Rotação da ligação disponível"  $\varnothing_{disp}$  pode ser facilmente obtida:

$$\varnothing_{disp} = \frac{t_p}{h_e} \quad (8)$$

$\varnothing_{disp}$ - Rotação disponível

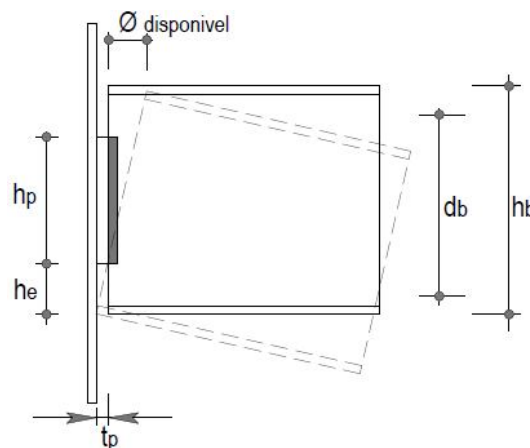


Figura 4.3- Características geométricas da ligação e ilustração de contacto entre a viga e elemento e apoio

Esta rotação disponível tem de ser maior do que a "capacidade de rotação necessária", que varia de acordo com o sistema estrutural e carregamento. Assim, o critério simples para garantir capacidade de rotação suficiente da viga pode ser obtido como:

$$\varnothing_{disp} > \varnothing_{nesc} \quad (9)$$

$\varnothing_{nesc}$ - Rotação necessária

A capacidade de rotação necessária, para uma viga (comprimento L e de inércia I) simplesmente apoiada nas suas extremidades e submetida a uma carga uniformemente distribuída é dada por:



$$\emptyset_{nesc} = \frac{\gamma p L^3}{24.E.I} \quad (10)$$

Conforme a extração  $\emptyset_{disp.} > \emptyset_{nesc}$  pode-se usar um critério simples para garantir a capacidade de rotação suficiente da ligação através da fórmula:

$$\frac{t_p}{h_e} > \frac{\gamma p L^3}{24.E.I} \quad (11)$$

#### 4.1.4 Requisitos de dimensionamento para a ductilidade da ligação

Como resultado dos momentos fletores que se desenvolvem na junta e, os parafusos e a soldaduras são sujeitos a forças de tração adicionais as forças de corte. A rotura prematura desses elementos que exibem a rotura frágil e que são mais carregados na realidade do que no modelo de cálculo deve ser, portanto, evitada. Para evitar esses efeitos, podem ser usados os critérios descritivos no subcapítulo seguintes:

#### 4.1.5 Critério para evitar as roturas prematuras do parafuso devido a forças de tração

No Eurocódigo 3, parte 1-8, um critério baseado na abordagem T-stub garantem produzir o mecanismo que se desenvolve na chapa antes de esgotar a resistência dos parafusos.

Este critério, inicialmente desenvolve-se na chapa de extremidade de altura parcial e banzos da coluna, em seguida estende-se à coluna ou às almas da viga.

De acordo com este critério, pelo menos uma das duas desigualdades seguintes (1) e (2) tem que ser satisfeitas:

$$(1) \quad \frac{d}{t_p} \geq 2.8 \sqrt{(f_{up}/f_{ub})} \quad (12) \quad \text{Para o banzo da coluna de apoio}$$

$$(2) \quad \frac{d}{t_{cf}} \geq 2.8 \sqrt{(f_{ycf}/f_{ub})} \quad (13)$$

$$\frac{d}{t_w} \geq 2.8 \sqrt{(f_{yw}/f_{ub})} \quad (14) \quad \text{Para alma da coluna ou viga de apoio (ou paredes de seção tubular)}$$

Onde:

$d$  – é o diâmetro nominal de parafuso

$t_p$  – espessura da chapa de extremidade

$t_{cf}$  – é a espessura do banzo da coluna de apoio

$t_w$  – é a espessura da alma da viga ou coluna de apoio

$f_{yp}$  – é a tensão de cedência do aço da chapa de extremidade

$f_{ycp}$  – é a tensão de cedência do aço do banzo da coluna de apoio

$f_{yw}$  – é a tensão de cedência do aço da alma de coluna de apoio

$f_{ub}$  – é a tensão última de parafuso

Obviamente, este critério não garante que toda a região de corte do parafuso seja considerada ao avaliar a resistência ao corte da ligação, quando esta condição é satisfeita demonstra que:

- a) A força de tração nos parafusos pode atingir  $0,5 B_{t,Rd}$ , ou seja, 50% da tração de resistência de dimensionamento dos parafusos  $B_{t,Rd}$ .
- b) Que, para uma força de tração, a resistência ao corte só atinge 64% da resistência de corte completo dos parafusos, conforme a fórmula do EC3 para parafusos ao corte e tração.

Obviamente, pode-se argumentar que apenas os parafusos localizados na metade superior da chapa de extremidade de altura parcial necessitam de uma tal redução, como os outros situam-se numa zona de compressão, e portanto, não são sujeitas a forças de tração.

Assim, finalmente, a redução é levada em consideração, multiplicando a resistência total dos parafusos ao corte por um fator de 0.8 (isto é, um fator de redução de 0.64 para metade dos parafusos localizados na parte superior a metade da chapa de extremidade de altura parcial ( $0,5 [1 + 0,64] \approx 0,8$ )).

#### **4.1.6 Critério para evitar a rotura prematura de soldadura devido a forças de tração**

A soldadura deve ser dimensionada de acordo com EC3-1-8<sup>[14]</sup>. No caso de a carga ser relativamente pequena em relação à capacidade de alma, a aplicação das regras em 4.5.3.2 de Eurocódigo 3 parte 1-8 pode levar a soldaduras bastante finas. Se a força de rotura dessas soldaduras finas é inferior à resistência da parte mais fraca da ligação, geralmente não é suficiente para acomodar os efeitos impostos devido a deformações etc., desta forma, a ligação irá se comportar de maneira frágil.

Para evitar esta situação, as soldaduras devem ser dimensionadas à resistência total. Resistência à rotura das soldaduras com resistência total seria maior do que a força de rotura

da chapa adjacente, de modo que, em caso de sobrecarga, a rotura da chapa ocorre antes das soldaduras.

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{e} \quad \sigma_{\perp} \leq 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (15)$$

Onde:

$f_u$  = valor nominal da tensão de rotura a tração da peça ligada mais fraca

$\gamma_{M2}$  = fator parcial de segurança da soldadura ( $\gamma_{M2} = 1.25$ )

$\beta_w$  = fator de correlação (ver a Tabela 4-2)

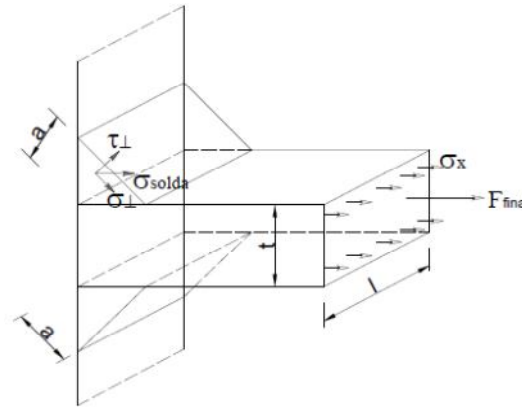


Figura 4.4 - Cordão de soldadura de ângulo e lateral

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{soldadura}}{\sqrt{2}} \quad (16)$$

Para fim da soldadura de ângulo:  $\tau_{\parallel} = 0$

A partir de fórmula 15, (mais restritiva da fórmula 16) obtém-se:

$$\sigma_c = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{soldadura}}{\sqrt{2}}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\sigma_{soldadura}}{\sqrt{2}}\right)^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (17)$$

E assim:

$$\sigma_{soldadura} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{2}} = f_{v.w.d} \quad (18)$$

Para dupla soldadura de ângulo, o critério da extração acima (resistência total) escreve-se (Figura 4-4):

$$2 \cdot a \cdot l \cdot \sigma_{soldadura} \geq t \cdot l \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad (19)$$

Onde:

- $f_y$  - tensão de cedência à tração da peça ligada mais fraca  
 $\gamma_{M0}$  - fator parcial de segurança da material de aço ( $\gamma_{M0}=1.0$ )  
 $l$  - comprimento da soldadura  
 $a$  - espessura da garganta da soldadura

A última equação é obtido partindo do princípio, na fig. 4.4 que:

$$F_{final} = \sigma_x \cdot t \cdot l \quad \text{com} \quad \sigma_x = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (20)$$

O tamanho mínimo de soldadura para satisfazer dimensionamento de resistência total, é portanto, expresso:

$$a \geq \frac{f_y}{2 \cdot \gamma_{M0} \cdot f_{v.w.d}} \cdot t \quad (21)$$

e finalmente:

$$a \geq \frac{f_y \cdot \beta_w}{\sqrt{2} \cdot f_u} * \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}} \cdot t \quad (22)$$

As espessuras mínima de garganta necessária para dimensionar a soldadura como resistência total para classes de aço S235, S275 e S355 são apresentadas na Tabela 4-2

Tabela 4.2 – Valores de  $\beta_w$  e  $f_{v.w.d}$  para aços de acordo com EN 10025 e espessura de soldadura necessária para força total em caso de dupla soldura de angulo

Classe de aço	S235	S275	S355
$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	235	275	355
$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	360	430	510
$\beta_w$	0.8	0.84	0.9
$F_{v.w.d}$ (N/mm <sup>2</sup> )	255	286	321
Resistência total de dupla soldadura de angulo	$a \geq 0.46.t$	$a \geq 0.48.t$	$a \geq 0.55.t$

Chapas de espessura menor de 40 mm,  $\gamma_{M0} = 1.0$  e  $\gamma_{M2} = 1.25$

Conclusão:

Se a capacidade de rotação e exigência de ductilidade especificadas no 4.1.3 e 4.1.4 são satisfeitas, as resistências de corte de todos os componentes constituintes são avaliadas e dimensionamento de resistência ao corte da ligação corresponde ao mais fraco, tal como ilustrado na Figura 4.5. Isso é permitindo que todos os possíveis efeitos prejudiciais ligados a fenómenos de interação flexão-corte sejam integrados nos requisitos de ductilidade.

Na realidade, o componente para conduzir a rotura não é necessariamente o mais fraco, em termos de resistência ao corte, e podem ocorrer duas situações diferentes (Figura 4.5). No primeiro caso, (Figura 4.5 a), o mesmo modo de rotura é obtido seguindo a trajetória real de carga de dimensionamento. Para o segundo caso (Figura 4.5 b), o modo de falha obtido com a trajetória de carga real não é o mais fraco, mas tem a ductilidade suficiente para permitir que a redistribuição plástica de forças internas ocorre até que a resistência ao corte é alcançada. Finalmente, é importante na prática, anotar que os requisitos da capacidade de rotação e de ductilidade podem ser verificados antes de qualquer cálculo de resistência.

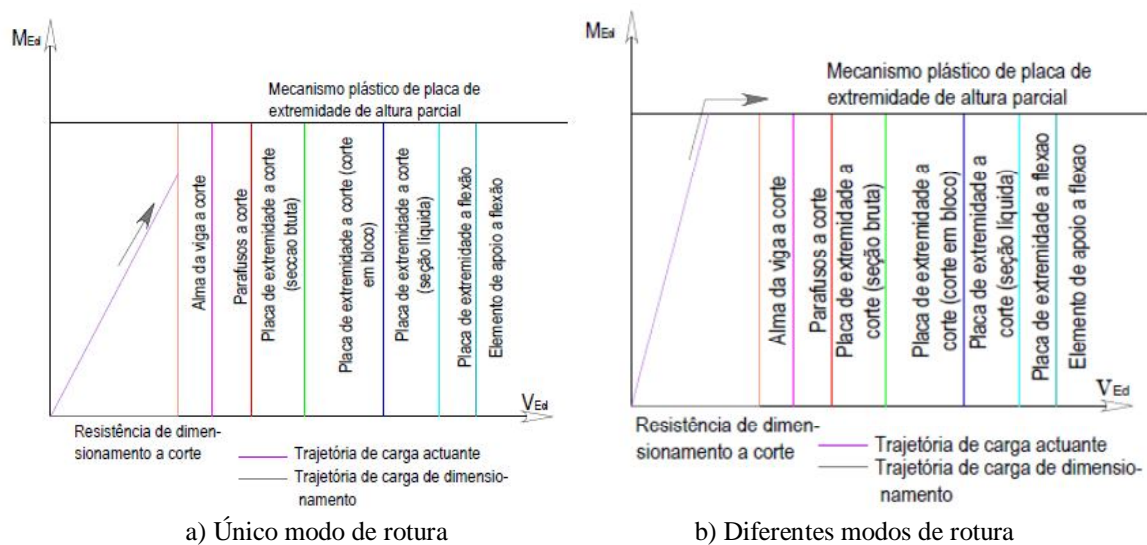


Figura 4.5 – Possíveis modos de rotura da ligação rotulada com chapa de extremidade de altura parcial

### 4.1.7 Robustez

Todas as ligações viga-pilar devem satisfazer certos requisitos de robustez. Para algumas classes de edifícios, será necessário verificar ligação para forças de tração determinadas a partir de EN 1991-1-7<sup>[13]</sup>. As verificações de resistência à tração e resistência vertical são efetuadas como verificações independentes, nunca em combinação. O cálculo de resistência a tração geralmente envolve resistências últimas, e antecipa a inexistência irreversível de deformação dos componentes da ligação. EN 1993-1-8<sup>[14]</sup> não fornece o fator de resistência dos elementos sob ações acidentais. Para  $\gamma_{Mu}$  é adotado o valor 1.1.

Para uma seção I e H ligadas a banzo, o modo crítico de rotura para ligação rotulada com chapa de extremidade de altura parcial será provada na verificação 11<sup>[20]</sup> - resistência de chapa de extremidade parcial a tração.

### 4.1.8 Recomendações geométricas

Os procedimentos de dimensionamento a seguir são recomendações que se destinam a assegurar a flexibilidade e ductilidade exigidas.

Ao detalhar a ligação, os principais requisitos são os seguintes:

- 1) A chapa de extremidade de altura parcial, deve ser posicionada perto de banzo superior a fim de proporcionar apoio a restrição da posição do banzo.
- (2) A altura da chapa de extremidade de altura parcial, deve ser de pelo menos 0,6 vezes a altura da viga apoiada a fim de proporcionar a viga a contenção de torção adequada.

$$h_p = 0.6xd_b \quad (23)$$

- (3) A chapa de extremidade de altura parcial deve ser relativamente fina (10 mm ou 12 mm)
- (4) As distâncias entre os parafusos devem ser razoáveis de 90 mm ou 140 mm.

Os primeiros dois requisitos que, em caso de as vigas não estarem lateralmente restringidas, podem ser dimensionados com um comprimento de encurvadura de 1,0 L.

Os padrões geométricos recomendados<sup>[20]</sup> são apresentados na Figura 4-6 e Tabela 4-3 e 4-4.

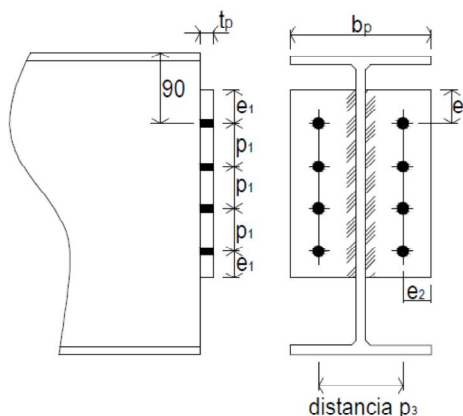


Figura 4.6 - Geometria recomendada para chapa de extremidade de altura parcial

Tabela 4.3 – Recomendações geométrica para ligação a parafusos Normal e Flowdrill

Viga apoiada(IPE)	Medida da chapa recomendada	Distância horizontal dos eixos de parafusos
	$b_p \times t_p$	$p_3$
Até IPE 500	150 x 10 mm	90 mm
Maiores de IPE 500	200 x 12 mm	140 mm
Parafusos:	M20 de 22 mm de diâmetro	
Chapa de extremidade de altura parcial:	S275, altura mínimo $0.6xh_{b1}$ onde: $h_{b1}$ - altura da viga	
Distância vertical de centros de parafusos	$p_1 = 70$ mm	
Distância de centro da ultima linha de parafuso a extremidade	$e_1 = 40$ mm	
Distância de centro da ultima linha de parafuso a bordo	$e_2 = 30$ mm	

Tabela 4.4 - Recomendações para parafusos Hollo

Viga apoiada(IPE)	Medida da chapa recomendada	Distância horizontal dos eixos
eixos	$b_p \times t_p$	$p_3$
Até IPE 500	180 x 10 mm	90 mm
Maiores de IPE 500	200 x 12 mm	110 mm
Chapa de extremidade de altura parcial:	S275, altura mínimo $0.6xh_{b1}$ onde: $h_{b1}$ - altura da viga	
Distância vertical de centros de parafusos	$p_1 = 80$ mm	
Distância de centro da ultima linha de parafuso a extremidade	$e_1 = 45$ mm	
Distância de centro da ultima linha de parafuso a bordo	$e_2 = 45$ mm	

#### 4.1.9 Dimensionamento

A ligação rotulada com chapa de extremidade de altura parcial tem uma resistência ao corte vertical de cerca de 50% a 70% da viga.

Se as geometrias do padrão/standart apresentas na Figura 4-6 e Tabelas 4-3 e 4-4, forem respeitadas, a resistência da ligação ao corte é geralmente garantida:

- Para os parafusos flowdrill: na alma da viga ao corte, (verificação 4) ou nos parafusos ao corte (verificação 8) nas Tabelas de verificação em anexo B.
- Para parafusos hollo: na alma da viga ao corte (verificação 4) ou na chapa de extremidade ao corte (verificação 9) nas Tabelas de verificação em anexo B.

Para ligação rotulada com chapa de extremidade de altura parcial existe basicamente duas fases:

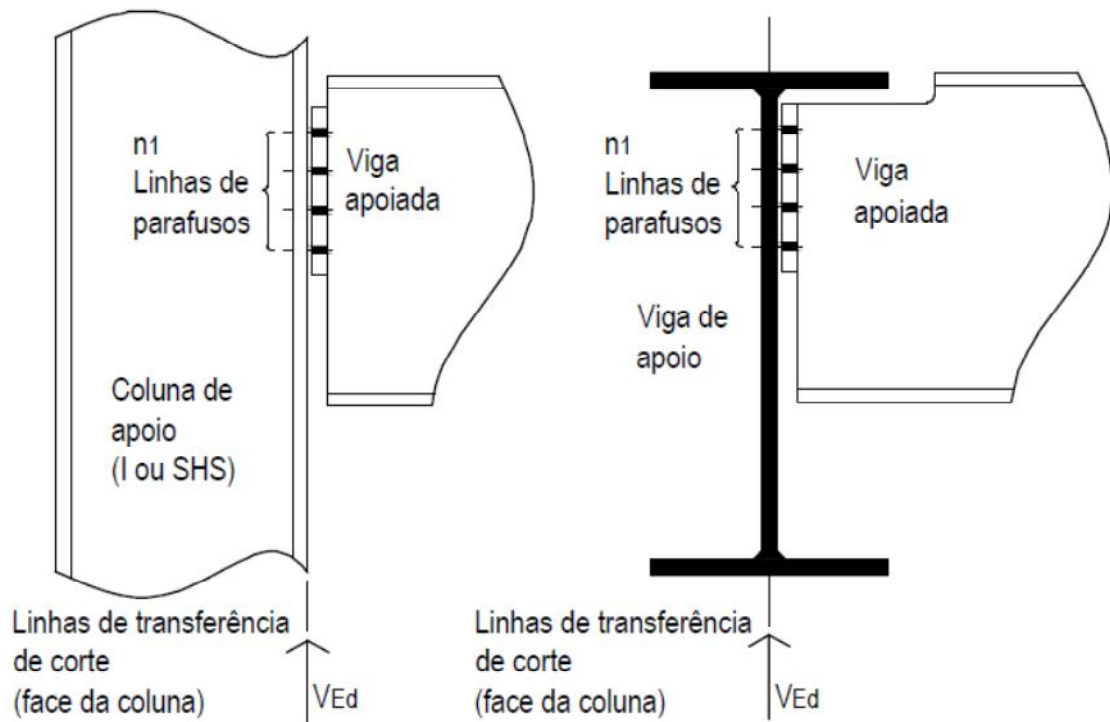
- (1) A rotação sem impedimento na ligação, até que,
- (2) O banzo inferior da viga apoia-se no apoiar.

#### 4.1.10 Procedimento de dimensionamento para ligações com chapa de extremidade de altura parcial

Os procedimentos de dimensionamento utilizados são de acordo com a prática de dimensionamento do Eurocodigo3 parte 1-8<sup>[14]</sup> e baseiam-se na viga simplesmente apoiada e montada.

O procedimento de dimensionamento é aplicado para ligação a banzo de coluna, alma da viga apoiada ou coluna de secção tubular.





Verificação 1	Recomendações de detalhamento para aplicação prática	
Verificação 2	Viga apoiada	- Soldadura
Verificação 3	Não aplicável	
Verificação 4	Viga apoiada	- Alma ao corte
Verificação 5	Viga apoiada	- Resistência no entalhe
Verificação 6	Viga apoiada	- Estabilidade local da viga com entalhe
Verificação 7	Viga apoiada não restringida	- Estabilidade local da viga com entalhe
Verificação 8	Ligação	- Grupo de parafusos
Verificação 9	Ligação	- Chapa de extremidade ao corte
Verificação 10	Viga/Coluna de apoio	- Corte e Flexão
Verificação 11	Resistência a tração	- Chapa e Parafusos
Verificação 12	Resistência a tração	- Alma da viga apoiada
Verificação 13	Resistência a tração	- Soldaduras
Verificação 14	Resistência a tração	- Alma da coluna de apoio (IPE ou HEB)
Verificação 15	Resistência a tração	- Alma da coluna de apoio (Secção Tubular)
Verificação 16	Não aplicável	

As Tabelas das verificações são apresentadas no anexo B.1.

## 4.2 Ligação rotulada com chapa de alma

### 4.2.1 Introdução

A ligação rotulada com chapa de alma (*fin plate*) consiste num comprimento de chapa soldada na fábrica no elemento de apoio para que a viga apoiada seja aparafusado no local (ver Figura 4-7)

Esta ligação é muito usada, por ser uma das ligações mais rápidas para montar e superar o problema de parafusos comuns nas ligações de duas faces.

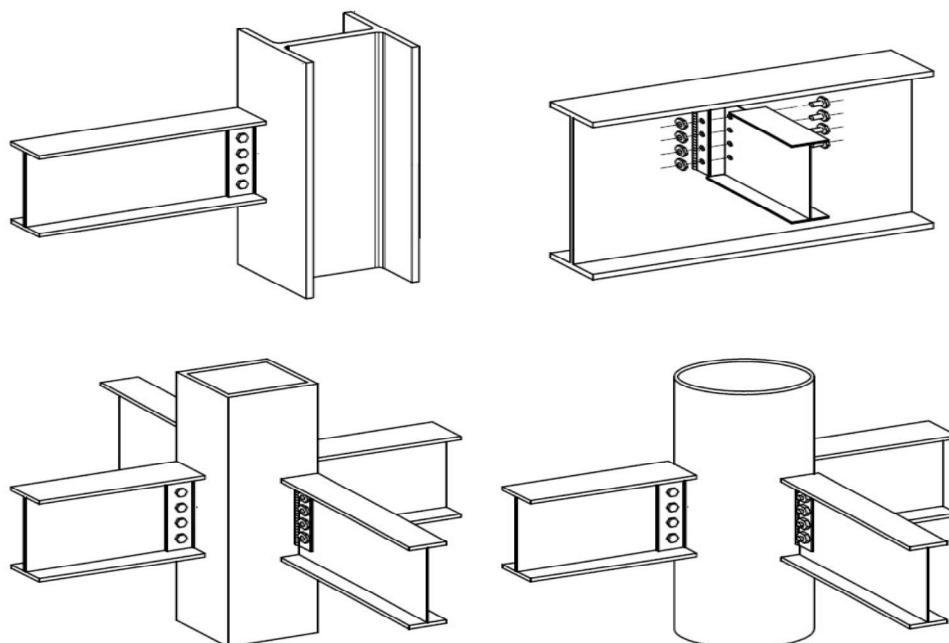


Figura 4.7- Ligação rotulada com chapa de alma

### 4.2.2 Considerações práticas

A chapa de alma é feita, geralmente, com chapa de 10 mm de espessura; uma soldadura de ângulo com 8 mm é considerada adequada para impedir a rotura de soldadura.

Geralmente, a ligação deve ser feita com a alma da viga apoiada no eixo do elemento de apoio, e chapa de alma em contenção como mostra a Figura 4-8.

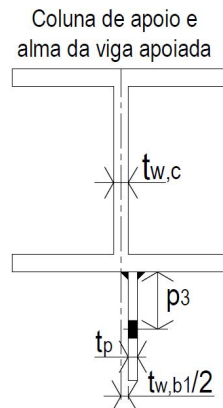


Figura 4.8 - Fixação de chapa de alma

### 4.2.3 Chapa de alma curta e longa

A chapa de alma pode ser classificada como curta ou longa como se segue:

$$\text{Curta:} \quad \frac{t_p}{z_p} \geq 0.15 \quad (24)$$

$$\text{Longa:} \quad \frac{t_p}{z_p} < 0.15 \quad (25)$$

Onde:

$z_p$  - distância entre a face exterior de elemento de apoio e a primeira linha de parafusos

Se a chapa curta é usada para ligação na alma da coluna (eixo fraco), a montagem pode ser difícil. Nestas situações, é comum remover a metade do banzo inferior da viga, para permitir acertar a posição da viga, como se mostra na Figura 4-9.

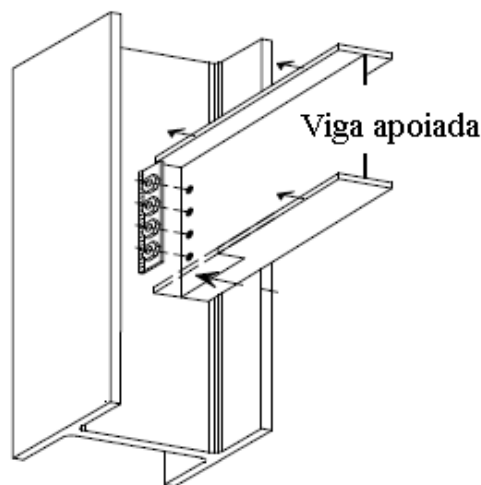


Figura 4.9 - Detalhe para facilitar a montagem

Se a viga não é lateralmente restringida, chapas de alma longas podem comportar-se de uma forma extremamente complexa, porem não é aconselhável usar nas vigas não restringidas lateralmente, a menos que o seu desempenho satisfatório é comprovado por meio de ensaios.

#### 4.2.4 Requisitos de dimensionamento para a capacidade de rotação

Com o objetivo de permitir a rotação sem aumentar demasiado o momento fletor que se desenvolve na ligação, o contacto entre a banzo inferior da viga e o elemento de apoio deve ser rigorosamente evitado. Assim, é imperativo que a altura da chapa de alma seja menor do que a da alma de viga apoiada (Figura 4-10):

$$h_p \leq 0.6d_p \quad (26)$$

Onde:  $d_p$ - é a altura de alma da viga apoiada

Se tal contato ocorrer, desenvolve-se uma força de compressão no local de contato, que é equilibrada por forças de tração nas soldaduras e na chapa, seguindo forças de corte adicionais nos parafusos.

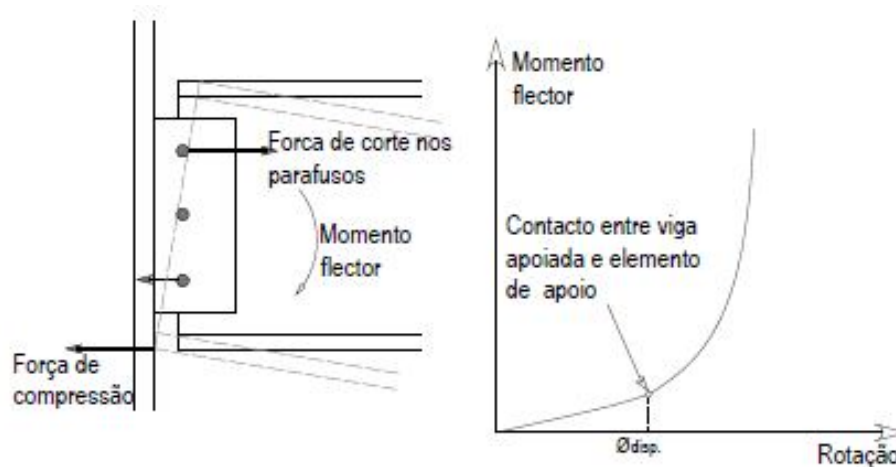


Figura 4.10 - Contacto e evolução de momento fletor

O nível de rotação em que o contato ocorre é, obviamente, dependente das características geométricas da viga e da chapa de alma, mas também sobre as deformações reais dos componentes da ligação.

Um simples critério que o projetista pode aplicar, antes de qualquer cálculo é verificar se os riscos de contato podem ser ignorados. Podem ser feitas as seguintes verificações, ver a Figura 4-11:

- O elemento de apoio e a chapa de alma permanecem indeformados;
  - O centro de rotação de viga situa-se no centro de gravidade do conjunto de parafusos.
- Com base em tais pressupostos, uma estimativa segura (isto é, um limite mínimo) da chamada "Rotação disponível da ligação"  $\varnothing_{disp}$  pode ser facilmente calculada:

$$\text{Se: } Z > \sqrt{(Z - gh)^2 + \left(\frac{h_p}{2} + h_e\right)^2} \quad \text{então } \varnothing_{disp.} = \infty \quad (27)$$

Ou:

$$\varnothing_{disp} = \arcsin\left(\frac{z}{\sqrt{(z-gh)^2 + \left(\frac{h_p}{2} + h_e\right)^2}}\right) - \arctg\left(\frac{z-gh}{\frac{h_p}{2} + h_e}\right) \quad (28)$$

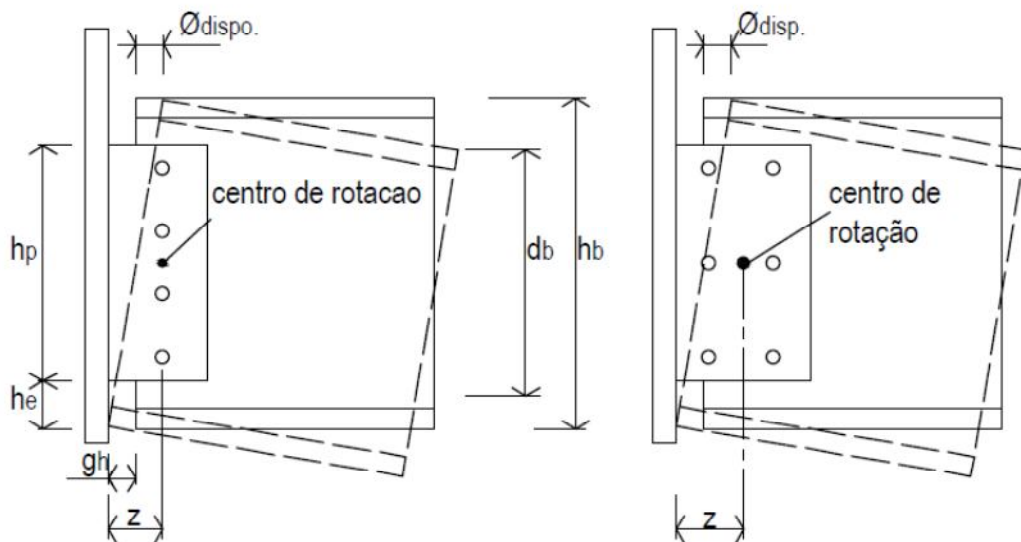


Figura 4.11 - Características geométricas da junta e da demonstração do contacto entre a viga e o elemento de suporte

Esta rotação disponível tem de ser maior do que a "capacidade de rotação necessária", que varia de acordo com o sistema estrutural e carregamento. Portanto, um critério simples para garantir a capacidade de rotação suficiente da ligação pode ser definido da seguinte forma:

$$\varnothing_{disp} > \varnothing_{nesc} \quad (29)$$

Onde:  $\varnothing_{disp}$  — é a rotação disponível

$\varnothing_{nesc}$  — é a rotação necessária

Um exemplo de três modos de rotura para uma ligação rotulada com chapa de alma é dado na Figura 4-12. A posição relativa entre as diferentes curvas de resistência ou linhas depende das características geométricas e mecânicas dos componentes da ligação.

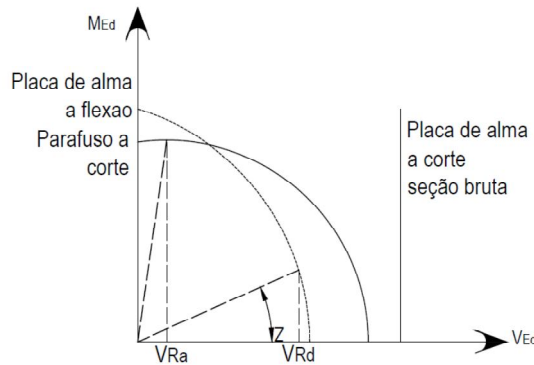


Figura 4.12 - Resistência de dimensionamento para componentes da ligação rotulada com chapa de alma e principalmente para a derivação de resistência da ligação ao corte

Na realidade, resistência real ao corte  $V_{Ra}$ , poderia ser definida na intersecção entre a trajetória real de carga na seção transversal apropriado, e as curvas de resistência de dimensionamento ou de linhas de componentes mais fracos (Figura 4-13a). O princípio semelhante é aplicado para linha de carga de dimensionamento, a resistência de dimensionamento ao esforço transversal,  $V_{Rd}$ , é então obtido.

Se o modo de rotura correspondente ao valor  $V_{RA}$  é frágil, a resistência de dimensionamento ao corte é visto como uma estimativa conservativa para resistência da ligação (Figura 4-13a). Na verdade, a única maneira de atingir a resistência de dimensionamento ao corte  $V_{Rd}$ , é contar com a redistribuição plástica de forças internas dentro da ligação, conforme mostrado na Figura 4-13b.

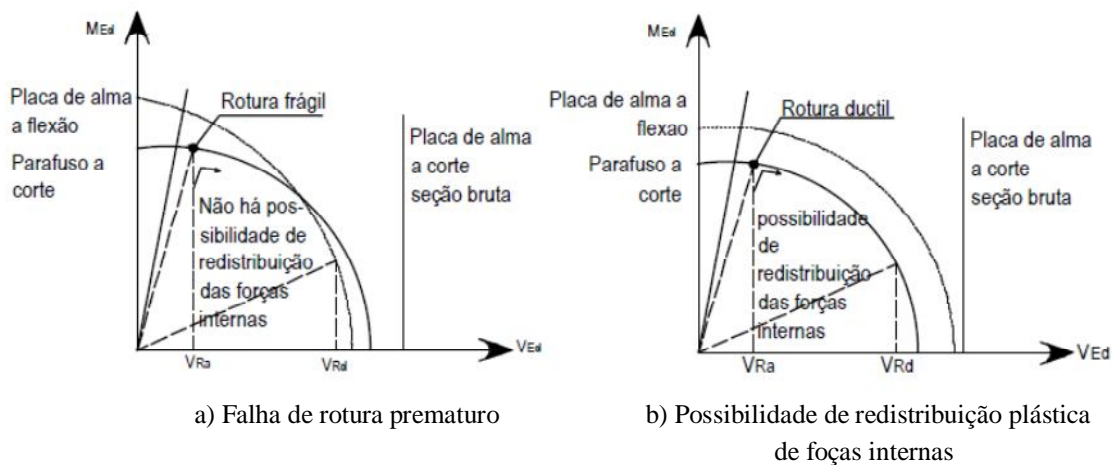


Figura 4.13 - Determinação de resistência ao corte na ligação

#### 4.2.5 Requisitos de dimensionamento para a ductilidade da ligação

A resistência de dimensionamento ao corte na ligação pode ser conseguida como um resultado de redistribuição plástica de forças internas entre os diferentes componentes da ligação. Ele requer que nenhum modo de rotura ou instabilidade local se desenvolva na ligação durante esta redistribuição. Os modos de rotura que poderiam impedir eventual redistribuição de forças internas numa ligação rotulada com chapa de alma são: Os parafusos e as soldaduras em corte devido a sua natureza frágil, e a instabilidade da chapa de alma que não são dúcteis em termos de redistribuição plásticos.

#### 4.2.6 Critério para evitar a rotura prematura da soldadura devido a forças de tração:

Um critério semelhante como o estabelecido para a ligação com chapa de extremidade é, por conseguinte, o seguinte requisito:

$$a \geq 0,4t_p \cdot \beta_w \cdot \sqrt{3} \frac{f_{yp}}{f_{up}} * \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}} \quad (30)$$

Os valores do fator de correlação  $\beta_w$  são dados na Tabela 4-2. Esta exigência pode ser verificada antes de qualquer cálculo de dimensionamento.

#### 4.2.7 Critério para permitir uma redistribuição plástica das forças internas

1. Em primeiro lugar, a obtenção da resistência de dimensionamento ao corte deve corresponder a um modo dúctil. As roturas de parafusos ao corte ou instabilidade da chapa de alma são, portanto, excluídas. O primeiro critério pode ser definido:

$$\min(V_{Rd,1}; V_{Rd,7}) > V_{Rd} \quad (31)$$

Onde:  $V_{Rd1}$  – resistência de parafuso ao corte  
 $V_{Rd7}$  – resistência de chapa encurvada  
 $V_{Rd1}$  – resistência de dimensionamento da ligação ao corte

2. Em segundo lugar, o ponto de resistência "real" também deve corresponder a um modo dúctil. De acordo com o modo de rotura obtido para as regras de dimensionamento, diferentes critérios podem ser considerados:
  - Modo de rotura de parafuso ao corte, ou instabilidade da chapa de alma  
Excluídos por primeiro critério

- Todos outros modos de rotura

Para uma linha vertical de parafuso, pelo menos uma destas duas desigualdades deve ser satisfeita:

$$F_{b,hor,Rd} \leq \min(F_{v,Rd}; V_{Rd7} \cdot \beta) \quad \text{Para a alma da viga} \quad (32)$$

$$F_{b,hor,Rd} \leq \min(F_{v,Rd}; V_{Rd7} \cdot \beta) \quad \text{Para a chapa de alma} \quad (33)$$

Para duas linhas de parafusos verticais, pelo menos uma destas três desigualdades seguintes deve ser satisfeita:

$$\max\left(\frac{1}{F_{v,Rd}^2} (\alpha^2 + \beta^2); \frac{1}{V_{Rd7}^2}\right) \leq \left(\frac{\alpha}{F_{b,ver,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\beta}{F_{b,hor,Rd}}\right)^2 \quad \text{para alma da viga} \quad (34)$$

$$\max\left(\frac{1}{F_{v,Rd}^2} (\alpha^2 + \beta^2); \frac{1}{V_{Rd7}^2}\right) \leq \left(\frac{\alpha}{F_{b,ver,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\beta}{F_{b,hor,Rd}}\right)^2 \quad \text{para chapa da alma} \quad (35)$$

$$V_{Rd6} \leq \min\left(\frac{2}{3\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} F_{v,Rd}; \frac{2}{3} V_{Rd7}\right) \quad (36)$$

3. Por fim, durante o processo de redistribuição, os "parafusos submetidos ao corte" não devem ser modo de rotura condicionante. Para evitar isso, é preciso cumprir os seguintes critérios:

- Modo de rotura de parafuso ao corte, ou instabilidade da chapa simples da ligação:  
Excluídos por primeiro critério
- Rotura da chapa ou alma da viga a flexão:

Se os dois primeiros critérios (1) e (2) são cumpridos, critério adicional não é necessário.

- Para todos os restantes modos de rotura:

$$V_{Rd,1} > \min(V_{Rd,2}; V_{Rd,8}) \quad (37)$$

Onde:  $V_{Rd,1}$  – é a resistecia de parafusos ao corte

$V_{Rd,2}$  – é a resistecia de placa de alma ao esmagamento

$V_{Rd,8}$  – é a resistecia de alma de viga ao esmagamento

Os critérios (1), (2) e (3) podem ser verificados apenas após a avaliação da resistência de dimensionamento ao corte na ligação.



### 4.2.8 Robustez

É definida tração horizontal e vertical <sup>[20]</sup>, usada para garantir um nível mínimo de robustez e para evitar o colapso desproporcional no caso de estrutura seja afetada por uma ação acidental. Quando estas forças de tração são carregadas pela estrutura principal, a qual é muitas vezes o caso, a ligação tem de ser dimensionada para suportar uma tração de tração, a qual varia consoante a classe do edifício.

A ligação rotulada com chapa de alma detalhados de acordo com a Figura 4-14 são para ter resistência ao esforço de tração que geralmente excede a sua resistência ao corte, e nesse aspeto serão normalmente necessárias verificações adicionais, para a chapa, soldadura e viga. Devem ser efetuadas as verificações locais para a coluna, particularmente nas ligações por um lado da alma ou ligações com as colunas da secção tubular, ver as verificações 14 a 16 no anexo B.

Na verificação de uma ligação para resistir às forças de tração, deve-se notar que as forças de corte são ignoradas ao verificar as reações verticais e da mesma forma, as forças verticais são ignoradas ao verificar as forças de corte, assim as forças de tração e as forças verticais nunca são consideradas como sendo atuantes simultaneamente.

### 4.2.9 Recomendações geométricas

As recomendações dos detalhes que se seguem são destinadas a assegurar flexibilidade e capacidade de rotação necessárias para a ligação se comportar como nominalmente flexível. Detalhando a ligação, os requisitos principais são os seguintes:

1. A chapa de alma é posicionada perto da parte superior do banzo, de modo a proporcionar contenção posicional;
2. A altura da chapa de alma é pelo menos 0,6 vezes a altura da viga apoiada, a fim de proporcionar à alma a retenção de torção adequados
3. A espessura da chapa de alma ou a alma da viga é:  
 $\leq 0.42d$  (por aço S355) ou  $0.50d$  (para aço S275);
4. Parafusos não pré-esforçados da classe 8.8 são usados, em furos de folga normalizada;
5. Todas as distâncias do bordo da chapa e da alma da viga devem ser pelo menos,  $2d_o$
6. A Soldadura deve ser de ângulo a resistência total (ver verificação 8 em anexo)

Os últimos quatro requisitos asseguram a ligação a capacidade de rotação necessária.

Estes requisitos, foram usados para criar padrões para as ligações mostradas na Figura 4-14 e Tabela 4-5.

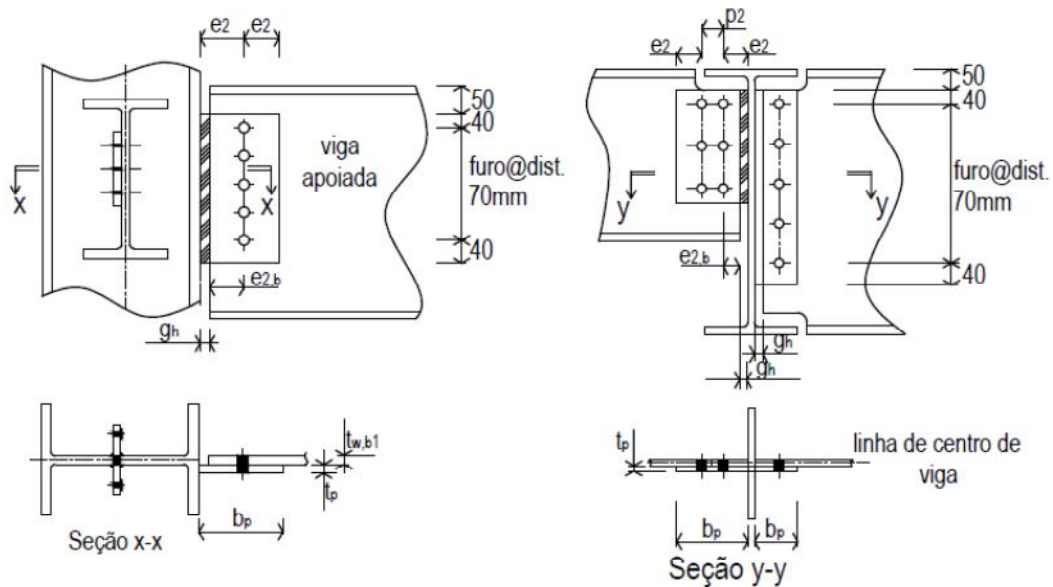


Figura 4.14 – Padrão para ligação com chapa de alma

Tabela 4.5 – Padrão para ligação com chapas de alma

Comprimento da viga apoiada	Linha vertical	Medidas da chapa Recomendada	Espaçamento horiz. de paraf. $e_2/e_2$ ou $e_2/p_2/e_2$	Gap, gh
mm	$n_2$	mm	mm	mm
$\leq 610$	1.0	100 x 10	50/50	10
$> 610^*$	1.0	120 x 10	60/60	20
$\leq 610$	2.0	160 x 10	50/60/50	10
$> 610^*$	2.0	180 x 10	60/60/60	20
Parafusos:		M20 8.8 com diâmetro de abertura 22 mm		
Chapa:		Aço S275, altura mínima $0.6xh_{b1}$		
Onde $h_{b1}$ é altura de viga apoiada/suportada				
Soldadura: Duas soldas de ângulo de 8 mm, para chapa de espessura com 10mm				
(*) Para as vigas com altura nominal até 600, a relação de comprimento e altura não é superior a 20, e a distância entre parafusos não excede a 530 mm.				

Ligações com a chapa de alma fora destas recomendações geométricas, ou com diferentes espessuras de chapa ou propriedade da classe de parafuso diferentes, não se comporta como nominalmente rotuladas. <sup>[20]</sup>

#### 4.2.10 Dimensionamento

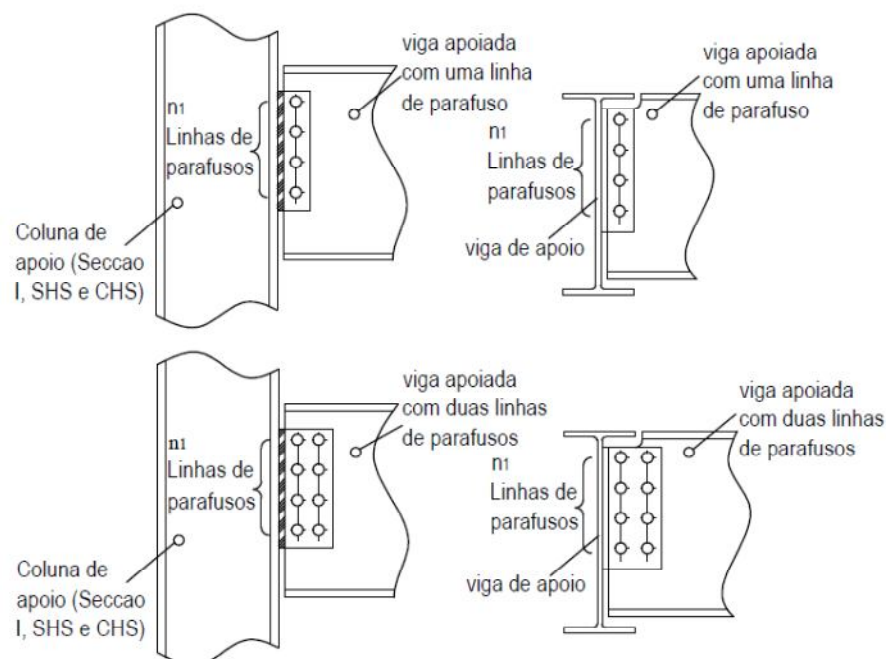
Com uma única linha vertical de parafusos, a resistência da ligação ao corte será na gama de 25% á 50% da resistência da viga ao corte. Utilizando duas linhas verticais dos parafusos faz aumentar a resistência, mas como a excentricidade da carga também aumenta, a resistência não é o dobro e o melhor que se pode obter é de cerca de 75% da resistência da viga ao corte.

#### 4.2.11 Procedimentos de dimensionamento

Os procedimentos de dimensionamento aplicam-se às vigas ligadas quer ao banzo da coluna, à alma da coluna, à alma da viga de apoio, ou às colunas de secção tubular.

Para as ligações à alma da coluna, a relação  $c_w/t_w$  da coluna deve ser limitado a  $40.\varepsilon$  para secções I, tubular quadradas e retangulares.  $d/t$  deve ser limitado a  $70.\varepsilon^2$  para secção tubular circular, onde:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{y,2}}} \quad (38)$$



---

Verificação 1	Recomendações de detalhamento para a aplicação prática	
Verificação 2	Viga apoiada	- Grupo de parafusos
Verificação 3	Viga apoiada	- Chapa de alma
Verificação 4	Viga apoiada	- Alma ao corte
Verificação 5	Viga apoiada	- Resistência no entalhe
Verificação 6	Viga apoiada	- Estabilidade local da viga com entalhe
Verificação 7	Viga apoiada não restringida	- Estabilidade local da viga com entalhe
Verificação 8	Viga ou Coluna de apoio	- Soldaduras
Verificação 9	Não aplicável	- Chapa de extremidade ao corte
Verificação 10	Viga ou Coluna de apoio	- Corte e Flexão
Verificação 11	Resistência à tração	- Chapa e Parafusos
Verificação 12	Resistência à tração	- Alma da viga apoiada
Verificação 13	Resistência à tração	- Soldaduras
Verificação 14	Resistência à tração	- Alma da coluna de apoio (IPE ou HEB)
Verificação 15	Resistência à tração	- Alma da coluna de apoio (Secção Tubular)
Verificação 16	Resistência à tração	- Alma da coluna de apoio (Secção Circular)

As Tabelas das verificações são apresentadas no anexo B.2.

### 4.3 Ligação rotulada com cantoneira de alma

A ligação com cantoneira de alma consiste em ligar dois elementos através de um par de cantoneiras que normalmente são aparafusadas no local, na alma de viga apoiada e ao elemento de apoio. Parafusos Flowdrill ou Hollo são usados para ligação a colunas da secção oca (ver Figura 4-15).

A ligação não necessita de soldadura e permite pouco ajuste no local quando se usa os parafusos não pré-esforçados em furos de folga normalizada. Também não é tão resistente como uma ligação com chapa de extremidade.

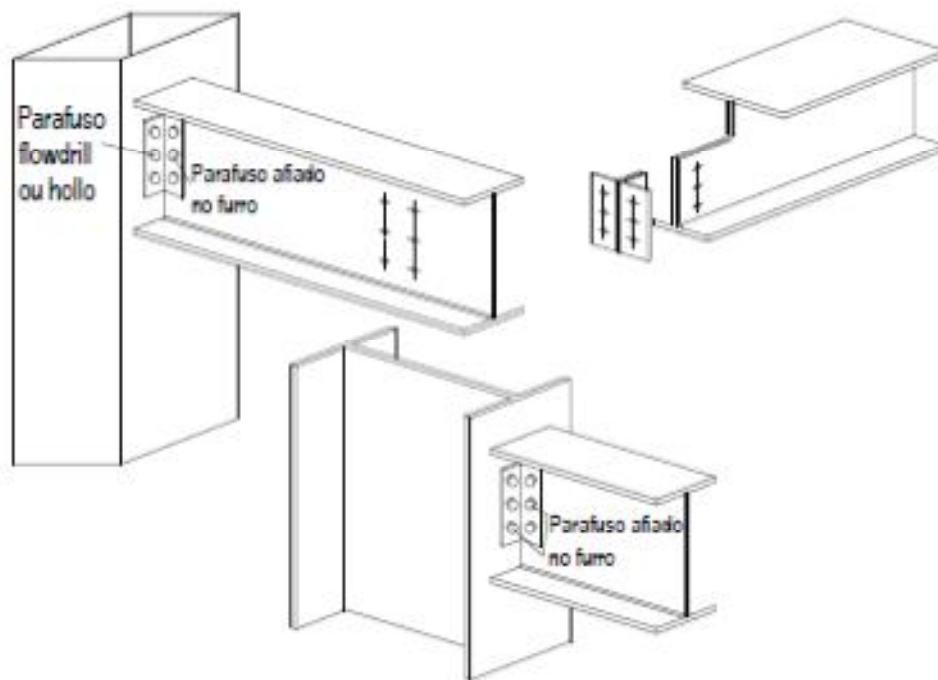


Figura 4.15 - Ligação com cantoneira: Ligação viga-coluna e viga-viga

A capacidade de rotação da ligação é limitada, principalmente, pela capacidade de deformação das cantoneiras e pelo deslizamento relativo entre as partes ligadas (ver Figura 4-16).

As cantoneiras devem ser mantidas a uma distância mínima e a distância entre centros de linhas de parafusos deve ser relativamente grande.

O momento da ligação é indeterminado, mas pequena e pode ser desprezado.

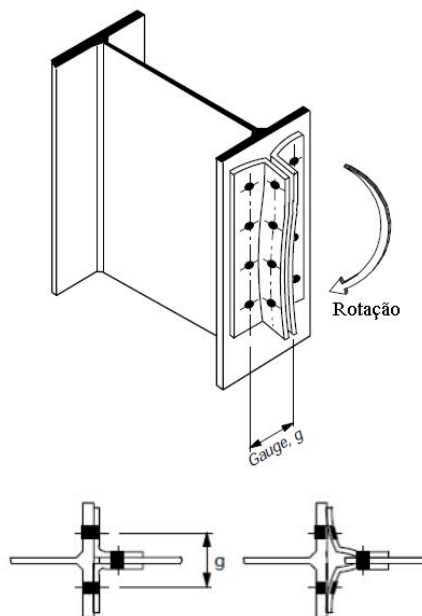


Figura 4.16 - Deformação de cantoneira

### 4.3.1 Considerações práticas

As cantoneiras são normalmente feitas para perfuração e corte, com os furos, geralmente para serem aparafusadas na viga e elemento de apoio.

Pode surgir problema de detalhe quando é para ligar vigas com espessuras de almas diferentes, em lados opostos de uma viga de apoio ou alma de coluna.

Para pequenas variações na espessura de alma os furos de parafusos normais permitem definir a medida de parafuso como normal. No entanto, uma vez que a diferença é maior do que 3 mm a distância geralmente será fixada em  $100 \text{ mm} + t_w$  baseada na viga maior, e em cantoneira, com um aumento da distância "back-marca" feita para a viga menor.

Isto, evidentemente, tem as suas inconveniências e pode conduzir a dificuldade com a identificação, especialmente se a distância *back-marca* em uma perna só varia 2 ou 3 milímetros a partir do padrão. Uma solução para este problema é a utilização de um furo ovalizado curto, tal como descrito na Figura 4-17.

### 4.3.2 Requisitos de dimensionamento para a capacidade de rotação

O comportamento de uma ligação rotulada com cantoneira de alma pode ser considerado como a combinação de comportamento da ligação rotulada com chapa de extremidade e ligação rotulada com chapa de alma. As regras e requisitos de dimensionamento podem ser simplesmente deduzidos a partir dos requisitos estabelecidos para os dois tipos de ligações.

### 4.3.3 O encaixe nos furos da ligação

Um furo ovalizado curto com a dimensão de 26 mm x 22 mm pode ser utilizado na aba da cantoneira, como consta na Figura 4-17.

A capacidade de apoio da cantoneira em torno do furo ovalizado é reduzida (ver BS 5950-1<sup>[4]</sup>, no ponto 6.3.3.3); esta verificação raramente será crítica.

Quando a ligação é aparafusada no local, deve ser usada uma anilha sobre os furos ovalizados e os parafusos devem ser bem apertados. No entanto, é preciso ter cuidado para não usar furos entalhados em situações onde a vibração ou cargas dinâmicas estão presentes o que pode levar à possibilidade de deslizamento da ligação.

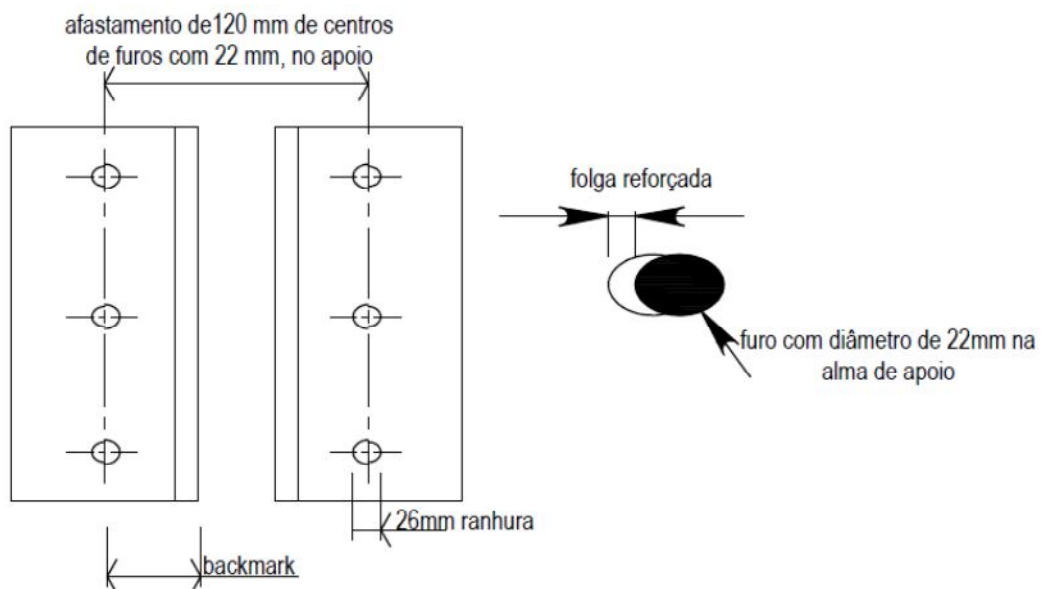


Figura 4.17 - Furos curtos de encaixe na cantoneira

#### 4.3.4 Robustez

Todas as ligações viga-pilar devem ser dimensionadas para resistir a uma força de tração de pelo menos 75kN - uma força que pode ser resistida pelo simples cantoneira.

Para edifícios de vários andares é necessário verificar a ligação para as grandes forças de tração para satisfazer os requisitos de robustez, refere BS 5950-1<sup>[4]</sup>.

1. Geralmente, ligação com cantoneira de alma será condicionada pela capacidade de resistência à força de tração, principalmente por causa de sua capacidade de aceitar grandes deformações antes da rotura. Verificação 11-15 (em anexo B.3) oferece resultados rápidos e razoáveis. Embora deve ser feita referência ao anexo B da publicação P212 de SCI and BCSA, 2012de<sup>[19]</sup>, se for necessário uma abordagem mais rigorosa.

Se uma ligação normal não é capaz de transmitir grandes forças de tração, então a capacidade adicional pode ser alcançada através de aumento da espessura das cantoneiras e / ou reduzindo a distância entre os parafusos no elemento de apoio. No entanto, nestes casos, deve-se considerar o aumento da rigidez de rotação da ligação.

A força de tração deve ser considerada isolada e não simultaneamente com as outras cargas.

As resistências à tração para a robustez são menos do que aqueles para o dimensionamento normal. Pode-se considerar as resistências mostradas na Tabela 7-5 e 7-6 no anexo A

#### 4.3.5 Recomendações geométricas

Os procedimentos de dimensionamento seguintes são uma série de detalhes recomendados que se destinam a atingir a ductilidade necessária para a ligação.

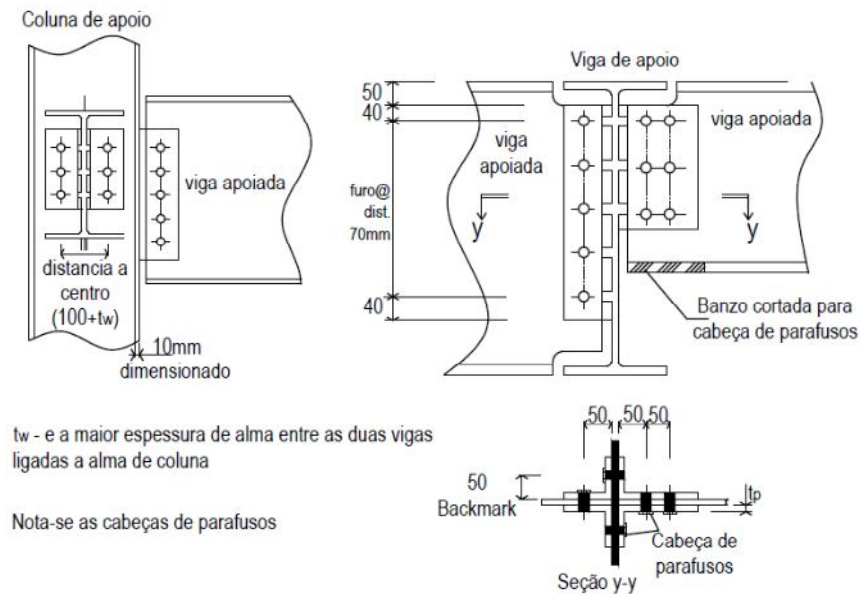
Para esta ligação, os principais requisitos são os seguintes:

- i. As cantoneiras são posicionadas perto de banzo superior, a fim de proporcionar contenção posicional;
- ii. As cantoneiras são de pelo menos 0,6 x a altura da viga apoiada de modo a proporcionar a viga a contenção de torção adequada;
- iii. As espessuras são relativamente finas (8 mm ou 10 mm);
- iv. Os parafusos de elemento de apoio devem ter a distância razoável de centros de eixo (100 mm + espessura da alma da viga).

Os dois últimos requisitos garantem a ductilidade suficiente para classificar a ligação como rotulada.

Estes requisitos, em conjunto com a geometria do padrão, têm sido utilizados para criar a 'padrão da ligação' mostrada na Figura 4-18 e Tabela 4-6.





Ligação Viga-Coluna

Ligação Viga-Viga

Figura 4.18- Medidas padrão para a ligação rotulada com cantoneira de alma

Tabela 4.6 - Medidas padrão para a ligação rotulada com cantoneira de alma

Medidas recomendadas	Linha vertical de parafusos
Cantoneira 90 x 90 x 10	1
Cantoneira 150 x 90 x 10	2
Parafusos: M20 classe 8.8 com furo de 22mm de diâmetro	
Cantoneiras: Aço S275, altura mínimo é $0.6h_{b1}$ , onde $h_{b1}$ é a altura da viga apoiada	
Nota: para secções I menores de 450mm de altura, é habitualmente usada cantoneira de 90x90x8 mm, para secções I superiores a 450 mm de altura é recomendada cantoneira 90 x 90 x12 mm, quando o corte na perna da cantoneira é crítica. É recomendado o uso de cantoneira de 10mm para as ligações normais.	

### 4.3.6 Dimensionamento

Com uma única linha vertical de parafusos na alma da viga, o que pode ser melhor obtido a partir de uma ligação com cantoneiras de alma, é uma capacidade ligação ao corte cerca de

50% da resistência da viga ao corte. Com duas linhas verticais de parafusos poderão aumentar este valor até um máximo de 75%, devido ao aumento da excentricidade da carga de dimensionamento, o benefício adicional é desproporcional em relação aos parafusos utilizados. Para uma configuração tal como é mostrada na Figura 4-18, a capacidade de resistência ao corte para a ligação com uma linha vertical de parafusos é geralmente condicionada por esmagamento do parafuso na alma da viga apoiada (Verificação 4). A rotura de bloco ao corte na alma da viga pode também ser crítica (Verificação 4).

A Verificação 3, referente à capacidade da aba da cantoneira ao corte, geralmente torna-se o modo crítico na viga com maior dimensão, ainda quando a ligação é feita com duas linhas verticais de parafusos. Se for necessária a capacidade extra nestes casos, a cantoneira com 150 x 90 x 12 mm pode ser a solução. Isto irá aumentar a rigidez de rotação da ligação, mas não será prejudicial.

#### 4.3.7 Procedimento de dimensionamento

Qualquer análise de equilíbrio simples é adequada para dimensionamento.

O modelo de dimensionamento assume que as cantoneiras se deformam como as extremidades da viga, o momento devido a excentricidade da força é resistida pelo grupo de parafuso na viga apoiada. O processo aplica-se ao dimensionamento das vigas ligadas ao banzo ou alma de uma coluna, a parede de uma coluna de secção tubular ou à alma de uma viga de apoio.

Verificação 1	Recomendações de detalhamento para a aplicação prática	
Verificação 2	Viga apoiada	- Grupo de parafusos
Verificação 3	Viga apoiada	- Elemento de ligação
Verificação 4	Viga apoiada	- Resistência de ligação
Verificação 5	Viga apoiada	- Resistência no entalhe
Verificação 6	Viga apoiada	- Estabilidade local da viga com entalhe
Verificação 7	Viga apoiada não restringida	- Estabilidade global da viga com entalhe
Verificação 8	Viga ou Coluna de apoio	- Grupo de parafusos
Verificação 9	Viga ou Coluna de apoio	- Elementos de ligação
Verificação 10	Viga ou Coluna de apoio	- Resistência local
Verificação 11	Robustez	- Elemento de ligação
Verificação 12	Robustez	- Viga apoiada
Verificação 13	Robustez	- Tração nos grupos de parafusos
Verificação 14	Robustez	- Alma da coluna de apoio (IPE ou HEB)
Verificação 15	Robustez	- Parede de coluna de apoio (Secção Tubular)
Verificação 16	Não aplicável	

## 4.4 *Ligação Rotulada com chapa na base da coluna*

### 4.4.1 Introdução

As bases de coluna, como as ilustradas na Figura 4-19, são constituídas por uma chapa de base soldada à coluna e ligada à fundação, com parafusos denominados por chumbadouros. Os parafusos são lançados na base de betão em tubos de localização ou cones e estão equipados com chapas de ancoragem para evitar o arrancamento. A argamassa de alta resistência é injetada para colmatar o espaço por baixo da chapa.

Tais bases de colunas são geralmente assumidas como estando a zonas sujeitas à compressão axial e corte.

No entanto, a rotação deve ser considerada em baias da base da coluna.

A chapa de base deve ter a capacidade suficiente em termos de rigidez e resistência para transmitir a força axial de compressão de coluna para a fundação, sem exceder a resistência local a esmagamento na fundação.

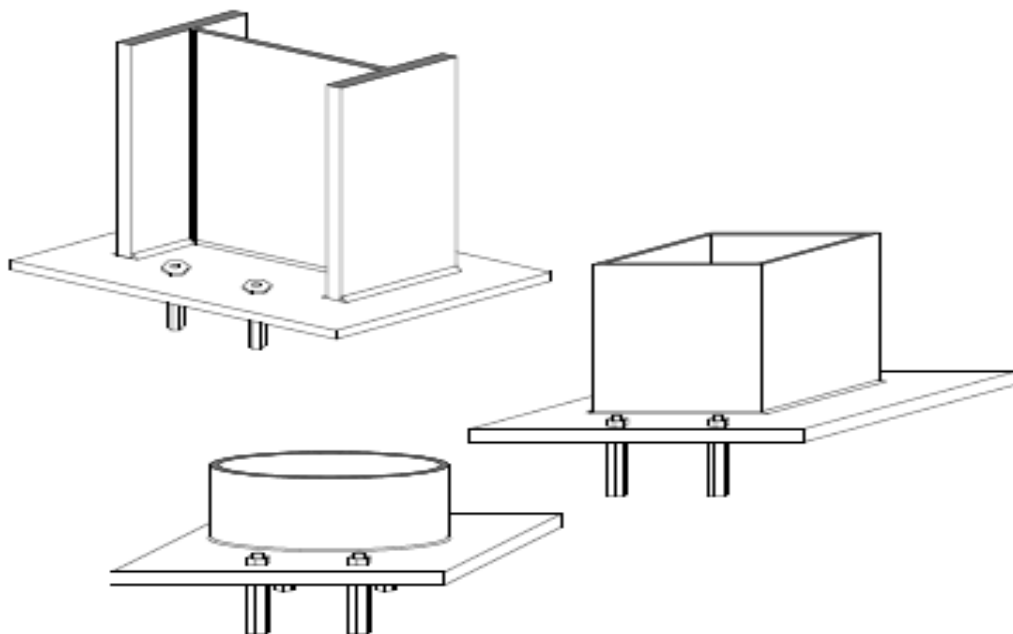


Figura 4.19 – Bases da Coluna

A chapa de base quadrada ou retangular simples é usada quase universalmente para colunas de construção simples.

Esta prática tem sido seguida com sucesso para bases dos pórticos sujeitas aos esforços de cortes significativos.

O esforço de corte entre a extremidade da coluna e da chapa de base pode ser transmitido por atrito ou por soldadura entre a coluna e a chapa de base. As soldaduras podem ser executadas só na alma, ou em torno dos banzos do perfil. A resistência da soldadura é geralmente mais do que adequada para as pequenas forças de corte.

As bases das colunas podem ser consideradas flexíveis desde que sejam satisfeitas as seguintes condições:

- nos pórticos em que o sistema de contraventamentos reduz o deslocamento horizontal em pelo menos 80% e em que os efeitos das deformações poderão ser desprezados;

$$\text{- se } \lambda_0 \geq 0.5 \quad (39)$$

$$\text{- se } 0,5 \geq \lambda_0 \text{ e } S_{j,ini} \leq 7(2\lambda_0 - 1)E \frac{I_c}{L_c} \quad (40)$$

$$\text{- nos outros casos } S_{j,ini} \leq 30E \frac{I_c}{L_c} \quad (41)$$

Em que:

$\lambda_0$  – esbelteza de uma coluna cujas extremidades se admitem articuladas;

$I_c$  – momento de inércia da secção de elemento de apoio;

$L_c$  – altura de elemento apoiado

#### 4.4.2 Identificação dos componentes ativos

Na identificação dos componentes ativos nas ligações com chapa na base devem ser considerados os mais relevantes para a avaliação da resistência, rigidez e ductilidade. Sendo o seu comportamento influenciado pelas características da chapa de base.

Os elementos constituintes dos componentes agrupam-se em:

##### a) Pilares:

Os pilares devem ser providos da chapas de base com capacidade para distribuir as forças de compressão nas zonas comprimidas do pilar por uma superfície de apoio tal que a tensão exercida sobre a fundação não exceda a resistência de cálculo da superfície de contacto.

##### b) Chapas de Base

As chapas de base são dimensionadas de acordo com o 6.2.8.2 da EN 1993-1-1<sup>[14]</sup> para resistirem à compressão transmitida pelo pilar e aos momentos fletoras existentes na base do

pilar, ao atrito da ligação entre a chapa de base e seu apoio, ao corte dos dispositivos de ancoragem e ao corte na parte circundante da fundação.

Apresentam geralmente forma retangular com dimensões definidas por cálculo, ligadas à base da coluna por soldaduras e aparafusadas à fundação através dos dispositivos de ancoragem ou chumbadouros.

São aplicadas com os furos ligeiramente sobredimensionados, com anilhas espessas para permitir a translação da base do pilar.

A chapa de base é geralmente em aço S275 ou S355. A maioria das chapas tem uma superfície de apoio suficientemente plana.

### **c) Soldadura**

A principal função da soldadura é manter o eixo da coluna de forma segura em relação à chapa de base e assegurar a estabilidade da coluna em qualquer condição temporária.

As soldaduras de ângulo são geralmente de 6 mm ou 8 mm, geralmente ao longo da face exterior dos banzos e por um pequeno troço de cada lado da alma. Soldaduras completas de perfil são geralmente usadas apenas caso sejam necessárias resistências complementares durante a montagem ou como medida anticorrosiva.

### **d) Parafusos de tipo chumbadouros**

Conforme a publicação P358, do CSI e BCSA<sup>[20]</sup>, parafusos tipo chumbadouros são fabricados normalmente de acordo como BS 7419<sup>9</sup> que abrange:

- a) Parafusos com cabeça quadrada,
- b) Parafusos com cabeça sextavada

O parafuso incorporado no betão será geralmente na ordem de 16 a 18 diâmetros.

Não é uma boa prática utilizar diferentes parafusos de diferentes classes num local, a menos que os parafusos sejam fisicamente diferentes em comprimento ou diâmetro, pois a confusão pode levar facilmente o uso incorreto de parafusos embebidos na fundação. Parafusos M20 são frequentemente utilizados, embora parafusos M24 sejam recomendados para chapas de bases com espessuras até 50 mm, aumentando a M36 para chapas de base com espessuras maiores de 50 mm.

**e) Tamanhos de furos e anilhas**

A folga nos furos na chapa de base deve ser 6 mm maior que o diâmetro do parafuso, para permitir o ajustamento; para as chapas de bases com as espessuras maiores que 60 mm, esta medida pode ser aumentada.

Anilhas são necessárias nas porcas; podem ser normais ou alternativamente, podem ser feitas a partir de chapa.

**f) Tubos de localização**

Normalmente, os parafusos são colocados em tubos de localização (geralmente de malha de arame) ou cones (geralmente papelão). O diâmetro do tubo ou os topos dos cones devem ser de pelo menos 100 mm, ou 3 vezes o diâmetro do parafuso. A porção roscada dos parafusos deve ser protegida durante a operação da betonagem.

Os parafusos são ocasionalmente embebidos solidamente no betão através de pós instalação. No entanto, isso não é recomendado. Os parafusos devem ser, geralmente, localizados com precisão e não há oportunidade para o ajustamento subsequente.

**g) Base de fundação**

As colunas são normalmente fixadas nos maciços de betão, sobre uma chapa de base que fica permanentemente na posição.

Apoios de aço colocados em torno das bordas da chapa de base também são necessários para assegurar a estabilidade durante a montagem.

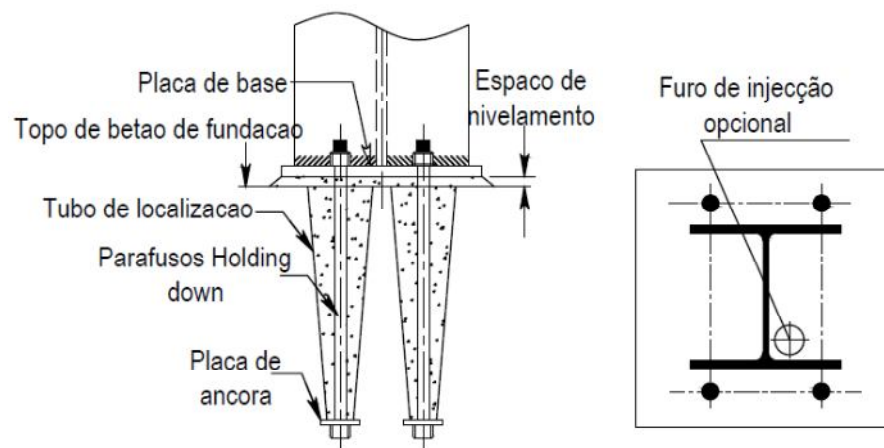


Figura 4.20 - Base de coluna e Parafusos

### 4.4.3 Resistência do betão

O EN 1993-1-8, oferece o valor de cálculo da resistência a compressão localizada na ligação  $f_{jd}$  deverá ser determinado com base em:

$$f_{jd} = \beta_j F_{Rdu} / (b_{eff} \cdot l_{eff}) \quad (42)$$

Onde:

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

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

$$(b_{eff} = t_f + 2c) \quad (43)$$

$$(l_{eff} = h + 2c) \quad (44)$$

$b_{eff}$  – largura efetiva

$l_{eff}$  – comprimento efetivo

$b_c$  – largura de banzo

$t_f$  – espessura do banzo da coluna;

A pressão na superfície de apoio não deverá exceder o valor de cálculo da resistência à compressão localizada  $f_{jd}$  e a largura de apoio adicional,  $c$ , não deverá exceder:

$$c = t_f [f_y / (3f_{jd} \gamma_{M0})]^{0.5} \quad (45)$$

em que:

$f_y$  tensão de cedência do material do banzo da coluna

Pode supor-se que, para dimensionamento inicial, a carga de dimensionamento ao esmagamento  $f_{cd}$  é igual a força de dimensionamento à compressão, embora a carga de dimensionamento ao esmagamento depende também da geometria física da fundação.

Tabela 4.7 - Resistência de betão

<b>Classe de Betão (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistência Cilíndrica (N/mm<sup>2</sup>) <i>fck</i></b>	<b>Resistência Cubica (N/mm<sup>2</sup>) <i>Fck,cube</i></b>
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	30	45
C40/50	40	50

Para fins de dimensionamento deve ser utilizada menor a resistência entre argamassa e o betão de fundação. Na maioria das situações o dimensionamento irá basear-se na resistência de betão da fundação pois, em geral a resistência da argamassa é maior.

#### 4.4.4 Afastamento da chapa de base

No contacto entre a parte superior da fundação e a chapa de base recomenda-se uma espessura de argamassa de selagem de 25 mm e 50 mm.

Isto dá um acesso razoável para a caixa de parafuso que é necessária para prevenir a corrosão e para encher completamente o espaço por baixo da chapa de base; também é a medida razoável para tolerância.

Nas bases de betão com medidas de 700 mm × 700 mm ou mais, os furos de 50 mm de diâmetro na argamassa devem ser feitos para permitir a saída do ar aprisionado e também para a inspeção.

Os furos devem ser feitos para cada 0,5 m<sup>2</sup> de área de base. Se é de esperar a colocação do cimento através desses furos, em seguida, o diâmetro deve ser aumentado para 100 mm.

#### 4.4.5 Recomendações geométricas

Não há requisitos específicos para detalhamento da ligação com chapa na base da coluna, embora, na prática, existem três considerações principais<sup>[20]</sup>:

- I. As dimensões da chapa devem ser suficiente para distribuir as cargas da estrutura para a fundação e para acomodarem a operação de fixação dos parafusos;



- II. A base deve ser suficientemente robusta para suportar as cargas resultantes de vento durante a montagem, falta de verticalidade e carregamento assimétrico.
- III. As dimensões de ajuste para a operação de fixação de parafusos devem ser de forma regular e de geometria simples.

Na prática é frequente para a base da coluna a dimensão de pelo menos 100 mm maior do que a envolvente de secção da coluna, com uma espessura maior ou igual a espessura do banzo da coluna e, com quatro parafusos tipo chumbadouro posicionados de forma a melhor facilitar a rotação de ligação.

Dimensões da chapa de base são geralmente arredondadas para o múltiplo de 50 mm.

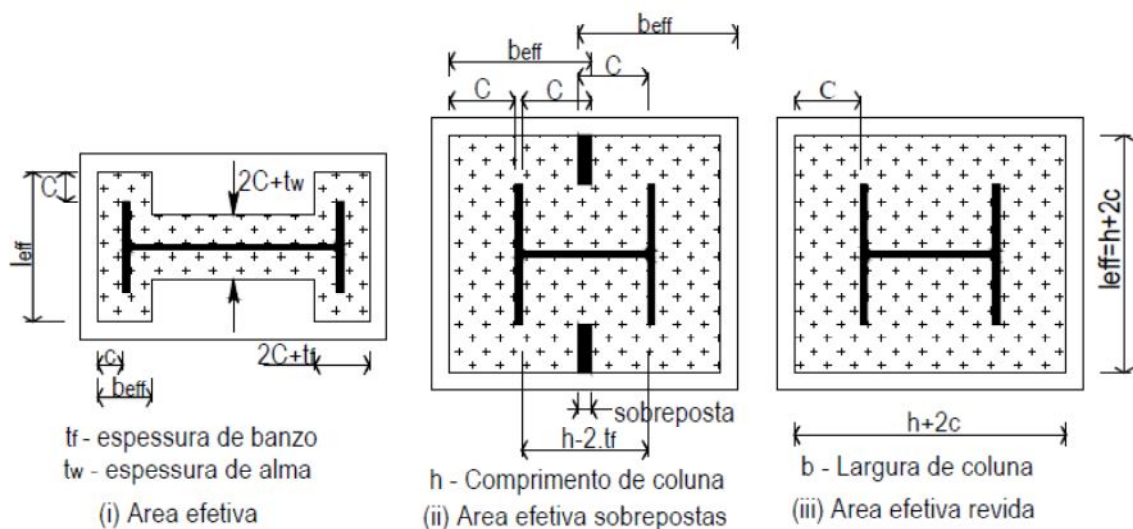


Figura 4.21 - Cálculo de área efetiva

#### 4.4.6 Dimensionamento

O procedimento de dimensionamento para a ligação com chapa de base é baseado na EN 1993-1-8<sup>[14]</sup> e segue uma abordagem baseada na área efetiva. O procedimento abrange o dimensionamento de bases sob compressão axial<sup>[20]</sup>.

O processo é o seguinte:

- i. Encontrar a área requerida,  $A_{req}$ .
- ii. Determinar a área eficaz,  $A_{eff}$ , em termos de largura de dimensionamento a partir do perfil de aço,  $c$ .

- iii. Igualando  $A_{req}$  e  $A_{eff}$ , calcula-se a dimensão  $c$ .
- iv. Calcular a espessura da chapa necessária, assumindo que a largura do dimensionamento  $c$  é um braço uniformemente carregado

#### 4.4.7 Método da área efetiva

Supõe-se que a tensão de apoio sobre a área efetiva é uniforme e que a chapa atua como um simples braço de suporte em torno do perímetro. A área efetiva é uma largura constante  $c$  em ambos os lados de cada banzo e da alma, tal como ilustra na Figura 4-21 para uma secção I laminado.

A largura  $c$  de dimensionamento ilustrada na Figura 4-21i é o mínimo necessário para garantir que a tensão na base não exceda a resistência de dimensionamento ao esmagamento, numa resistência elástica da chapa de base.

Em algumas circunstâncias, pode-se verificar que a dimensão  $c$  torna-se tão grande que as distâncias entre os banzos do pilar, como é mostrado na Figura 4-21ii, isto é,  $c > (h - 2t_f) / 2$

A área de sobreposição não pode ser contabilizada a dobrar se intersectam, de modo que a área efetiva deve ser recalculada, ver a Figura 4-21 iii.

Para as colunas de secção tubular, o procedimento de dimensionamento é semelhante ao apresentado na Figura 4-22. Para dimensionamento interno de sobreposições do centro da secção a área efetiva de reajuste deve ser recalculada de uma maneira semelhante à da secção aberta.

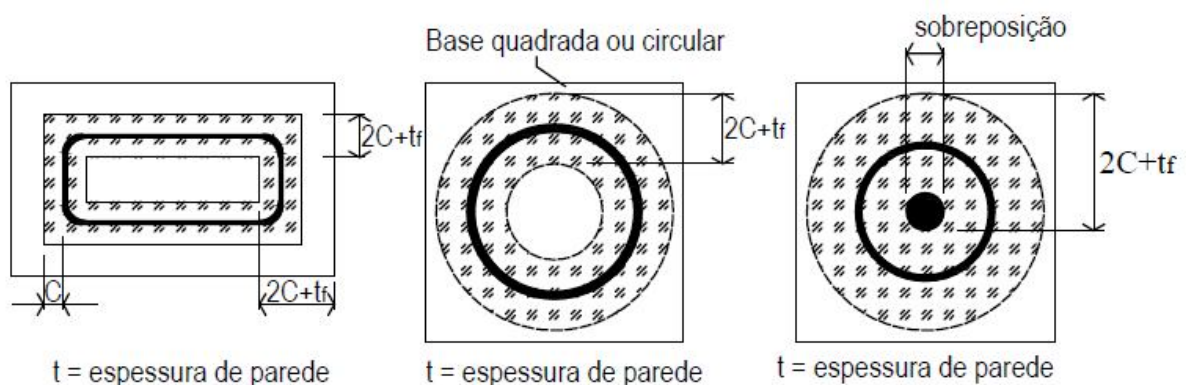


Figura 4.22- Cálculo da área efetiva para seções tubulares

---

Embora a área a sombreado represente a área de chapa de base teoricamente necessária, a área total da chapa pode ser maior, para encontrar dimensões para acomodar os parafusos.

#### 4.4.8 Procedimentos de dimensionamento

Os modelos de dimensionamento mostrados na Figura 4.21 são apropriados para seções I e figura 4.22 são apropriados para seções tubulares, as verificações detalhadas são as seguintes:

- Verificação 1 – Área necessária
- Verificação 2 – Área efetiva
- Verificação 3 – Espessura da chapa
- Verificação 4 – Soldaduras

**Nota:** A ligação rotulada com chapa na base da coluna, não consta na Tabela de pré-qualificação no anexo C, mas, no anexo B.4 encontram-se todas as verificações necessárias para o seu dimensionamento.

## 5 Tabelas de cálculo - notas explicativas

Para os cálculos e verificações das ligações estudadas foram criadas folhas de cálculos automático no Excel, para cada tipologia e respectivas configurações.

A folha de cálculo tem todas as verificações de dimensionamento necessário:

Para ligação rotulada com chapa de extremidade – na secção 4.1.10

Para ligação rotulada com chapa de alma – na secção 4.2.11

Para ligação rotulada com cantoneira de alma – secção 4.3.7

Para ligação rotulada com chapa na base – na secção 4.4.8

A utilização da folha de cálculo divide – se em duas etapas:

I. Introdução de dados

II. Cálculos de dimensionamento e resultados

### 5.1 Introdução de dados

Para facilitar a introdução de dados, foi criada uma folha designada “Base” onde constam os dados de todos os perfis utilizados (e não só) na presente dissertação (dados extraídas da Tabelas ARBED), Tabelas de propriedades de aços, propriedades de parafusos, resistências das soldaduras e pode ser consultada em caso de qualquer dúvida.

As Tabelas de introdução de dados, foram elaboradas conforme as necessidades das tipologias e configurações. Em termos gerais, a Tabela de introdução de dados está dividida em 4 tipos distinguidos em cores:

- Verde escura – pode-se definir os perfis (secções I, H, tubulares quadradas e circulares), classe dos aços e dos parafusos
- Branca - procurados automaticamente pelo programa (altura, largura, espessura de banzo, espessura de alma, raio de giração, altura de alma), tensão de cedência e tensão última de aço.
- Verde clara – pode variar, mais dificilmente porque são padrões definidas para cálculos de respetivos modelos ou configurações, isto é espaçamento entre parafusos ( $p$ ), espessura de chapa ( $t_p$ ), distância de extremidade de chapa e da viga apoio ( $e_1$ ,  $e_t$ ), distância de bordo de chapa e de viga ( $e_2$ ,  $e_3$ ), e coeficientes.
- Amarela – são constantemente variadas, para acertar alturas e largura da chapa, número de parafusos por linha, número de linhas de parafusos e cargas aplicadas.

A título de exemplo é apresentada Tabela de introdução de dados na folha de cálculo de tipologia ligação rotulada com chapa de extremidade, configuração viga-viga:

**Tabela 5.1- Tabela de dados de introdução**

Viga 1		Viga 2		Viga Apoio	
Perfil =	IPE 100 S275	Perfil =	IPE 550 S275	Perfil=	HE 700 B S355
fy=	275 N/mm <sup>2</sup>	fy=	275 N/mm <sup>2</sup>	fy=	355 N/mm <sup>2</sup>
fu=	410 N/mm <sup>2</sup>	fu=	410 N/mm <sup>2</sup>	fu=	470 N/mm <sup>2</sup>
h1 =	100 mm	h2 =	550 mm	h=	700 mm
b1 =	55 mm	b2 =	210 mm	b=	300 mm
tw1 =	4,1 mm	tw2 =	11,1 mm	tw=	17 mm
tb1 =	5,7 mm	tb2 =	17,2 mm	tb=	32 mm
r =	7 mm	r =	24 mm	r=	27 mm
hw =	88,6 mm	hw =	515,6 mm	hw=	636,0 mm
dnt =	50,0 mm	dnt =	50,0 mm		
Chapa		Chapa		Coeficientes:	
hp1=	480 mm	hp2=	430 mm	ymo =	1,00
bp1=	100 mm	bp1=	100 mm	ym1 =	1,25
tp1=	10,0 mm	tp2=	10,0 mm	ym2 =	1,25
Ved(% KN) =	0,50 kN	Ved =	0,50 kN		
n=	4,0 camadas	n=	2,0 camadas		
n1 =	4,0 Parafusos	n1 =	2,0 Parafusos		
Parafusos		Parafusos			
classe	M20, 8.8	classe	M20, 8.8		
av =	0,6	av =	0,6		
fyb =	640,0 N/mm <sup>2</sup>	fyb =	640,0 N/mm <sup>2</sup>		
fub =	800,0 N/mm <sup>2</sup>	fub =	800,0 N/mm <sup>2</sup>		
As =	245,0 mm <sup>2</sup>	As =	245,0 mm <sup>2</sup>		
d =	20,0 mm	d =	20,0 mm		
d0 =	22,0 mm	d0 =	22,0 mm		
p =	70,0 mm	p =	70,0 mm		
fu,p=	410,0 N/mm <sup>2</sup>	fu,p=	410,0 N/mm <sup>2</sup>		
e1 =	40,0 mm	e1 =	40,0 mm		
e2 =	40,0 mm	e2 =	40,0 mm		
p3 =	90,0 mm	p3 =	90,0 mm		
Soldadura		Soldadura			
s=	6,00 mm	s=	8,00 mm		

## 5.2 Cálculos e resultados

Todos os cálculos são feitos automaticamente e os resultados estão devidamente marcados a azul.

As verificações estão programadas para apresentarem resultados automáticos, com fundo verde para resultados que satisfazem as condições, caso contrário apresenta fundo vermelho (ver exemplo na Tabela 5.2).

A título de exemplo, é apresentada Tabela resumo geral de cálculo de tipologia ligação rotulada com chapa de extremidade, configuração viga-viga:

Tabela 5.2- Resumo geral das verificações de dimensionamento ligação viga-viga

<b>RESUMO GERAL DAS VERIFICAÇÕES DE DIMENSIONAMENTO LIGAÇÃO VIGA-VIGA</b>								
<i>Nota: valores apresentados são capacidades globais salvo indicação em contrário</i>			<b>Viga apoiada 1</b>		<b>Viga apoiada 2</b>		<b>Viga de apoio</b>	
<b>Nº</b>	<b>VERIFICAÇÃO</b>		<b>YPE 100</b>	<b>S275</b>	<b>YPE 550</b>	<b>S275</b>	<b>HE 700 B</b>	<b>S355</b>
			<b>Capacidade</b>	<b>Carga aplicada</b>	<b>Capacidade</b>	<b>Carga aplicada</b>	<b>Capacidade</b>	<b>Carga aplicada</b>
1	Recomendação de detalhamento para aplicação prática		Todas as recomendações aprovadas					
2	Viga apoiada - Soldaduras	Resistência, kN	4,24	1,64	5,66	4,44	Não aplicável	
3	Não aplicável		Não aplicável				Não aplicável	
4	Viga apoiada - Alma ao corte	Resistência ao corte kN	281,22	140,61	682,03	341,02	Não aplicável	
5	Viga apoiada - Resistência no entalhe	Resistência a flexão kNm	-31,51	16,87	178,39	40,92	Não aplicável	
6	Viga apoiada - Estabilidade local no entalhe da viga	Comp. de entalhe	100,00	110,00	550,00	110,00	Não aplicável	
7	Viga apoiada - Estabilidade global		Não aplicável				Não aplicável	
8	Ligação - Chapa de extremidade ao corte	Capacidade de grupo de parafusos	301,06	140,61	150,53	341,02	Não aplicável	
9	Ligação-chapa de extremidade ao corte	Resistência ao corte kN	1200,16	140,61	1075,14	341,02	Não aplicável	
10	Viga de apoio - Corte e Esmagamento	Corte kN	Não aplicável				226,00	102,83

Importa ressaltar que todas as verificações devem ser satisfeitas.

No caso de os resultados não satisfazerem as condições exigidas, deve-se rever os parâmetros que influenciam no cálculo da resistências, com ênfase nas alturas de chapas ou cantoneiras, números de parafusos, distâncias entre os parafusos a extremidades e/ou bordos da chapa ou da viga, e/o valores de cargas de dimensionamento.

## 6 Conclusões

O objetivo da presente dissertação é fazer a pré-qualificação de ligações rotuladas, garantindo cumprimento dos requisitos exigidos pelas normas e regulamentos, e elaboração de Tabelas de pré-qualificação que se apresentam em anexo C.

Respeitando os procedimentos de dimensionamento, os requisitos geométricos e as escolhas de detalhes recomendadas na presente dissertação, pode-se considerar que a segurança na ligação é garantida, e estão reunidas as condições exigidas para que a ligação seja considerada flexível.

Com a presente dissertação e com as Tabelas da pré-qualificação em anexo C, o projetista de forma simples e segura, pode selecionar determinada ligação e, com um mínimo de cálculos, verificar se a ligação tem a resistência suficiente e cumpre os requisitos de ductilidade e capacidade de rotação facilitando a escolha adequada de detalhes da ligação, economizando o tempo de dimensionamento, fatores que podem e bem contribuir para a redução dos custos de dimensionamento e consequentemente de projeto no seu todo.

Importa salientar a necessidade de prosseguir as pesquisas nesse tema, por exemplo para outras tipologias de ligação, caso da ligação rotulada com chapa de extremidade de altura total, emenda das colunas, assim como a conclusão da ligação base de coluna.



## 7 Bibliografia

1. ARBED. *Tabelas\_de\_perfis\_ARBED*.
2. British, S. I. (2001). *BS 5950 -2 Specification for materials, fabrications and erections - Rolled and welded sections*.
3. British, S. I. (1993). *BS EN 10025:1993 Hot rolled products of non-alloy structural steel. Technical delivery conditions*.
4. British, S. I. (2000). *BS5950-1: Structural use of steelwork in building - Part 1: Code of practice for design —Rolled and welded sections*.
5. CEN. (2007). *Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-7: Plated structures subject to out of plane loading*. Brussels.
6. CEN. (2006). *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules*. Brussels.
7. CEN. (2009). *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints*. Brussels.
8. CEN. (2008). *Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2: Technical requirements for steel structures*. Brussels.
9. CEN. (2008). *Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2: Technical requirements for steel structures*. Brussels.
10. ECSS European Convention for Constructional Steelwork, T. C. *Simple Joints, Publication N° 126*.
11. IBA, I. B. (2011). *Ligações em estruturas metálicas volume 2*. Rio de Janeiro.
12. IPQ. (2010). *NP EN 1993-1-1, Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço, Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios*.
13. IPQ. *NP EN 1993-1-7; Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço, Parte 1-7 - Ações na Estrutura - Ação Acidental*.
14. IPQ. (2010). *NP EN 1993-1-8, Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço, Parte 1-8: Projecto de ligações*.
15. JASPART J.P., S. R. (2003). *European recommendations for the design of simple joints in steel structures*. Liège: Université de Liège.
16. Martins, J. G. (2011). *Estruturas Metálicas EC3 (versão 1993) - Ligações*. Obtido de <http://pt.scribd.com/doc/150419153/EC3-Ligacoes-Metalicas>.
17. Núcleo de Estudos em Experimentação e Análise Numérica de Estruturas, N. (2012). Obtido de [http://www.abcem.org.br/construmetal/2012/arquivos/Cont-tecnicas/apresentacoes/01\\_determinacao-da-rigidez-rotacional-de-ligacoes-com-dupla-cantoneira-em-estruturas-de-aco.pdf](http://www.abcem.org.br/construmetal/2012/arquivos/Cont-tecnicas/apresentacoes/01_determinacao-da-rigidez-rotacional-de-ligacoes-com-dupla-cantoneira-em-estruturas-de-aco.pdf).

18. Oliveira, C. d. (2011). *Estudos de comportamento de uma ligação viga-pilar*. Obtido de <http://repositorio.ipv.pt/bitstream/10400.19/1106/1/Estudo%20do%20comportamento%20de%20uma%20liga%C3%A7%C3%A3o%20Viga-Pilar.pdf>.
19. SCI, S. C. (2002). *Joints in Steel Construction Simple Connections*. P 212 .
20. SCI, S. C. (s.d.). *Joints in steel construction:Simple Joints to Eurocode 3*. P 358 .
21. Silva, L. S. (s.d.). *Ligações Metálicas: métodos avançados de análise e dimensionamento*.
22. Simões, R. (Novembro 2009). *Dimensionamento de ligação em estruturas metálicas,. Conferência Técnica Eurocódigo 3, Ligações Metálicas, Novo Metal 3D e Tekla Structures*. Porto.
23. Treméa, C. (2010). *Influência da consideração da flexibilidade nas ligações no projeto de estruturas metálicas* . Porto Alegre.

## Anexos A

Tabela A 1- Resistência de dimensionamento de seções laminadas quente, chapas e seções tubulares laminadas quentes

<b>Resistência de dimensionamento de seções laminadas quente, chapas e seções tubulares laminadas quente.</b>				
<b>Classe de aço</b>	<b>Espessura igual ou inferior</b>		<b>Resistência de dimensionamento de cedência, <math>f_y</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistência de dimensionamento última, <math>f_u</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>
	<b>BS EN 10025</b>	<b>BS EN 10210</b>		
S275	16		275	410
	40		265	
	63		255	
	80		245	
	100		235	
	150	120	225	
S355	16		355	470
	40		345	
	63		335	
	80		325	
	100		315	
	150	120	295	
Os valores da BS 5950-1 Tabela 9				
(b) Os valores da BS EN 10025 Tabela 5 para seções e chapas e BS EN 10210-1 A.3 Tabela para perfis ocios.				
No BS EN 10025 e BS EN 10210-1 $f_y$ e $f_u$ são designados $R_{eH}$ e $R_m$ respetivamente.				

Tabela A 2-Resistência de dimensionamento ao corte de soldadura de angulo

<b>Resistência de dimensionamento ao corte de soldadura de angulo, <math>f_{vw,d}</math></b>		
<b>Classe de aço</b>	<b>Carregamento longitudinal</b>	<b>Carregamento transversal</b>
S275	223	273
S355	241	295
Resistência de soldadura é dimensionada de acordo com EC 3-1-8, clausula 4.5.3.3(3) e seu anexo nacional.		

Tabela A 3-Resistência de dimensionamento a cedência dos parafusos

	<b>Propriedades de classes de parafusos</b>		
	<b>4.6</b>	<b>8.8</b>	<b>10.9</b>
Resistência de dimensionamento a cedência, $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	640	900
Resistência de dimensionamento última, $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	800	1000
Valores dados no BS EN 1993-1-8: 2005 Tabela 3.1			

Tabela A 4 - detalhe de parafusos hollo em grupo

DETALHE DE PARAFUSOS HOLLO EM GRUPO										
Medidas de Parafusos	Comp. . paraf. V (mm)	Espessura fixada W (mm)		p <sub>3</sub> (min) (mm)	e <sub>2</sub> (min) (mm) (aprop.)	e <sub>2</sub> (min) (mm) (secão)	Diâm. de furo (mm)	Dimen . entre faces a ligar (mm)	Diâmetro nominal de parafus. (mm)	Torque de aperto (Nm)
		min	max							
M8 (tipo 1)	50	3	22	35	13	50-t <sub>p</sub>	13.5-18	19	8	23
M8 (tipo 2)	70	22	41							
M8 (tipo 3)	90	41	60							
M10 (tipo 1)	55	3	22	40	15	55-t <sub>p</sub>	17.8-19	24	10	45
M10 (tipo 2)	70	22	41							
M10 (tipo 3)	90	41	60							
M12 (tipo 1)	60	3	25	50	18	60-t <sub>p</sub>	19.8-21	30	12	80
M12 (tipo 2)	80	25	47							
M12 (tipo 3)	100	47	69							
M16 (tipo 1)	75	12	29	55	20	75-t <sub>p</sub>	25.8-28	36	16	190
M16 (tipo 2)	100	29	50							
M16 (tipo 3)	120	50	71							
M20 (tipo 1)	90	12	34	70	25	90-t <sub>p</sub>	32.8-35	46	20	300
M20 (tipo 2)	120	34	60							
M20 (tipo 3)	150	60	86							

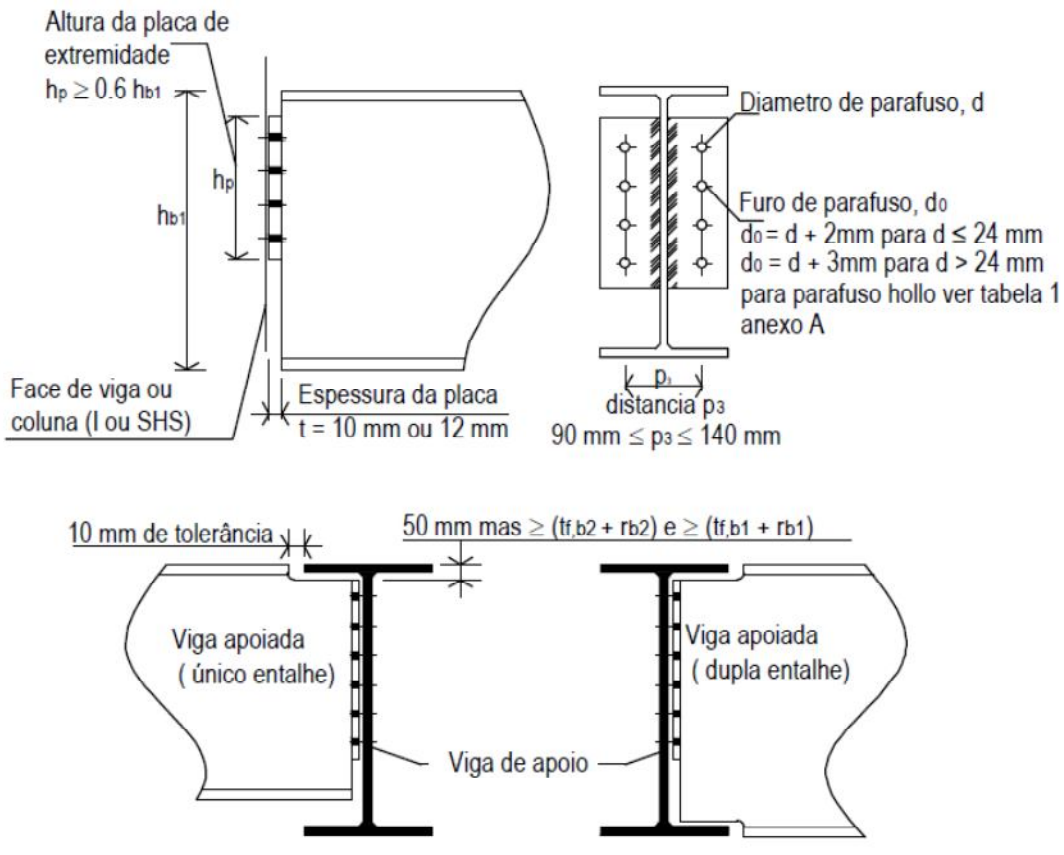
Tabela A 5- Ligação a parafusos flodrill – capacidade de tração a robustez

Ligação a parafusos flowdrill								
Capacidade de tração a robustez (Psi) kN								
Diâmetro de parafusos	Espessura de parede de seção tubular (mm)							
	S275					S355		
	5	6.3	8	10	12.5	5	6.3	8-12.5
M16	30	40	46			39	46	
M20	46	56	63	65	73	68	73	
M24	53	67	81	89	106	68	86	106

Tabela Anexo A 6- -Ligação a parafusos hollo – capacidade de tração a robustez

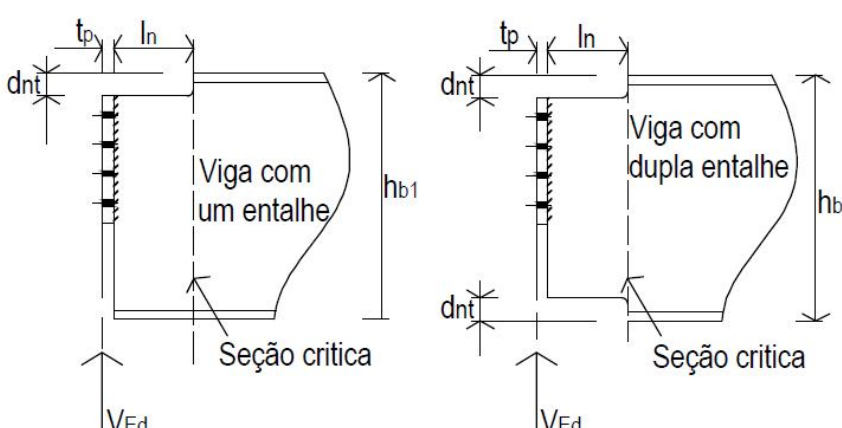
Ligação a parafusos hollo	
Capacidade de tração à robustez	
Diâmetro de parafuso mm	Capacidade de tração à robustez (P <sub>si</sub> ) kN
M8	10
M10	17
M12	25
M16	46
M20	73

## Anexo b.1– verificação da ligação rotulada com chapa de extremidade

Verificação 1	Recomendação de detalhes para aplicação prática
 <p>Altura da placa de extremidade <math>h_p \geq 0.6 h_{b1}</math></p> <p><math>h_{b1}</math></p> <p>Face de viga ou coluna (I ou SHS)</p> <p>Espessura da placa <math>t = 10 \text{ mm ou } 12 \text{ mm}</math></p> <p>Diametro de parafuso, <math>d</math></p> <p>Furo de parafuso, <math>d_o = d + 2 \text{ mm para } d \leq 24 \text{ mm}</math>  <math>d_o = d + 3 \text{ mm para } d &gt; 24 \text{ mm}</math>  para parafuso hollo ver tabela 1 anexo A</p> <p>distancia <math>p_3</math>  <math>90 \text{ mm} \leq p_3 \leq 140 \text{ mm}</math></p> <p>10 mm de tolerância</p> <p>50 mm mas <math>\geq (t_{f,b2} + r_{b2})</math> e <math>\geq (t_{f,b1} + r_{b1})</math></p> <p>Viga apoiada (único entalhe)</p> <p>Viga apoiada (dupla entalhe)</p> <p>Viga de apoio</p> <p>Desenho de cima: viga apoiada  Desenho de baixo: elemento de apoio</p> <p>Nota:  A chapa geralmente é posicionada perto de banzo superior da viga (é recomendável 50 mm), para permitir contenção posicional adequada. A altura da chapa deve ser pelo menos <math>0.6h_{b1}</math> é adotado para dar contenção torsional adequada.</p>	

Verificação 2	Viga apoiada - Soldadura
<p>Resistência de cordão de soldadura da chapa de extremidade na alma da viga:</p> <p><b>Requisitos Básicos:</b>  <math>a \geq 0.4.t_w, b1</math> - para viga apoiada S275  <math>a \geq 0.48.t_w, b1</math> - para viga apoiada S355</p> <p><b>Onde:</b>  <math>a</math> - é a espessura da garganta de soldadura = <math>0.7.s</math>  <math>s</math> - Comprimento da perna de solda</p>	

Verificação 4	Viga apoiada - Alma ao corte
<p>Resistência ao corte na alma da viga e na chapa de extremidade:</p> <p><b>Requisitos Básicos:</b> <math>V_{ed} \leq V_{c,rd}</math></p> <p><math>V_{c,rd}</math> - é a resistência de dimensionamento ao corte na viga de apoio ligada a chapa de extremidade</p> $V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{y,b1} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$ <p>Onde:  <math>A_v</math> - é a área de corte  <math>A_v = 0.9 \cdot h_p \cdot t_{w,b1}</math>*  <math>t_{w,b1}</math> - é a espessura da alma da viga apoiada</p> <p>* O fator 0.9 é aplicado para áreas retangulares são recomendadas na publicação P358 de SCI e BCSA<sup>[20]</sup></p> <p>Nota: Ver figura na verificação 2</p>	

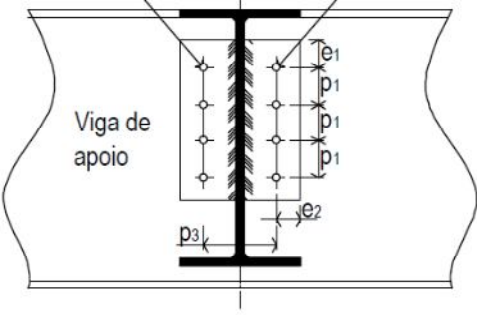
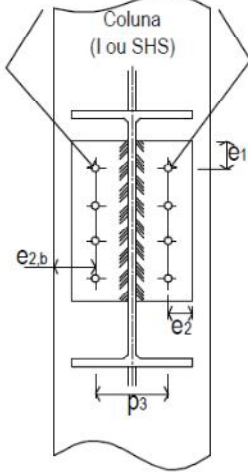
Verificação 5	Viga apoiada - Resistência no entalhe
	
<p><b>Interação Corte e Flexão no Entalhe:</b></p>	
<p><b>Requisitos básicos:</b></p>	
<p><math>V_{Ed} \times (t_p + l_n) \leq M_{v,N,Rd}</math> OU <math>M_{v,DN,Rd}</math>  <math>M_{v,N,Rd}</math> - Momento resistente da viga apoiada com um entalhe na presença de corte  <math>M_{v,DN,Rd}</math> - Momento resistente da viga apoiada com dois entalhes na presença de corte</p>	<p><b>Onde:</b></p>
<p><b>Para viga com um entalhe:</b></p>	<p><math>t_p</math> - é a espessura da chapa</p>
<p>Para baixo corte - (<math>i</math>, e <math>V_{ed} \leq 0.5 \times V_{pl,N,Rd}</math>)</p>	<p><math>V_{pl,N,Rd}</math> - resistência ao corte no entalhe da viga</p>
$M_{v,N,Rd} = \frac{f_{y,b1} \cdot W_{el,N,y}}{\gamma_{Mo}}$	$V_{pl,N,Rd} = \frac{A_{v,N}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{mo}} f_{y,b1}$
<p>Para baixo corte - (<math>i</math>, e <math>V_{ed} \geq 0.5 \times V_{pl,N,Rd}</math>)</p>	$A_{v,N} = A_{Tee} - b \cdot t_{f,b1} + (t_{w,b1} + 2r_{b1}) \cdot \frac{t_{f,b1}}{2}$
$M_{v,DN,Rd} = \frac{f_{y,b1} \cdot W_{el,N,y}}{\gamma_{Mo}} \left( 1 - \left( \frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,N,Rd}} - 1 \right)^2 \right)$	<p><math>V_{pl,DN,Rd}</math> - é a resistência ao corte no entalhe, na viga com duplo entalhe</p>
<p><math>A_{v,DN} = 0.9(h_{b1} - d_{nt} - d_{nd})t_{w,b1}</math></p>	
<p><math>t_{f,b1}</math> - é a espessura de banzo da viga apoiada</p>	
<p><math>t_{w,b1}</math> - é a espessura de alma da viga Apoiada</p>	



<p><b>Para viga com dois entalhes:</b></p> <p>Para baixo corte – (i, e <math>V_{ed} \leq 0.5xV_{pl,DN,Rd}</math>)</p> $M_{v,N,Rd} = \frac{f_{y,b1}}{6.\gamma_{M0}} (h_{b1} - d_{nt} - d_{nb})^2$ <p>Para baixo corte - (i, e <math>V_{ed} \geq 0.5xV_{pl,DN,Rd}</math>)</p> $M_{v,DN,Rd} = \frac{f_{y,b1}.t_{w,b1}}{\gamma_{M0}} (h_{b1} - d_{nt} - d_{nb})^2 \left( 1 - \left( \frac{2.V_{Ed}}{V_{pl,DN,Rd}} - 1 \right)^2 \right)$	<p><math>h_{b1}</math> - é a altura da viga apoiada</p> <p><math>A_{Tee}</math> - é a área da seção Tee</p> <p><math>W_{el,N,y}</math> - é o módulo elástico da seção no entalhe</p>
--	--

Verificação 6	Viga apoiada – Estabilidade local da viga com entalhe																
<p>Não é necessário considerar a estabilidade local da viga com entalhe desde que sejam satisfeitas a condições seguintes:</p> <p><b>Para viga com entalhe num único banzo. Requisitos básicos<sup>[20]</sup>:</b></p> <p><math>d_{nt} \leq h_{b1}/2</math> e</p> <table> <tr> <td><math>l_n \leq h_{b1}</math></td> <td>Para <math>h_{b1}/t_{w,b1} \leq 54.3</math> (aço S275)</td> </tr> <tr> <td><math>l_n \leq \frac{160000.h_{b1}}{(h_{b1}/t_{w,b1})^3}</math></td> <td>Para <math>h_{b1}/t_{w,b1} &gt; 54.3</math> (aço S275)</td> </tr> <tr> <td><math>l_n \leq h_{b1}</math></td> <td>Para <math>h_{b1}/t_{w,b1} \leq 48.0</math> (aço S355)</td> </tr> <tr> <td><math>l_n \leq \frac{110000.h_{b1}}{(h_{b1}/t_{w,b1})^3}</math></td> <td>Para <math>h_{b1}/t_{w,b1} &gt; 48.0</math> (aço S355)</td> </tr> </table> <p><b>Para viga com entalhe num único banzo. Requisitos básicos:</b></p> <p><math>\max(d_{nt}, d_{nb}) \leq h_{b1}/5</math> e</p> <table> <tr> <td><math>l_n \leq h_{b1}</math></td> <td>Para <math>h_{b1}/t_{w,b1} \leq 54.3</math> (aço S275)</td> </tr> <tr> <td><math>l_n \leq \frac{160000.h_{b1}}{(h_{b1}/t_{w,b1})^3}</math></td> <td>Para <math>h_{b1}/t_{w,b1} &gt; 54.3</math> (aço S275)</td> </tr> <tr> <td><math>l_n \leq h_{b1}</math></td> <td>Para <math>h_{b1}/t_{w,b1} \leq 48.0</math> (aço S355)</td> </tr> <tr> <td><math>l_n \leq \frac{110000.h_{b1}}{(h_{b1}/t_{w,b1})^3}</math></td> <td>Para <math>h_{b1}/t_{w,b1} &gt; 48.0</math> (aço S355)</td> </tr> </table> <p><math>t_{w,b1}</math> - é a espessura da alma da viga apoiada</p> <p>Se o comprimento de entalhe <math>l_n</math> ultrapassa esses limites, deve ser reforçada condignamente ou entalhe deve ser verificado (ver SCI E BCSA P358)<sup>[20]</sup></p> <p>Se a viga não é restringida, a estabilidade global deve ser verificada de acordo com a Verificação 7</p>		$l_n \leq h_{b1}$	Para $h_{b1}/t_{w,b1} \leq 54.3$ (aço S275)	$l_n \leq \frac{160000.h_{b1}}{(h_{b1}/t_{w,b1})^3}$	Para $h_{b1}/t_{w,b1} > 54.3$ (aço S275)	$l_n \leq h_{b1}$	Para $h_{b1}/t_{w,b1} \leq 48.0$ (aço S355)	$l_n \leq \frac{110000.h_{b1}}{(h_{b1}/t_{w,b1})^3}$	Para $h_{b1}/t_{w,b1} > 48.0$ (aço S355)	$l_n \leq h_{b1}$	Para $h_{b1}/t_{w,b1} \leq 54.3$ (aço S275)	$l_n \leq \frac{160000.h_{b1}}{(h_{b1}/t_{w,b1})^3}$	Para $h_{b1}/t_{w,b1} > 54.3$ (aço S275)	$l_n \leq h_{b1}$	Para $h_{b1}/t_{w,b1} \leq 48.0$ (aço S355)	$l_n \leq \frac{110000.h_{b1}}{(h_{b1}/t_{w,b1})^3}$	Para $h_{b1}/t_{w,b1} > 48.0$ (aço S355)
$l_n \leq h_{b1}$	Para $h_{b1}/t_{w,b1} \leq 54.3$ (aço S275)																
$l_n \leq \frac{160000.h_{b1}}{(h_{b1}/t_{w,b1})^3}$	Para $h_{b1}/t_{w,b1} > 54.3$ (aço S275)																
$l_n \leq h_{b1}$	Para $h_{b1}/t_{w,b1} \leq 48.0$ (aço S355)																
$l_n \leq \frac{110000.h_{b1}}{(h_{b1}/t_{w,b1})^3}$	Para $h_{b1}/t_{w,b1} > 48.0$ (aço S355)																
$l_n \leq h_{b1}$	Para $h_{b1}/t_{w,b1} \leq 54.3$ (aço S275)																
$l_n \leq \frac{160000.h_{b1}}{(h_{b1}/t_{w,b1})^3}$	Para $h_{b1}/t_{w,b1} > 54.3$ (aço S275)																
$l_n \leq h_{b1}$	Para $h_{b1}/t_{w,b1} \leq 48.0$ (aço S355)																
$l_n \leq \frac{110000.h_{b1}}{(h_{b1}/t_{w,b1})^3}$	Para $h_{b1}/t_{w,b1} > 48.0$ (aço S355)																

Verificação 7	Viga apoiada não restringida – Estabilidade global da viga com entalhe																		
<p>Quando a viga com entalhe não é restringida a encurvadura laterais torsional, a estabilidade global de viga deve ser verificada.</p> <p><b>Notas:</b></p> <p>(1) Esta verificação só é aplicável para viga com entalhe num banzo.</p> <p>(2) Se o comprimento de entalhe <math>l_n</math> e / ou altura de entalhe <math>d_{nt}</math> são diferentes em cada extremidade, então deve ser considerada maior valores de <math>l_n</math> e <math>d_{nt}</math>.</p> <p>(3) As vigas devem ser verificadas quanta encurvadura lateral torsional, conforme EN 1993-1-1<sup>[14]</sup>, Cláusula 6.3.2, usando um comprimento efetivo no cálculo da <math>M_{cr}</math>, o momento crítico elástico para encurvadura lateral torsional.</p> <p>(4) A solução abaixo dá um comprimento efetiva (<math>L_E</math>). Ela só é válida para <math>l_n/L_b &lt; 0,15</math> e <math>d_{nt}/h_{b1} &lt; 0,2</math>. As vigas com entalhes fora destes limites devem ser verificadas como seções Tee ou reforçadas.</p>																			
$L_E = L_b \left( 1 + \frac{2 \cdot l_n}{L_b} (K^2 + 2K) \right)^{1/2}$																			
<p>Onde:</p> <p><math>K = k_0 / \lambda_b</math></p> <p><math>\lambda_b = \frac{UVL_b}{i_z}</math></p>	<p><b>Conservadora</b></p> <p><math>U = 0.9 ; V = 1.0</math></p> <p>Para <math>\lambda_b &lt; 30</math> <math>k_0 = 1.1 \cdot g_0 \cdot X</math> mas <math>\leq 1.1 K_{max}</math></p> <p>Para <math>\lambda_b \geq 30</math> <math>k_0 = g_0 \cdot X</math> mas <math>\leq K_{max}</math></p>																		
<p><math>g_0</math> e <math>K_{max}</math> são dados:</p>																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"><math>\frac{l_n}{L_b}</math></th> <th rowspan="2"><math>g_0</math></th> <th colspan="2"><math>K_{max}</math></th> </tr> <tr> <th>Secção IPE</th> <th>Secção HEB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\leq 0.025</math></td> <td>5.72</td> <td>270</td> <td>As secções HEB</td> </tr> <tr> <td>0.100</td> <td>6.50</td> <td>300</td> <td>devem ser verificadas</td> </tr> <tr> <td><math>&gt; 0.150</math></td> <td>7.13</td> <td>330</td> <td>como secção Tee</td> </tr> </tbody> </table>	$\frac{l_n}{L_b}$	$g_0$	$K_{max}$		Secção IPE	Secção HEB	$\leq 0.025$	5.72	270	As secções HEB	0.100	6.50	300	devem ser verificadas	$> 0.150$	7.13	330	como secção Tee	
$\frac{l_n}{L_b}$			$g_0$	$K_{max}$															
	Secção IPE	Secção HEB																	
$\leq 0.025$	5.72	270	As secções HEB																
0.100	6.50	300	devem ser verificadas																
$> 0.150$	7.13	330	como secção Tee																

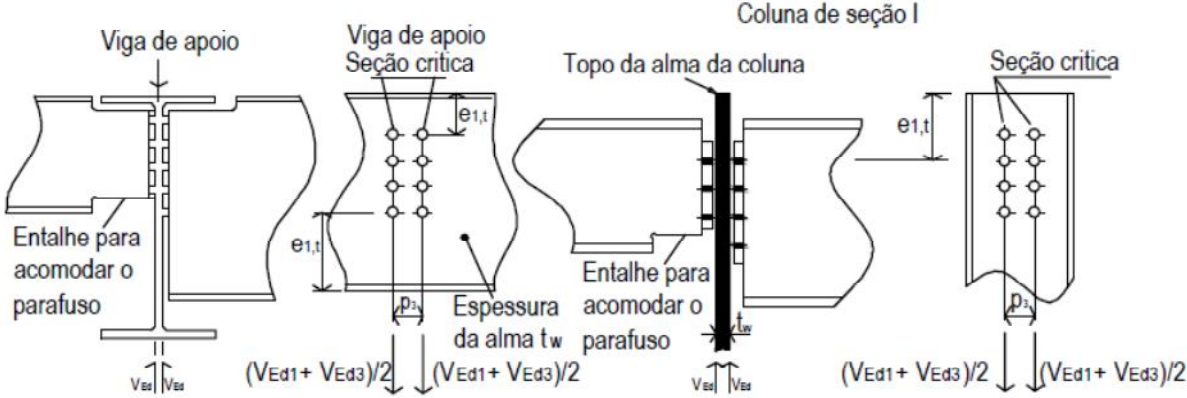
Verificação 8	Ligação – Grupo de parafusos
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Verificar esses parafusos a corte sob forças concentradas</p>  <p>Viga de apoio</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Verificar esses parafusos a corte sob forças concentradas</p>  <p>Coluna (I ou SHS)</p> </div> </div>	
<p>Corte e resistência a esmagamento do grupo parafuso que liga a chapa de extremidade com a viga ou coluna de apoio.</p>	
<p><b>Requisitos básicos:</b></p> $V_{ed} \leq F_{Rd}$ <p><math>F_{Rd}</math> – Resistência de grupo de parafusos</p> <p>Se <math>F_{b,Rd} \leq 0.8 F_{v,Rd}^*</math> então <math>F_{Rd} = n \cdot F_{b,Rd}^*</math></p> <p>Se <math>F_{b,Rd} &gt; 0.8 F_{v,Rd}^*</math> então <math>F_{Rd} = 0.8 \cdot n \cdot F_{b,Rd}^*</math></p> <p>* Facto de redução 0.8 é devido a presença de tração nos parafusos</p>	<p><b>Onde:</b></p> <p><math>\alpha_v</math> – 0.6 para parafusos de classe 8.8</p> <p><math>A</math> – é a área de parafuso sujeita a tração</p> <p><math>n</math> – é o número total de parafusos</p> <p><math>\gamma_{m2}</math> – é o fator parcial de resistência de parafusos (<math>\gamma_{m2} = 1.25</math>) dado no anexo nacional)</p>
<p>Resistência ao Corte</p> <p><math>F_{v,Rd}</math> - valor de calculo da resistência ao corte de um parafuso</p>	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$

Verificação 8 (Continuação)	Ligação – Grupo de parafusos
<p>Resistência a Esmagamento:</p> <p><math>F_{b,Rd}</math> – é o mínimo entre a resistência a esmagamento da chapa e resistência a esmagamento de elemento de apoio por cada parafuso</p> <p><math>= \min(F_{b,Rd,p}; F_{b,Rd,2})</math></p>	<p>Onde:</p> <p><math>\gamma_{M2} = 1.25</math></p> <p><math>f_{u,p}</math> - Resistência a tração última da chapa</p> <p><math>d</math> – é o diâmetro de parafuso</p> <p><math>d_o</math> – é o diâmetro de furo</p> <p><math>t_p</math> – é a espessura da chapa</p> <p><math>t_2</math> – é a espessura de elemento de apoio</p>
<p><b>Esmagamento da chapa de extremidade:</b></p> $F_{b,Rd,p} = \frac{K_{1,p} \cdot \alpha_{b,p} \cdot f_{u,p} \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}}$	<p><b>Para a chapa de extremidade</b></p> $\alpha_{b,p} = \min \left( \frac{e_1}{3 \cdot d_o}; \frac{p_1}{3 \cdot d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,p}}; 1.0 \right)$
<p><b>Esmagamento de elemento de apoio;</b></p> $F_{b,Rd,2} = \frac{K_{1,2} \cdot \alpha_{b,2} \cdot f_{u,2} \cdot d \cdot t_2}{\gamma_{M2}}$	<p><b>Para elemento de apoio</b></p> $\alpha_{b,p} = \min \left( \frac{p_1}{3 \cdot d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_{u,2}}; 1.0 \right)$ <p><b>Para elemento de apoio</b></p> $K_{1,p} = \min \left( 2.8 \frac{e_2}{3 \cdot d_o} - 1.7; 1.4 \frac{p_3}{d_o} - 1.7; 2.5 \right)$ <p><b>Para elemento de apoio</b></p> $K_{1,p} = \min \left( 2.8 \frac{e_2}{3 \cdot d_o} - 1.7; 1.4 \frac{p_3}{d_o} - 1.7; 2.5 \right)$ <p>A designação 2, refere a elemento de apoio</p> <p>A designação p, refere a chapa de extremidade de altura parcial</p>

Verificação 9	Ligação – Chapa de extremidade ao Corte
<p>Resistência ao corte na chapa de extremidade ligada a viga ou coluna de apoio</p>	
<p><b>Para Corte:</b></p>	<p><b>Onde:</b></p>
<p><b>Requisitos básicos:</b></p>	$A_{v,net} = t_p (h_p - n_1 d_o)$
$V_{ed} \leq V_{rd,min}$	$A_{nt} = t_p \left( e_2 - \frac{d_o}{2} \right)$
<p><math>V_{rd,min}</math> - a resistência de chapa ao corte é igual a menor resistência ao corte na secção bruta <math>V_{rd,g}</math>, e a resistência da secção útil ao corte <math>V_{rd,n}</math></p>	$A_{v,net} = t_p (h_p - e_1 - (n_1 - 0.5) d_o)$
<p><b>Chapa de extremidade ao corte: secção bruta</b></p>	
$V_{Rd,g} = \frac{2 \cdot h_p \cdot t_p \cdot f_{y,p}}{1.27 \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}}$	<p><math>d_o</math> – diâmetro de parafuso</p>
<p>O coeficiente de 1,27 tem em consideração a redução da resistência ao corte, devido à presença de flexão</p>	<p><math>t_p</math> – espessura da chapa</p>
	<p><math>h_p</math> – altura da chapa</p> <p><math>p_3</math> – distância horizontal de eixos de parafusos</p>

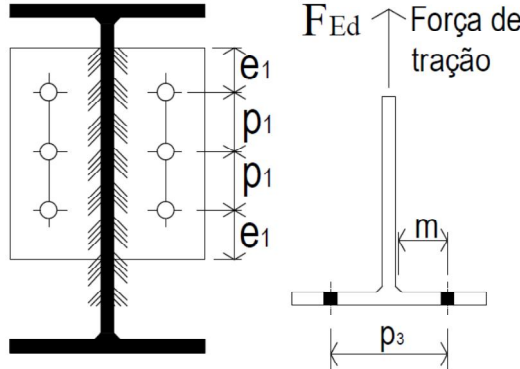
Verificação 9 (Continuação)	Ligação – Grupo de parafusos
<b>Chapa de extremidade ao corte: secção bruta</b>	
$V_{Rd,g} = 2A_{v,net} \frac{f_{u,p}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}}$	$n_1$ – numero de linhas de parafuso
<b>Chapa de extremidade ao corte: bloco a tração</b>	
$V_{Rd,b} = 2 \left( \frac{f_{u,p} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_{y,p} \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \right)$	$\gamma_{M2}$ – fator parcial de resistência ultima de tração de secção bruta
Mas se $h_p < 1.36p_3$ e $n_1 > 1$ então:	<i>bruta</i> ( $\gamma_{M2} = 1.1$ )
$V_{Rd,b} = 2 \left( \frac{0.5 \cdot f_{u,p} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_{y,p} \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \right)$	
<b>Requisitos adicionais: Chapa de extremidade no plano de flexão</b>	
Se $h_p < 1.36p_3$ e $n_1 > 1$ então:	
é adicionada $V_{Ed} \leq V_{Rd,ip}$	
Onde: $V_{Rd,ip} = \frac{2 \cdot t_p \cdot h_p^2 \cdot f_{y,p}}{3(p_3 - t_w) \gamma_{M0}}$	

<p>Verificação 10</p>	<p>Viga ou Coluna de apoio – Corte e Esmagamento (com uma viga apoiada)</p>
<p>Corte local e resistência a esmagamento na alma da viga de apoio ou alma da coluna ou parede de secções tubulares com uma viga apoiada.</p>	
<p><b>Corte:</b></p>	<p><b>Onde:</b></p>
<p><b>Requisitos Básicos:</b></p>	<p><math>e_t = \min(e_{1,t}; 5d)</math></p>
<p><math>V_{ed}/2 \leq V_{rd,min}</math></p>	<p><math>e_b = \min\left(e_{1,b}; \frac{p_3}{2}; 5d\right)</math> para viga de apoio</p>
<p><math>V_{rd,min}</math> - é a resistência de elemento de apoio ao corte local.</p>	<p><math>e_b = \min\left(\frac{p_3}{2}; 5d\right)</math> para coluna de apoio</p>
<p><math>V_{Rd,min} = \min\left(\frac{A_v f_{y,2}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}; \frac{A_{v,net} \cdot f_{u,2}}{\sqrt{3}\gamma_{M2}}\right)</math></p>	<p><math>d_0</math> = é o diâmetro de furo</p>
<p><math>A_v</math> - é a área ao corte no elemento de apoio</p>	<p><math>d</math> = é o diâmetro de parafuso</p>
<p><math>A_v = t_2(e_t + (n_1 - 1)p_1 + e_b)</math></p>	<p><math>n_1</math> - é numero das linhas de parafuso</p>
<p><math>A_{v,net}</math> - é a área líquida ao corte no elemento de apoio</p>	<p><math>t_2</math> - é a espessura de elemento de apoio (alma de coluna, alma de viga ou banzo de coluna)</p>
<p><math>A_{v,net} = A_v - n_1 \cdot d_0 \cdot t_2</math></p>	<p><math>\gamma_{M2}</math> - é fator parcial de resistencia ultima a tração na secção bruta</p>
	<p><math>\gamma_{M2} = 1.1</math> (Anexo EC3 - 1 - 1)</p>

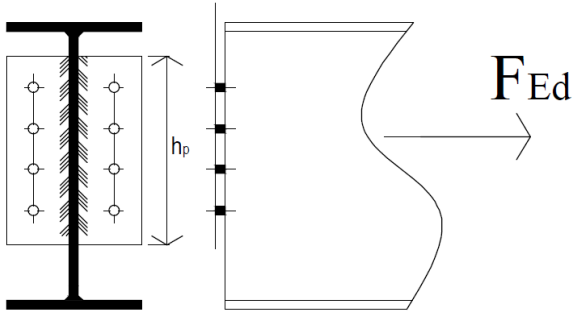
Verificação 10 (Continuação)	Viga ou Coluna de apoio – Corte e Esmagamento (com duas vigas apoiadas)
 <p>Onde: <math>n_1 \geq n_3</math></p> <p>Corte local e resistência de alma da coluna de apoio a esmagamento ou alma de coluna com duas vigas apoiadas</p> <p><b>Corte:</b></p> <p><b>Requisitos Básicos:</b></p> $\frac{V_{Ed,1}}{2} + \frac{V_{Ed,3}}{2} \leq V_{Rd,min}$ <p><math>V_{Rd,min}</math> – é a resistência local de elemento de apoio ao corte</p> $= \min\left(\frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}; \frac{A_{v,net} f_u}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}\right)$ <p><math>A_v</math> – é a área a corte no elemento de apoio</p> $A_v = t_2(e_t + (n_1 - 1)p_1 + e_b)$ <p><math>A_{v,net}</math> – é a área útil ao corte no elemento de apoio</p> $A_{v,net} = A_v - n_1 d_0 t_2$ <p><b>Onde:</b></p> $e_t = \min(e_{1,t}; 5d)$ $e_b = \min\left(e_{1,b}; \frac{p_3}{2}; p_1; 5d\right)$ <p><math>t_2</math> – é a espessura de elemento de apoio (alma de viga ou alma de coluna)</p> <p><math>d_0</math> – é o diâmetro de furo</p> <p><math>d</math> – é o diâmetro de parafuso</p> <p><math>n_1</math> – é o número de linhas de parafusos no lado mais da ligação</p>	



Verificação 10 (Continuação)	Viga ou Coluna de apoio – Corte e Esmagamento (com duas vigas apoiadas)
<p><b>Esmagamento</b> <b>Requisitos Básicos</b></p> $\frac{V_{Ed,1}}{2n_1} + \frac{V_{Ed,3}}{2n_3} \leq F_{b,Rd}$ <p><math>F_{b,Rd}</math> – é a resistencia a esmagamento de um parafusos (Ver a verificação 8 para calculo deste valor</p>	<p><math>n_3</math> – é o numero de linhas de parafusos no lado menor de ligação</p> <p><math>\gamma_{M2}</math> – é factor parcial de resistencia ultima a tração na secção bruta <math>\gamma_{M2} = 1.1</math> (Anexo EC3 – 1 – 1)</p>

Verificação 11	Resistência a tração – Chapa e Parafusos
 <p><b>Resistência da chapa de extremidade</b></p> <p>Há três modos de rotura para chapa de extremidade a flexão:</p> <p>Modo 1: Chapa de extremidade completamente fletida</p> <p>Modo 2: Rotura de parafuso com a chapa de extremidade fletida</p> <p>Modo 3: Rotura dos parafusos</p> <p>Requisitos básicos:</p> $F_{Ed} \leq \min(F_{Rd,u,1}; F_{Rd,u,2}; F_{Rd,u,3})$ <p>Modo 1 (Chapa completamente fletida)</p> $F_{Rd,u,1} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd,u}}{2mn - e_w(m+n)}$ <p>Modo 2 (rotura de parafuso com chapas fletidas)</p> $F_{Rd,u,2} = \frac{(2M_{pl,2,Rd,u} + n \sum F_{t,Rd,u})}{(m+n)}$ <p>Modo 3 (rotura de parafuso)</p> $F_{Rd,u,3} = \sum F_{t,Rd,u}$ $F_{t,Rd,u} = \frac{K_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M,u}} \text{ para parafusos}$	<p><b>Onde:</b></p> $M_{pl,1,Rd,u} = \frac{0.25 \sum l_{eff} t_p^2 f_{u,p}}{\gamma_{M,u}}$ $M_{pl,2,Rd,u} = M_{pl,1,Rd,u}$ <p><math>\sum l_{eff}</math> – é o comprimento efectivo equivalente de T – stub</p> $\sum l_{eff} = 2 \cdot e_{1A} + (n_1 - 1)p_{1A}$ $e_{1A} = e_1$ <p>mas</p> $e_{1A} \leq 0.5p(p_3 - t_{w,b1} - 2a\sqrt{2}) + \frac{d_0}{2}$ $p_{1A} = p_1 \text{ mas } \leq p_3 - t_{w,b1} - 2 \cdot a \cdot \sqrt{2} + d_0$ <p><math>t_p</math> – é a espessura da chapa</p> $K_2 = 0.63 \text{ – para parafusos rebaxado}$ $K_2 = 0.90 \text{ – para outros casos}$ <p><math>A_s</math> – é a area de parafusos</p> $m = \frac{p_3 - t_{w,b1} - 2 \cdot 0.8 \cdot a \cdot \sqrt{2}}{2}$

Verificação 11 (Continuação)	Resistência a tração – Chapa e Parafusos
<p> <math>t_{w,b1}</math> – é a espessura de soldadura na viga apoiada  <math>a</math> – é a espessura de garganta de soldadura  <math>n = e_{min}</math> mas <math>n \leq 1.25m</math>  <math>e_{min} = e_2</math>  <math>e_w = \frac{d_w}{4}</math>  <math>d_w</math> – é o diâmetro da máquina ou largura relevante entre os pontos do parafuso ou porca. é conservadora assumir que que são usadas anilhas </p>	

Verificação 12	Resistência a tração – Alma de viga apoiada
	
<p><b>Resistência da alma de viga</b></p> <p><b>Requisitos Básicos</b></p> $F_{Ed} \leq F_{Rd,u}$ $F_{Rd,u} = \frac{t_{w,b1} \cdot h_p f_{u,b1}}{\gamma_{M,u}}$ <p><b>Onde:</b></p> <p><math>t_{w,b1}</math> – é a espessura de alma de viga apoiada</p> <p><math>h_p</math> – é a altura de chapa de extremidade</p>	

Verificação 13	Resistência a tração – Soldaduras
<p>O tamanho da solda especificada na verificação 2 é suficiente para assegurar a resistência, uma vez que a solda é concedida como sendo de resistência total.</p>	

Verificação 14	Resistência a tração – Alma de coluna de apoio (Secção I ou Quadrada)
<p><b>Resistência de alma de apoio</b></p> <p><b>Requisitos Básicos:</b></p> $F_{ed} \leq F_{Rd,u}$ $F_{Rd,u} = \frac{8 \cdot M_{pl,Rd,u}}{1 - \beta_1} [\eta_1 + 1.5(1 - \beta_1)^{0.5}(1 - \gamma_1)^{0.5}]$ $M_{pl,Rd,u} = \frac{f_{u,2} \cdot t_{w,2}^2}{4\gamma_{Mu}}$ <p>O fator 1.5 na equação <math>F_{r,Rd,u}</math>, inclui uma provisão da compressão axial na coluna.</p>	<p><b>Onde:</b></p> $\eta_1 = \frac{(n_1 - 1)p_1 - \frac{n_1}{2}d_o}{d_o}$ $\beta_1 = \frac{p_3}{d_o}$ $\gamma_1 = \frac{d_o}{d_2}$ <p><math>d_2</math> – é a distância entre angulos da coluna</p> <p><math>d_o</math> – é o diametro de furo</p> <p><math>t_{w,2}</math> – é a espessura de alma de coluna</p>

Nota:

Esta verificação é necessária tanto para ligação de um único lado de alma de coluna ou ligação com carregamento desigual nos dois lados de alma de coluna

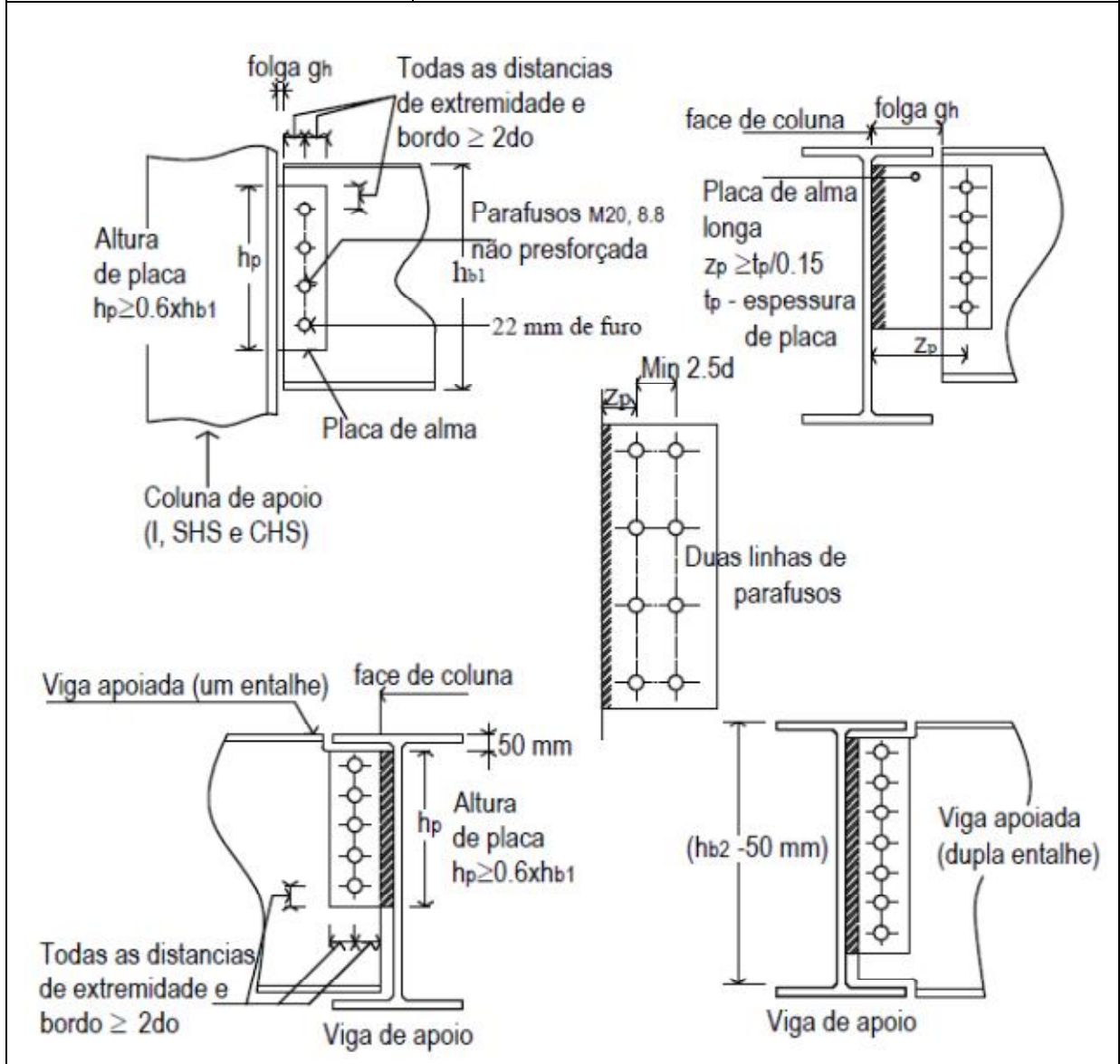
Se a viga está ligada a um banzo de pilar (eixo forte), a resistência da ligação no banzo de pilar pode ser avaliada utilizando os procedimentos descritos na referência <sup>20</sup>.

$n_1$  – é numero de linhas de parafusos

<b>Verificação 15</b>	<b>Resistência a tracção – Alma de coluna de apoio (Secção Tubular)</b>
<p>Resistência da parede de secção tubular, com a compressão axial na coluna</p> <p><b>Resistência a tração na parede de secção tubular</b></p> <p><b>Requisitos Básicos:</b></p> $F_{ed} \leq F_{Rd,u}$ $F_{Rd,u} = \frac{8.M_{pl,Rd,u}}{1-\beta_1} [\eta_1 + 1.5(1-\beta_1)^{0.5}(1-\gamma_1)^{0.5}]$ $M_{pl,Rd,u} = \frac{f_{u,2}.t_2^2}{4\gamma_{Mu}}$ <p>de coluna de secção retangular</p> <p>O fator 1.5 na equação <math>F_{r,Rd,u}</math>, inclui uma prévisão da compressão axial na coluna</p> <p style="text-align: right;"><b>Onde:</b></p> $\eta_1 = \frac{(n_1-1)p_1 - \frac{n_1}{2}d_0}{(b-3.t_2)}$ $\beta_1 = \frac{p_3}{(b-3.t_2)}$ $\gamma_1 = \frac{d_0}{(b-3.t_2)}$ <p><math>t_2</math> – é a espessura de parede</p> <p><math>d_0</math> – é o diametro de furo na secção retangular</p> <p><math>n_1</math> – é numero de linhas de parafusos</p>	

Anexo B.2 – verificação da ligação rotulada com chapa de alma

Verificação 1	Recomendação de detalhes para aplicação prática
---------------	---



Notas:

1. A chapa de alma é geralmente posicionada perto da banzo superior de viga para proporcionar de restrição adequado. A sua altura deve ser de pelo menos  $0,6xh_{b1}$  para

permitir "a restrição de torção nominal" adequada

2. Para vigas apoiadas com altura nominal superior de 610 mm, o método de dimensionamento aqui dado só pode ser utilizado quando são cumpridas as três condições seguintes:

- Relação de comprimento/altura de viga apoiada deve ser  $\leq 20$
- Folga  $g_h \geq 20$  mm
- Distância vertical entre os parafusos extremos  $(n_1-1) p_1 \leq 530$  mm

3. Espaçamento de parafusos e as distâncias de bordos devem cumprir com os requisitos de EN 1993-1-8<sup>[14]</sup>.

4. Detalhamento é semelhante para chapas de alma longas (ou seja, a espessura de chapa de alma  $t_p$  é menor do que  $0.15z_p$ ), exceto a folga  $g_h$  deve ser consideravelmente maior.

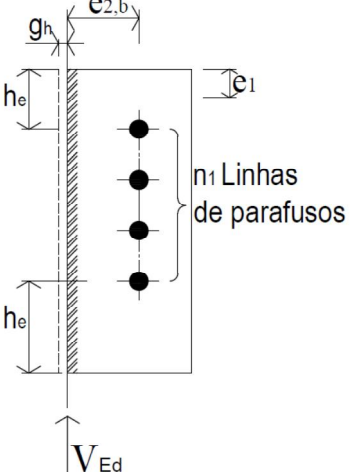
Para uma ligação viga na banzo da coluna de seções I dimensionamento para força de tração de 75 kN, a ligação deve ter, pelo menos 2 parafusos M20, 8.8 e a espessura de chapa deve ser  $\geq 6$  mm.

Para forças de tração maiores, as verificações 11 a 16, devem ser feitas.

Verificação 2	Viga apoiada – grupo de parafusos
<p style="text-align: center;">Coluna de apoio (I, SHS e CHS)</p>	
<p>Resistência ao corte e esmagamento de grupo de parafusos na chapa de alma e alma de viga apoiada (tendo em conta a excentricidade ``z``).</p> <p><b>Parafuso ao Corte</b> <span style="float: right;"><b>Onde:</b></span></p> <p>Requisitos básicos: <span style="float: right;"><math>n_t</math>- é número total de parafusos = <math>n_1 \times n_2</math></span></p> $V_{Ed} \leq V_{Rd}$ $V_{Rd} = \frac{n \cdot F_{v,Rd}}{\sqrt{(1+\alpha \cdot n)^2 + (\beta \cdot n)^2}}$ <p><b>Para uma linha vertical de parafusos (<math>n_2=1</math>)</b></p> $\alpha = 0$ $\beta = \frac{6 \cdot z}{n_1(n_1+1)p_1}$ <p><b>Para duas linhas verticais de parafusos (<math>n_2=2</math>)</b></p> $\alpha = \frac{z p_2}{2I}$ $\beta = \frac{z p_1}{2I} (n_1 - 1)$ $I = \frac{n_1}{2} p_2^2 + \frac{1}{6} n_1 (n_1^2 - 1) p_1^2$ <p><math>\alpha_v = 0.6</math> para parafusos de classe 8.8  <math>\gamma_{M2}</math> – é o fator parcial para resistencia de parafusos  <math>(\gamma_{M2} = 1.25</math> dada no EN3 – 1 – 8</p>	



Verificação 2 (continuação)	Viga apoiada – grupo de parafusos
<p>Esmagamento de parafusos na chapa de alma</p>	
<p>Requisitos Básicos:</p>	
$V_{Ed} \leq V_{Rd}$ $V_{Rd} = \frac{V_{Ed}}{n} \sqrt{\left(\frac{1+\alpha n}{F_{b,ver,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\beta n}{F_{b,hor,Rd}}\right)^2}$	
<p><math>F_{b,Rd}</math> – é a resistencia a esmagamento de um unico parafuso na chapade alma</p>	<p>Onde: <math>\alpha, \beta</math> e <math>n</math> – ver verificação 2(i) <math>d</math> – é diametro de parafuso</p>
$k_1 = \min\left(2.8 \frac{e_2}{d_o} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_o} - 1,7; 2.5\right)$	<p><b>Para: <math>F_{b,ver,Rd}</math></b></p> $F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,p} d t_p}{\gamma_{M2}}$
$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_o}; \frac{p_1}{3d_o} - 1,4; \frac{f_{ub}}{f_{u,p}}; 1.0\right)$	<p><b>Para: <math>F_{b,hor,Rd}</math></b> a resistencia horizontal a esmagamento de um parafuso na chapa de alma</p>
<p><math>F_{b,ver,Rd}</math> – é a resistencia vertical a esmagamento de um para – fuso na chapa de alma</p>	
$k_1 = \min\left(2.8 \frac{e_1}{d_o} - 1,7; 1,4 \frac{p_1}{d_o} - 1,7; 2.5\right)$	
$\alpha_b = \min\left(\frac{e_2}{3d_o}; \frac{p_2}{3d_o} - 1,4; \frac{f_{ub}}{f_{u,p}}; 1.0\right)$	
<p><math>\gamma_{M2}</math> – é o fator parcial para resistencia deparafusos (<math>\gamma_{M2} = 1.25</math> dada no EN3 – 1 – 8<sup>[14]</sup>)</p>	
<p>Ao calcular <math>k_1</math> e <math>\alpha_b</math> para ligação com uma única linha vertical de parafusos, (<math>n_2 = 1</math>), termos que envolvem <math>p_2</math> são ignorados</p>	

Verificação 2 (continuação)	Viga apoiada – grupo de parafusos
	
<p>Esmagamento de parafusos na alma de viga apoiada</p>	
<p>Requisitos Básicos:</p>	<p>Onde:</p>
$V_{Ed} \leq V_{Rd}$ $V_{Rd} = \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{1+\alpha n}{F_{b,ver,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\beta n}{F_{b,hor,Rd}}\right)^2}}$	<p><math>\alpha, \beta</math> e <math>n</math> – ver verificação 2(i) <math>d</math> – é diâmetro de parafuso</p>
<p><math>F_{b,Rd}</math> – é a resistência a esmagamento de um único parafuso na alma de viga apoiada</p>	<p><b>Para:</b> <math>F_{b,ver,Rd}</math></p> $k_1 = \min\left(2.8 \frac{e_{2,b}}{d_0} - 1.7; 1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$
$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,b1} d t_{w,b1}}{\gamma_{M2}}$	$\alpha_b = \min\left(\frac{e_{1,b}}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 1.4; \frac{f_{ub}}{f_{u,b1}}; 1.0\right)$
<p><math>F_{b,ver,Rd}</math> – é a resistência vertical a esmagamento de um parafuso na alma de viga apoiada</p>	<p><b>Para:</b> <math>F_{b,hor,Rd}</math></p> $k_1 = \min\left(2.8 \frac{e_1}{d_0} - 1.7; 1.4 \frac{p_1}{d_0} - 1.7; 2.5\right)$
<p><math>F_{b,hor,Rd}</math> – é a resistência horizontal a esmagamento de um parafuso na alma de viga apoiada</p>	$\alpha_b = \min\left(\frac{e_{2,b}}{3d_0}; \frac{p_2}{3d_0} - 1.4; \frac{f_{ub}}{f_{u,b1}}; 1.0\right)$
<p><math>\gamma_{M2}</math> – é o fator parcial para resistência de parafusos (<math>\gamma_{M2} = 1.25</math> dada no EN3 – 1 – 8)</p>	
<p>Ao calcular <math>k_1</math> e <math>\alpha_b</math> para ligação com uma única linha vertical de parafusos, (<math>n_2 = 1</math>), termos que envolvem <math>p_2</math> são ignorados</p>	

Verificação 3	Viga apoiada – Chapa de alma
<p><b>Resistência de chapa de alma ao corte e flexão</b></p>	
<p><b>Corte</b></p>	
<p><b>Requisitos Básicos:</b></p>	
<p><math>V_{Ed} \leq V_{Rd,min}</math></p> <p><math>V_{Rd,min}</math> – é a resistencia de chapa de alma ao corte, calculada como menor resistencia ao corte de secção bruta</p> <p><math>V_{Rd,g}</math> – resistencia ao corte de secção útil <math>V_{Rd,n}</math> e Resistencia de bloco ao corte, <math>V_{Rd,b}</math></p>	<p><b>Onde:</b></p> <p><math>A_{v,net} = t_p(h_p - n_1 d_0)</math></p> <p><math>A_{nt}</math> – é a area útil sujeita a tração</p>
<p><b>Chapa de alma ao corte: secção bruta parafusos</b></p> <p><math display="block">V_{Rd,g} = \frac{h_p t_p f_{y,p}}{1.27 \sqrt{3} \gamma_{M0}}</math></p> <p>O coeficiente 1.27 tem em conta a redução de resistencia ao corte na secção bruta devido a momento nominal na ligação</p>	<p><b>Para uma linha vertical de</b></p> <p><math>(n_2 = 1)</math></p> <p><math display="block">A_{nt} = t_p \left( p_2 + e_2 + 3 \frac{d_0}{2} \right)</math></p> <p><math>A_{nv}</math> – area liquida sujeita ao corte</p> <p><math display="block">A_{nv} = t_p (h_p - e_1 - (n_1 - 0.5) d_0)</math></p>
<p><b>Chapa de alma ao corte: secção útil</b></p> <p><math display="block">V_{Rd,n} = A_{v,net} \frac{f_{u,p}}{\sqrt{3} \gamma_{M2}}</math></p>	<p><math>\gamma_{M2}</math> – é o fator parcial para resistencia de secção útil</p> <p><math>(\gamma_{M2} = 1.1 \text{ dada no EN3 - 1 - 1})^{[14]}</math></p>
<p><b>Chapa de alma ao corte: bloco ao corte</b></p> <p><math display="block">V_{Rd,b} = \frac{0.5 f_{u,p} A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_{y,p} A_{nv}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}</math></p>	

Verificação 3 (continuação)	Viga apoiada – Chapa de alma
<p><b>Flexão</b> <b>Requisitos Básicos:</b></p> $V_{Ed} \leq V_{Rd}$ <p>Se <math>h_p \geq 2.73 Z</math> então <math>V_{Rd} = \infty</math></p> <p>Nos outros casos</p> $V_{Rd} = \frac{W_{el,p} f_{y,p}}{Z \gamma_{M0}}$	<p><b>Onde:</b></p> $W_{el,p} = \frac{t_p h_p^2}{6}$ <p><math>X_{LT}</math> – é o fator de redução de encurvadura lateral torsional na chapa de alma, obtida na Tabela 4.1.1 baseada na esbelteza da chapa de alma para aço S275</p>
<p><b>Encurvadura Lateral Torsional</b> <b>Requisitos básicos</b></p> $V_{Rd}$ <p>Se <math>Z_p &gt; \frac{t_p}{0.15}</math> (chapa de alma longa)</p> <p>Onde: <math>V_{Rd} = \min \left( \frac{W_{el,p} X_{LT} f_{y,p}}{Z \cdot 0.6 \gamma_{M1}}, \frac{W_{el,p} f_{y,p}}{Z \gamma_{M0}} \right)</math></p> <p>O factor 0.6 na extração de <math>V_{Rd}</math> tem em consideração a forma triangular assumida na diagramad de momento fletor na chapa de alma</p> <p>Se <math>Z_p \leq \frac{t_p}{0.15}</math> (placa de alma curta)</p> <p>então <math>V_{Rd} = \frac{W_{el,p} f_{y,p}}{Z \gamma_{M0}}</math></p> <p>Nota: As chapas de alma longa não podem ser usadas nas vigas não restringidas lateralmente sem evidências experimentais que justificam o seu dimensionamento.</p>	$\lambda_{LT} = \frac{2.8}{86.4} \left( \frac{Z_p x h_p}{1.5 t_p^2} \right)^{1/2}$ <p><math>\gamma_{M2}</math> – é o fator parcial da resistencia de secção útil</p> $V_{Ed} \leq$ <p>(<math>\gamma_{M2} = 1.1</math> dada no EN3 – 1 – 1)</p> $Z_p = e_{2,b} + g_h$

Verificação 3 (continuação)		Viga apoiada – Chapa de alma	
Tabela 4.1.1 – fator de redução para a encurvadura lateral torsional, $X_{LT}$			
$\lambda_{LT}$	Factor de Redução, $X_{LT}$	$\lambda_{LT}$	Factor de Redução $X_{LT}$
0.25	0.96	1.50	0.28
0.30	0.92	1.55	0.26
0.35	0.89	1.60	0.25
0.40	0.85	1.65	0.24
0.45	0.81	1.70	0.23
0.50	0.78	1.75	0.22
0.55	0.74	1.80	0.20
0.60	0.71	1.85	0.19
0.65	0.68	1.90	0.18
0.70	0.64	1.95	0.18
0.75	0.61	2.00	0.17
0.80	0.58	2.05	0.16
0.85	0.55	2.10	0.16
0.90	0.52	2.15	0.15
0.95	0.49	2.20	0.15
1.00	0.47	2.25	0.15
1.05	0.44	2.30	0.14
1.10	0.42	2.35	0.13
1.15	0.40	2.40	0.13
1.20	0.38	2.45	0.13
1.25	0.36	2.50	0.12
1.30	0.34	2.55	0.12
1.35	0.32	2.60	0.11
1.40	0.31	2.65	0.11
1.45	0.29	2.70	0.11

Verificação 4	Viga apoiada – Chapa de alma
<p><b>Resistência ao corte e Flexão na viga apoiada</b></p>	
<p><b>Corte:</b></p>	<p><b>Onde:</b></p>
<p>Requisitos Básicos:</p>	$A_{v,net} = A_v - n_1 d_0 t_{w,b1}$
$V_{Ed} \leq V_{Rd,min}$	<p><b>Viga não restringida</b></p>
<p><math>V_{Rd,min}</math> – é a resistencia ao corte na</p>	$A_v = A_g - 2b_{b1} t_{f,b1} + (t_{w,b1} + 2r_{b1})$
<p>alma de viga apoiada</p>	$. t_{f,b1} \text{ mas } \nless h_{w,b1} t_{w,b1}$
<p>= menor resistencia ao corte</p>	<p><b>Viga com um entalhe</b></p>
<p>de secção bruta, <math>V_{Rd,g}</math>; resistencia</p>	$A_v = A_{Tee} - b_{b1} t_{f,b1} + (t_{w,b1} + 2r_{b1}) \frac{t_{f,b1}}{2}$
<p>de secção útil ao corte, <math>V_{Rd,n}</math></p>	<p><math>A_{Tee}</math> – é area de secção Tee</p>
<p>e resistencia de bloco ao corte,</p>	<p><b>Viga com duplo entalhe</b></p>
<p>Alma da viga ao corte: <b>Secção bruta</b></p>	$A_v = 0.9 t_{w,b1} (h_{b1} - d_{nt} - d_{nb})$
$V_{Rd,b} = V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_{y,b1}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$	<p><b>Para uma única linha vertical de</b></p>
<p>Alma da viga ao corte: <b>Secção Útil</b></p>	<p><b>parafusos (<math>n_2 = 1</math>)</b></p>
$V_{Rd,g} = A_{v,net} \frac{f_{y,b1}}{\sqrt{3} \gamma_{M2}}$	$A_{nt} = t_{w,b1} \left( e_{2,b} - 3 \frac{d_0}{2} \right)$
<p>Alma da viga ao corte: <b>Bloco ao corte</b></p>	<p><b>Para duas linhas vert. de paraf(<math>n_2 = 2</math>)</b></p>
<p>(aplicada a viga com um só entalhe)</p>	$A_{nt} = t_{w,b1} \left( p_2 + e_{2,b} - 3 \frac{d_0}{2} \right)$
$V_{Rd,b} = \frac{0.5 \cdot f_{u,b1} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_{y,b1} \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$	$A_{nv} = t_{w,b1} (e_{1,b} + (n_1 - 1)p_1 - (n_1 - 0.5)d_0)$
<p><math>\gamma_{M2}</math> fator parcial de resistencia para a secção útil (<math>\gamma_{M2} = 1.1</math> dado no</p>	<p>EN3 – 1 – 1<sup>[14]</sup>)</p>

Verificação 4 (continuação)	Viga apoiada – Alma ao corte (viga com entalhe)
<p><b>Interação corte e flexão para duas linhas de parafusos, se o comprimento de entalhe <math>l_n \geq (e_{2,b} + p_2)</math></b></p>	
<p><b>Nota:</b> Apesar de corte e flexão devem ser verificadas em ambas as linhas de parafusos, a verificação é geralmente aplicada somente para as ligações com duas linhas de parafusos (<math>n_2 = 2</math>). Assumindo a menos que a geometria extremo, não será críticas nas ligações com apenas uma linha de parafusos. A verificação só é aplicável se o entalhe ultrapassar a segunda linha de parafuso (ou seja, <math>l_n &gt; (e_{2,b} + p_2)</math>). No final o entalhe da viga deve ser verificado - consulte Verificação 5.</p>	
<p><b>Requisitos Básicos:</b></p> $V_{Ed}(g_h + e_{2,b} + p_2) \leq M_{c,Rd}$	
<p><math>M_{c,Rd}</math> – é o momento resistente no entalhe de viga na presença de corte</p>	
<p><b>Para a viga com um entalhe</b></p> <p>Para baixo corte (<math>i, e V_{Ed} \leq 0.5V_{pl,N,Rd}</math>) <math display="block">M_{c,Rd} = \frac{f_{y,b1}W_{el,N}}{\gamma_{M0}}</math></p> <p>Para alto corte (<math>i, e V_{Ed} &gt; 0.5V_{pl,N,Rd}</math>) <math display="block">M_{c,Rd} = \frac{f_{y,b1}W_{el,N}}{\gamma_{M0}} \left( 1 - \left( \frac{2V_{Ed}}{V_{pl,N,Rd}} - 1 \right)^2 \right)</math></p>	
<p><b>Para a viga duas entalhes</b></p> <p>Para baixo corte (<math>i, e V_{Ed} \leq 0.5V_{pl,DN,Rd}</math>)</p>	

$$M_{c,Rd} = \frac{f_y b_1 t_w b_1}{6\gamma_{M0}} (e_{1,b} + (n_1 - 1)p_1 + h_e)^2$$

Para alto corte ( $i, e V_{Ed} > 0.5V_{pl,DN,Rd}$ )

$$M_{c,Rd} = \frac{f_y b_1 t_w b_1}{6\gamma_{M0}} (e_{1,b} + (n_1 - 1)p_1 + h_e)^2 \left(1 - \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,N,Rd}} - 1\right)^2\right)$$

**Onde:**

$W_{el,N}$  – é o modulo elastico da secção bruta de tee no entalhe

$M_{pl,N,Rd}$  – é a resistencia ao corte na secção critica da viga com um entalhe  
=  $\min(V_{Rd,g} ; V_{Rd,n})$  ver a verificação 4 (i)

$M_{pl,DN,Rd}$  – é a resistencia ao corte na secção critica da viga com dois entalhes  
=  $\min(V_{Rd,g} ; V_{Rd,n})$  ver a verificação 4 (i)



Verificação 4 (continuação)	Viga apoiada – Resistência da ligação
<p><b>Interação corte e flexão na alma de viga:</b></p>	
<p>Para as chapas de alma curtas (isto é, <math>z_p \leq t_p/0.15</math>), estudos revelam que não é preciso fazer a verificação da alma.</p>	
<p>Para as chapas de alma longas (ie <math>z_p &gt; t_p/0.15</math>) é necessário garantir que a secção ABCD apresentadas na figura acima, pode resistir a um momento <math>V_{ed} \cdot z_p</math>, para uma única linha de parafusos ou <math>V_{ed} (z_p + p_2)</math> para duplas linhas de parafusos. Seções AB e CD são considerados em secção ao corte e BC secção ao flexão.</p>	
<p><b>Requisitos Básicos:</b></p>	
<p><b>Para uma linha vertical de parafusos (<math>n_2 = 1</math>)</b></p> $V_{Ed} \cdot z_p \leq M_{c,BC,Rd} + V_{pl,AB,Rd} (n_2 - 1)$	<p>Para uma linha vertical de Parafusos (<math>n_2=1</math>)</p> $V_{pl,AB,Rd} = \frac{t_{w,b1} e_{2,b} \times f_{y,b1}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$
<p><b>Para uma linha vertical de parafusos (<math>n_2 = 2</math>)</b></p> $V_{Ed} \cdot (z_p + p_2) \leq M_{c,BC,Rd} + V_{pl,AB,Rd} (n_2 - 1)$	<p>Para duas linhas verticais de parafusos (<math>n_2=2</math>)</p> $V_{pl,AB,Rd} = \frac{t_{w,b1} (e_{2,b} + p_2) f_{y,b1}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$
<p><math>M_{c,BC,Rd}</math> – é o momento resistente na BC de alma de viga</p>	<p><math>V_{BC,Ed}</math> – é a força de corte na Bc de alma de viga</p> $= V_{Ed} \frac{(n_1 - 1) p_1}{h_{b1}}$
<p><b>Para baixo corte (<math>i, e V_{Ed} \leq 0.5 V_{pl,N,Rd}</math>)</b></p> $M_{c,BC,Rd} = \frac{f_{y,b1} t_{w,b1}}{6 \gamma_{M0}} ((n_1 - 1) p_1)^2$	<p><math>h_{b1}</math> – a altura da viga</p>
<p><b>Para alto corte (<math>i, e V_{Ed} &gt; 0.5 V_{pl,N,Rd}</math>)</b></p> $M_{c,BC,Rd} = \frac{f_{y,b1} t_{w,b1}}{6 \gamma_{M0}} ((n_1 - 1) p_1)^2 \left( 1 - \left( \frac{2 V_{BC,Ed}}{V_{pl,BC,Rd}} - 1 \right)^2 \right)$	<p><math>V_{pl,AB,Rd}</math> – é resistencia ao corte na AB de alma de vida</p> <p><math>V_{pl,BC,Rd}</math> – é resistencia ao corte na BC de alma de vida</p>
$V_{pl,BC,Rd} = \frac{t_{w,b1} (n_1 - 1) p_1 \times f_{y,b1}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$	

Verificação 5	Viga apoiada – Resistência de entalhe
<p><b>Interação corte e flexão no entalhe de viga:</b></p> <p><b>Requisitos Básicos:</b></p> <p><b>Para uma linha de parafusos ou para duas linhas de parafusos se <math>X_n \geq 2.d</math></b></p> $V_{Ed}(g_h + l_n) \leq M_{v,N,Rd}$ <p><math>M_{v,N,Rd}</math> – é o momento resistente da viga com entalhe na presença de corte</p> <p><b>Para viga com um entalhe:</b></p> <p><b>Para baixo corte (<math>i.e V_{Ed} \leq 0.5V_{pl,N,Rd}</math>)</b></p> $M_{v,N,Rd} = \frac{f_{y,b1}W_{el,N}}{\gamma_{M0}}$ <p><b>Para alto corte (<math>i.e V_{Ed} &gt; 0.5V_{pl,N,Rd}</math>)</b></p> $M_{c,N,Rd} = \frac{f_{y,b1}W_{el,N}}{\gamma_{M0}} \left( 1 - \left( \frac{2V_{Ed}}{V_{pl,N,Rd}} - 1 \right)^2 \right)$ <p><b>Para viga com duas entalhe se <math>X_n \geq 2.d</math></b></p>	<p><b>Onde:</b></p> <p><math>W_{el,N}</math> – é o modulo elastico de de secção bruta tee de no entalhe</p> <p><math>V_{pl,N,Rd}</math> – é a resistencia no entalhe de viga com unico entalhe</p> $V_{pl,N,Rd} = \frac{A_{v,N}f_{y,b1}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$ $A_{v,N} = A_{Tee} - b_{b1}t_{f,b1} + (t_{w,b1} + 2r_{b1}) \frac{t_{r,b1}}{2}$ <p><math>V_{pl,DN,Rd}</math> – é a resistencia no entalhe de viga com dupla entalhe</p> $V_{pl,DN,Rd} = \frac{A_{v,DN}f_{y,b1}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$

**Para baixo corte ( $i, e V_{Ed} \leq 0.5V_{pl,N,Rd}$ )**

$$M_{v,DN,Rd} = \frac{f_{y,b1} t_{w,b1}}{6\gamma_{M0}} (e_{1,b} + (n_1 - 1)p_1 + h_e)^2$$

$$A_{v,DN} = 0.9t_{w,b1}(e_{1,b} + (n_1 - 1)p_1 + h_e)$$

$t_{w,b1}$  – espessura de alma e viga

**Para alto corte ( $i, e V_{Ed} > 0.5V_{pl,N,Rd}$ )**

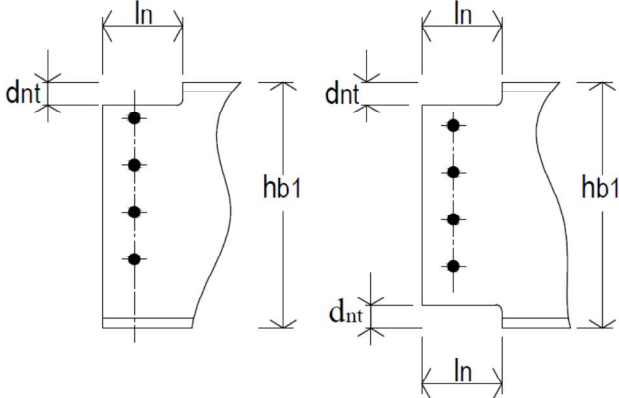
$$M_{v,DN,Rd} = \frac{f_{y,b1} t_{w,b1}}{6\gamma_{M0}} (e_{1,b} + (n_1 - 1)p_1 + h_e)^2 \cdot \left(1 - \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,DN,Rd}} - 1\right)^2\right)$$

$t_p$  – espessura da chapa de alma

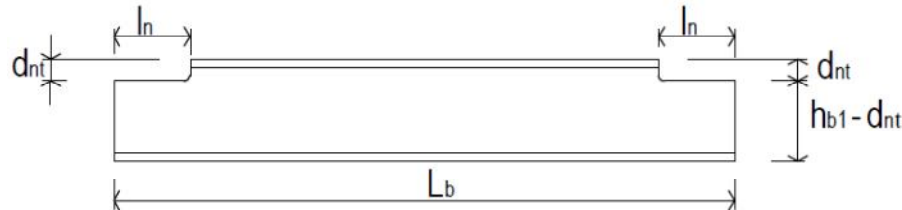
$$M_{v,N,Rd} = M_{c,Rd} \text{ de verificação 4}$$

**Para duas linhas de parafusos Xn <2.d**

$$\max \left( V_{Ed}(g_h + l_n); V_{Ed}(g_h + e_{2,b} + p_2) \right) \leq M_{v,N,Rd}$$

Verificação 6	Viga apoiada – Estabilidade local de viga com entalhe
	
<p>Quando a viga é restringida a encurvadura lateral torsional, não é preciso considerar estabilidade do entalhe, desde que sejam atendidas as seguintes condições:</p>	
<p>Requisitos básicos:</p>	
<p>Para viga com um único entalhe</p>	
$d_{nt} \leq h_{b1} \quad e$	
$l_n \leq h_{b1} \quad \text{para } h_{b1}/t_{w,b1} \leq 54.3 \quad (\text{Aço S275})$	
$l_n \leq \frac{160000h_{b1}}{(h_{b1}/t_{w,b1})^3} \quad \text{para } h_{b1}/t_{w,b1} > 54.3 \quad (\text{Aço S275})$	
$l_n \leq h_{b1} \quad \text{para } h_{b1}/t_{w,b1} \leq 48.0 \quad (\text{Aço S355})$	
$l_n \leq \frac{110000h_{b1}}{(h_{b1}/t_{w,b1})^3} \quad \text{para } h_{b1}/t_{w,b1} > 48.0 \quad (\text{Aço S355})$	
<p>Para viga com mais de um entalhe</p>	
$\max(d_{nt}; d_{nb}) \leq \frac{h_{b1}}{5} \quad e$	
$l_n \leq h_{b1} \quad \text{para } h_{b1}/t_{w,b1} \leq 54.3 \quad (\text{Aço S275})$	
$l_n \leq \frac{160000h_{b1}}{(h_{b1}/t_{w,b1})^3} \quad \text{para } h_{b1}/t_{w,b1} > 54.3 \quad (\text{Aço S275})$	
$l_n \leq h_{b1} \quad \text{para } h_{b1}/t_{w,b1} \leq 48.0 \quad (\text{Aço S355})$	
$l_n \leq \frac{110000h_{b1}}{(h_{b1}/t_{w,b1})^3} \quad \text{para } h_{b1}/t_{w,b1} > 48.0 \quad (\text{Aço S355})$	
<p><math>t_{w,b1}</math> – é a espessura de alma de viga apoiada</p>	
<p>Quando o comprimento de entalhe <math>l_n</math>, excede esses limites, então deve obter a rigidez adequado ou entalhe deve ser verificado.</p>	

## Verificação 7

Viga apoiada não restringida – Estabilidade  
global de viga com entalhe

Quando a viga com entalhe é restringido a encurvadura lateral torsional, a estabilidade global da viga deve ser verificada de seguinte:

- (1). Esta verificação só é aplicável para vigas com um entalhe num banzo.
- (2). Se o comprimento de entalhe  $l_n$  e / ou altura de entalhe  $d_{nt}$  são diferentes em cada extremidade, então deve ser usado os valores maiores de  $l_n$  e  $d_{nt}$ .
- (3). Vigas devem ser verificadas para encurvadura lateral torsional conforme a cláusula 6.3.2 de EN 1993-1-1<sup>[14]</sup>, usando um comprimento efetivo para o cálculo de  $M_{cr}$ , momento crítico elástico para encurvadura lateral torsional.
- (4). A solução abaixo oferece o comprimento efetiva ( $L_E$ ), com base em referências 20. Ela só é válida para  $l_n / L_b < 0,15$  e  $d_{nt} / h_{b1} < 0,2$ . Para as vigas com entalhes fora destes limites devem ser verificadas como seções Tee, ou rígidas.

**Requisitos Básicos:**

$$L_E = L_b \left( 1 + \frac{2l_n}{L_b} (K^2 + 2K) \right)^{1/2}$$

$$K = \frac{K_0}{\lambda_b}$$

$$\lambda_b = \frac{UVL_b}{i_z}$$

**Onde:**

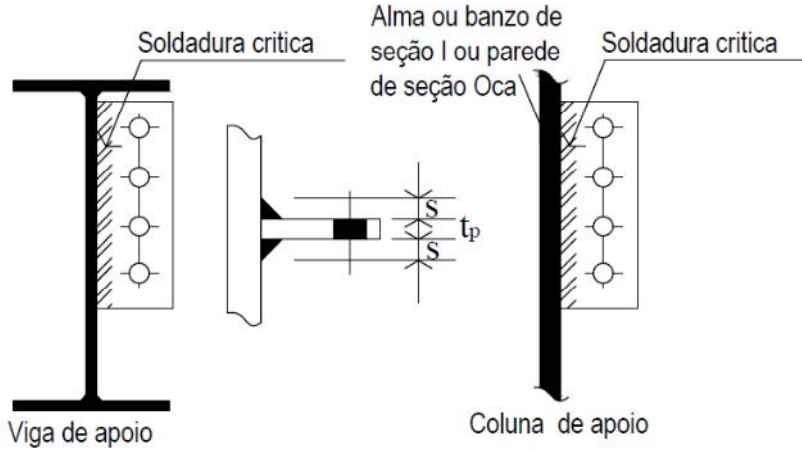
X,U,V e  $i_z$  – são assumidos

$$U = 0.9 \quad \text{e} \quad V = 1.0$$

Para  $\lambda_b < 30$   $K_0 = 1.1 g_0 \cdot X$  mas  $\leq 1.1 K_{max}$

Para  $\lambda_b \geq 30$   $K_0 = g_0 \cdot X$  mas  $\leq K_{max}$

$g_0$  e  $K_{max}$  – ver a verificação 7 da ligação com chapa de extremidade (4-1)

Verificação 8	Viga/Coluna de apoio – Soldadura
	
<p>Resistência de soldadura na ligação de chapa de alma com a viga ou coluna de apoio sujeito a momento de flexão e corte.</p>	
<p><b>Requisitos Básicos:</b></p> <p><math>a \geq 0.5t_p</math> para Chapa de alma S275</p> <p><math>a \geq 0.6t_p</math> para Chapa de alma S355</p>	<p><b>Onde:</b></p> <p><math>a</math> – é a espessura efectiva de garganta de soldadura = <math>0.7S</math></p> <p><math>s</math> – é comprimento da perna de soldadura</p>
<p><b>Nota:</b></p> <p>Esta verificação garante que a soldadura não seja a parte mais fraca da ligação</p>	

Verificação 10	Viga/Coluna de apoio – Corte e flexão (com uma viga apoiada)
<p> <math>z = e_{2,b} + g_h</math> - para uma linha de parafusos  <math>z = e_{2,b} + g_h + p_2/2</math> - para duas linhas de parafusos         </p> <p>             Coluna seção I      Coluna seção SHS      Coluna seção CHS         </p> <p>             Espessura de alma <math>t_2</math>      Espessura de alma <math>t_2</math>      Espessura de alma <math>t_2</math> </p>	
<p>Corte local e resistência ao corte por perfuração na alma de viga, alma de coluna de seção I, ou parede de colunas de secção quadrada a circular, que apoiam uma viga.</p>	
<p><b>Requisitos Básicos:</b></p> $\frac{V_{Ed}}{2} \leq F_{Rd}$ $F_{Rd} = A_v \frac{f_{y,2}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$	<p><b>Onde:</b></p> $A_v = h_p t_2$ <p><math>t_2</math> – é a espessura de alma de viga ou de coluna de apoio</p> <p><math>h_p</math> – é a altura de chapa de alma</p>
<p><b>Corte por perfuração</b></p> <p>Uma vez que a condição dada abaixo for satisfeita, plasticidade de chapa de alma ocorre antes da rotura por corte de perfuração no elemento de apoio.</p> $t_p \leq t_2 \frac{f_{u,2}}{f_{y,p}\gamma_{M0}} \text{ (conservativa)}$ $t_p \leq t_2 \frac{f_{u,2} t_p h_p^2}{V_{Ed} 6 Z \gamma_{M2}}$	
<p>Se os requisitos não são satisfeitos será necessário os reforços.</p>	

<p>Verificação 10 (continuação)</p>	<p>Viga/Coluna de apoio – Corte e flexão (com duas vigas apoiadas)</p>
<p>Corte local e resistência ao corte por perfuração na alma de viga de apoio ou alma de coluna, que apoiam duas vigas.</p>	
<p><b>Requisitos Básicos:</b></p> $\frac{V_{Ed,tot}}{2} \leq F_{Rd}$ $V_{Ed,tot} = \left( \frac{V_{Ed,1}}{h_{p,1}} + \frac{V_{Ed,2}}{h_{p,2}} \right) h_{p,min}$ $F_{Rd} = \frac{A_v f_{y,2}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$	<p><b>Onde:</b></p> $A_v = h_{p,min} t_2$ $h_{p,min} = \min(h_{p,1}; h_{p,2})$ <p><math>f_{y,2}</math> – é capacidade de cedencia de elemento de apoio</p>

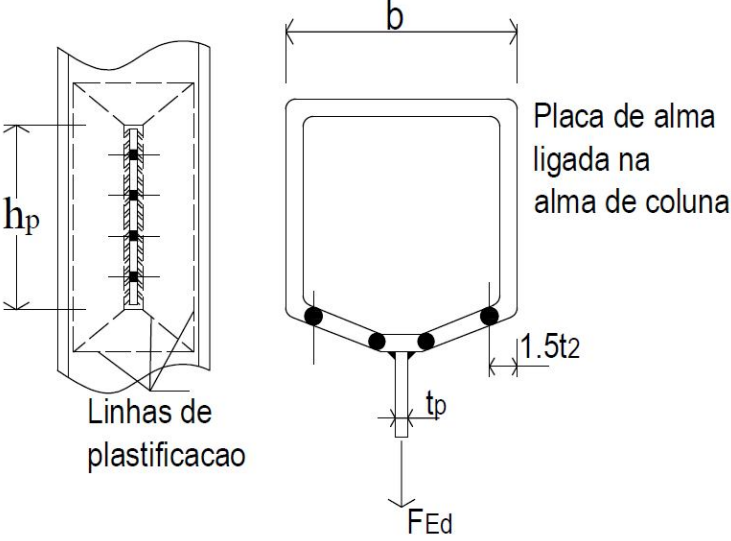


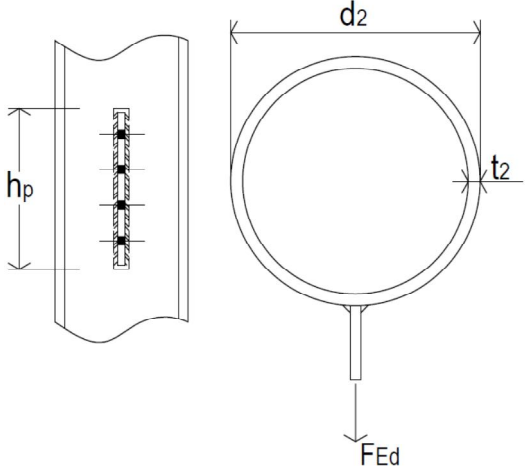
Verificação 11	Robustez – Chapa e parafusos
<p><b>Nota</b></p>	
<p>Para resistir uma força de tração de 75 kN, a ligação deve ter pelo menos 2 parafusos M20, 8,8 e a espessura de chapa de alma <math>\geq 6</math> mm.</p>	
<p>Robustez - Tração e resistência ao esmagamento na chapa de alma:</p>	
<p>Resistência a tração na chapa de alma</p>	<p><b>Onde:</b></p>
<p>Requisitos Básicos:</p>	<p><b>Para caso 1:</b></p>
$F_{Ed} \leq F_{Rd,u}$	$A_{nt} = t_p((n_1 - 1)p_1 - (n_1 - 1)d_0)$
<p><math>F_{Rd,u}</math> – é menor de resistencia a tração na bloco a tração, <math>F_{Rd,b}</math> e resistencia a trasão na secção útil</p>	<p><b>P/ uma linha vertical de paraf. (<math>n_2=1</math>)</b></p>
$F_{Rd,n} = \frac{f_{u,p} A_{nt}}{\gamma_{M0}} + \frac{f_{y,p} A_{nt}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} ; F_{Rd,b} = \frac{0.9 A_{net,p} f_{u,p}}{\gamma_{Mu}}$	$A_{nv} = 2 \cdot t_p(e_2 - d_0/2)$
	<p><b>P/ duas linhas vertic. De paraf. (<math>n_2=2</math>)</b></p>
	$A_{nv} = 2 \cdot t_p(p_2 + e_2 - 3d_0/2)$
<p>Parafusos ao Corte</p>	<p><b>Para caso 2:</b></p>
<p>Requisitos Básicos: <math>F_{Ed} \leq F_{Rd,u}</math></p>	$A_{nt} = t_p((n_1 - 1)p_1 - (n_1 - 0.5)d_0 + e_1)$
$F_{Rd,u} = n \cdot F_{v,u} ; F_{v,u} = \frac{\alpha_v f_{ub} \cdot A}{\gamma_{Mu}}$	<p><b>P/ uma linha vertical de paraf. (<math>n_2=1</math>)</b></p>
	$A_{nv} = t_p(e_2 - d_0/2)$
<p>Esmagamento de parafusos na chapa de alma</p>	<p><b>P/ duas linhas vertic. De paraf. (<math>n_2=2</math>)</b></p>
<p><b>Requisitos Básicos:</b> <math>F_{Ed} \leq F_{Rd,u}</math></p>	$A_{nv} = t_p(p_2 + e_2 - 3d_0/2)$
$F_{Rd,u} = n \cdot F_{b,hor,Rd,u} ; F_{b,hor,Rd,u} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,p} \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{Mu}}$	$A_{net,p} = t_p(h_p - d_0 n_1)$
	$\alpha_v = 0.6 - \text{parafusos de classe 8.8}$
	$\alpha_b = \min\left(\frac{e_2}{3 \cdot d_0} ; \frac{p_2}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} ; \frac{f_{ub}}{f_{u,p}} ; 1.0\right)$
	$K_1 = \min\left(2.8 \frac{e_1}{3 \cdot d_0} - 1.7 ; 1.4 \frac{p_1}{d_0} - 1.7 ; 1.0\right)$
<p>Ao calcular <math>k_1</math> e <math>\alpha_b</math> para ligações com uma única linha vertical de parafusos (<math>n_2 = 1</math>), os termos envolvendo <math>p_2</math> são ignorados</p>	

Verificação 12	Robustez – Alma de viga apoiada
<p><b>Robustez – Resistência a tração e flexão na alma de viga</b></p> <p><b>Resistência a tração na alma de viga</b></p> <p>Requisitos Básicos:</p> $F_{Ed} \leq F_{t,Rd,u}$ <p><math>F_{t,Rd,u}</math> – é menor de resistência a tração na bloco a tração, <math>F_{Rd,b}</math> e resis – tência ao tração na secção útil, <math>F_{Rd,n}</math></p> $F_{Rd,n} = \frac{f_{u,b1} A_{nt}}{\gamma_{Mu}} + \frac{f_{y,b1} A_{nv}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} ;$ $F_{Rd,b} = \frac{0.9 A_{net,wb} f_{u,b1}}{\gamma_{Mu}}$ <p><b>Esmagamento de parafusos na alma</b></p> <p>Requisitos Básicos</p> $F_{Ed} \leq F_{Rd,u}$ $F_{Rd,u} = n \cdot F_{b,hor,Rd,u}$ $F_{v,u} = \frac{k_1 \alpha_b f_{u,b1} \cdot d \cdot t_{w,b1}}{\gamma_{Mu}}$ <p>Ao calcular <math>k_1</math> e <math>\alpha_b</math> para ligações com uma única linha vertical de parafusos (<math>n_2 = 1</math>), os termos envolvendo <math>p_2</math> são ignorados.</p>	<p><b>Onde:</b></p> <p><b>Para caso 1:</b></p> $A_{nt} = t_{w,b1} ((n_1 - 1)p_1 - (n_1 - 1)d_0)$ <p><b>P/ uma linha vertical de paraf. (<math>n_2=1</math>)</b></p> $A_{nv} = 2 \cdot t_{w,b1} (e_{2,b} - d_0/2)$ <p><b>P/ duas linhas vertic. De paraf. (<math>n_2=2</math>)</b></p> $A_{nv} = 2 \cdot t_{w,b1} (p_2 + e_{2,b} - 3d_0/2)$ <p><b>Para caso 2:</b></p> $A_{nt} = t_{w,b1} ((n_1 - 1)p_1 - (n_1 - 0.5)d_0 + e_1)$ <p><b>P/ uma linha vertical de paraf. (<math>n_2=1</math>)</b></p> $A_{nv} = t_{w,b1} (e_{2,b} - d_0/2)$ <p><b>P/ duas linhas vertic. De paraf. (<math>n_2=2</math>)</b></p> $A_{nv} = t_{w,b1} + (p_2 + e_2 - 3d_0/2)$ $A_{net,wb} = t_{w,b1} (h_{wb} - d_0 n_1)$ $h_{wb} = h_p \text{ (conservativo)}$ $\alpha_b = \min \left( \frac{e_{2,b}}{3 \cdot d_0} ; \frac{p_2}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \cdot \frac{f_{ub}}{f_{u,b1}} ; 1.0 \right)$ $k_1 = \min \left( 1.4 \frac{p_1}{d_0} - 1.7 ; 2.5 \right)$

Verificação 13	Robustez – Soldaduras
A medida da soldadura especificado na Verificação 8 é considerada adequada para resistência a tracção.	

Verificação 14	Robustez – Coluna de apoio (IPE OU HEB)
<p>Robustez - resistência a tração na alma de pilar em secção laminadas, na presença de compressão axial na coluna</p> <p><b>Requisitos básicos:</b></p> $F_{Ed} \leq F_{Rd,u}$ $F_{Rd,u} = \frac{8M_{pl,Rd,u}}{\gamma_{Mu}(1-\beta_1)} (\eta_1 + 1.5(1-\beta_1)^{0.5})$ $M_{pl,Rd,u} = \frac{1}{4} f_{u,2} t_2^2$ <p>O fator 1.5 na equação para <math>F_{rd,u}</math> inclui uma previsão de compressão axial na coluna</p> <p>Nota:</p> <p>Esta verificação é necessária tanto para ligações no único lado da alma de coluna ou ligações em dois lados da alma da coluna com carregamentos desiguais</p> <p><b>Onde:</b></p> <p><math>t_2</math> – é a espessura de alma de coluna</p> $\eta_1 = \frac{h_p}{d_c}$ $\beta_1 = \frac{t_p + 2s}{d_c}$ <p><math>d_c</math> – é a altura de parte recta de alma de coluna</p> <p><math>a</math> – é a garganta de solda = 0.7s</p> <p><math>s</math> – é o comprimento de perna de soldadura de angulo</p>	

Verificação 15	Robustez – Coluna de apoio (Secção Retangular)
	
<p>Robustez - resistência a tração na alma de pilar em secção retangular, na presença de compressão axial na coluna</p>	
<p><b>Requisitos básicos:</b></p>	<p><b>Onde:</b></p>
$F_{Ed} \leq F_{Rd,u}$	<p><math>t_2</math> – espessura de parede de coluna em secção retangular</p>
$F_{Rd,u} = \frac{8M_{pl,Rd,u}}{\gamma_{Mu}(1-\beta)} (\eta + 1.5(1 - \beta)^{0.5})$	$\eta = \frac{h_p}{b-3t_2}$
$M_{pl,Rd,u} = \frac{1}{4} f_{u,2} t_2^2$	$\beta = \frac{t_p+2s}{b-3t_2}$
<p>O fator 1.5 na equação para <math>F_{rd,u}</math> inclui uma previsão de compressão de secção retangular onde é feita</p>	<p><math>b</math> – largura total de coluna axial na coluna</p>
	<p>a ligação  <math>a</math> – garganta de solda = 0.7s  <math>s</math> – é o comprimento de perna de soldadura de angulo</p>

Verificação 16	Robustez – Parede de coluna de apoio (Secção CHS)
	
<p>Robustez - resistência a tração na parede de secção circular, na presença de compressão axial na coluna</p>	
<p><b>Requisitos básicos:</b></p> $F_{Ed} \leq F_{Rd}$ $F_{Rd} = \frac{5 \cdot f_{u,2} \cdot t_2^2 \cdot (1 - 0.25\eta) \cdot 0.67}{\gamma_{Mu}}$	<p><b>Onde:</b></p> <p><math>t_2</math> – é a espessura de parede de coluna em secção circular</p> $\eta = \frac{h_p}{d_2}$ <p><math>d_2</math> – é diametro de coluna de secção circular</p> <p>O fator 0.67 na equação para <math>F_{rd}</math> inclui uma previsão de compressão axial na coluna</p>

## Anexo B.3 – verificação da ligação rotulada com cantoneira de alma

Verificação 1	Recomendação de detalhes pratica
<p>Nota:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. As cantoneiras são geralmente posicionadas perto de banzo superior de viga na posição adequada para proporcionar a contensão. Comprimento da cantoneira deve ser pelo menos <math>0.6h_{b1}</math> é usualmente adotado para dar "contensão de torção nominal" (BS 5950-1<sup>[4]</sup> Tabela 13 e cláusula 4.2.2).</li> <li>2. Além disso, para ligações com colunas de secção SHS, <math>g</math> deve ser de pelo menos <math>0,3</math> x largura da face</li> <li>3. Requisitos detalhados para as ligações com parafusos flowdrill e hollo para colunas da secção quadrada também deve cumprir com as Tabelas 7-4 em anexo.</li> <li>4. Espaçamento de parafusos e as distâncias de extremidades devem cumprir com as recomendações de EC3-1-8<sup>[14]</sup> e da BS 5950-1: 2000<sup>[4]</sup>.</li> </ol> <p>Para as vigas da secção I ligadas a banzo da coluna, são obrigadas cumprir com os requisitos de robustez para uma força de tração de 75kN, a ligação deve ter, pelo menos, dois parafusos a tração de M20, 8.8 com: <math>l \geq 140</math> mm, <math>t_c \geq 8</math> mm e <math>g \leq 140</math> mm.</p> <p>Para forças de tração maiores e outras a ligação (por exemplo, alma de coluna de secção quadrada, verificação 11 a 15, devem ser feitas, conforme o caso.</p>	

Verificação 2	Viga apoiada – grupo de parafuso
<p style="text-align: center;">Verificar esses parafusos a corte na carregamento com excentricidade</p> <p style="text-align: center;">Uma linha de parafuso</p> <p style="text-align: center;">Duas linhas de parafuso</p>	
<p>A capacidade ao corte de grupo de parafuso que liga cantoneira de alma na viga apoiada (tendo em conta a excentricidade 'z<sub>p</sub>' para uma única linha de parafusos e (z= z<sub>p</sub> + x) para a dupla linha de parafusos.)</p>	
<p><b>Requisitos Básicos:</b></p>	
<p style="text-align: center;"><math>F_s \leq 2P_s</math></p> <p><math>P_s</math> – força resultante no parafusoo mais afastada devido ao corte momento</p>	<p><b>Onde:</b></p> <p><math>p_1</math> – Espaçamento vertical de parafusos</p>
<p><b>Para uma linha de parafusos</b></p> $F_s = (F_{sv}^2 + F_{sm}^2)^{1/2}$	<p><math>s</math> – distância de centro de grupo de parafusos a cada parafuso</p>
<p><math>F_s</math> – Força vertical no parafusos devido ao corte</p> $F_s = \frac{F_v}{n}$	<p><math>s_{max}</math> – distância de centro de grupo de parafusos a cada parafusos mais afastada</p>
<p><math>F_{sm}</math> – Força no parafuso mais afastada devido momento</p>	<p><math>2P_s</math> – é a capacidade de carga de um um linha de parafuso na ligação com duplas linhas de parafusos</p>

$$F_{sm} = \frac{F_v Z}{Z_{bg}}$$

$Z_{bg}$  – Modulo elastico de secção de grupo de parafusos

$$Z_{bg} = \frac{n(n+1)p}{6}$$

$$2P_s = 2p_s \cdot A_s$$

$P_s$  – resistencia de parafuso ao corte

**Para duplas linhas de parafusos**

$$F_s = \left( (F_{sv} + F_{smv})^2 + F_{sm}^2 \right)^{1/2}$$

$A_s$  – Area de parafuso ao corte

$I_{bg}$  – Inercia de grupo de parafusos

$F_s$  – Força vertical no parafusos devido ao corte

$$F_s = \frac{F_v}{2n}$$

$F_{sv}$  – Força vertical no parafuso mais afastada devido momento

$$F_{smv} = \frac{M_x}{I_{bg}}$$

$F_{sm}$  – Força horizontal no parafuso mais afastada devido momento

$$F_{smv} = \frac{M_y}{I_{bg}}$$

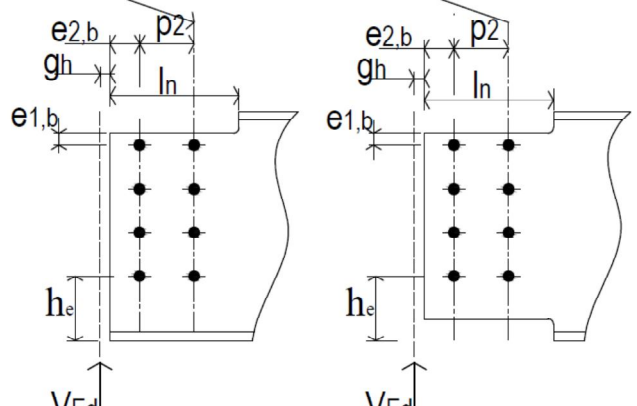
$$M = F_v (z_p + x)$$

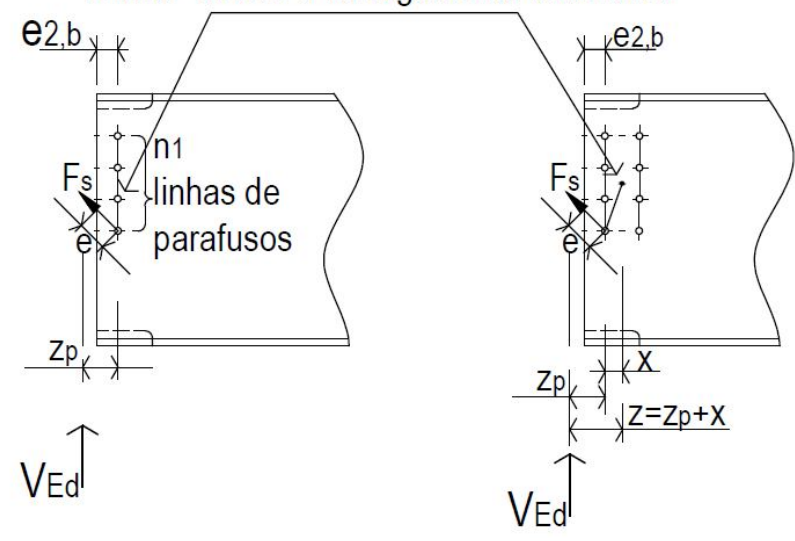
$$I_{bg} = \sum s^2$$



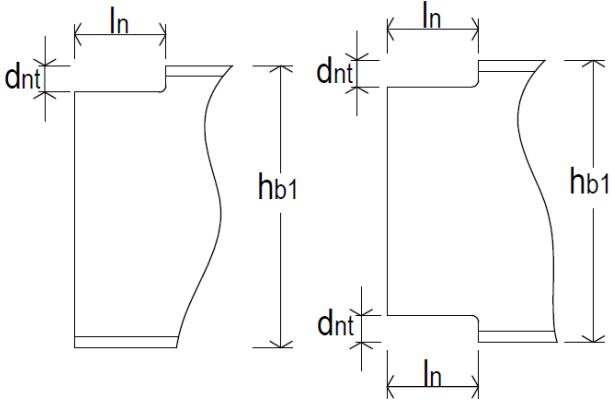


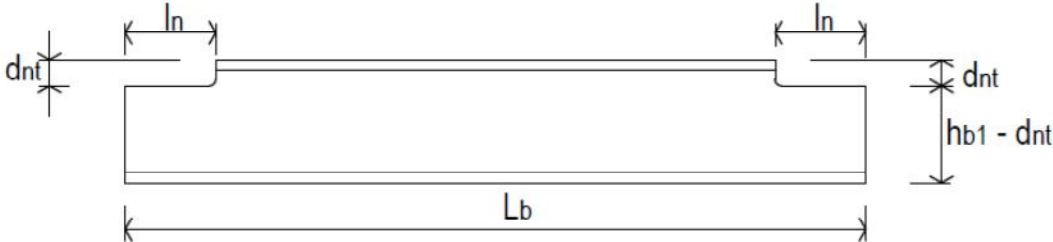
Verificação 4	Viga apoiada – Capacidade da ligação
<p><b>Capacidade de corte, flexão e esmagamento de alma de viga apoiada</b></p> <p><b>1. Para a corte:</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>Requisitos Básicos:</b></p> <math display="block">V_{Ed} \leq P_{v,min}</math> <p><math>P_{v,min}</math> – é a capacidade ao corte na alma de viga apoiar = menor resistencia na plano de corte, <math>P_v</math>; resistencia no bloco de corte, <math>P_r</math></p> <p><b>Para plano de corte</b></p> <math display="block">P_v = \min (0.6p_y A_v ; 0.7p_y k_e A_{v,net})</math> <math display="block">A_v = (e_t + (n - 1)p_1 + e_b)t_w</math> <p>(para um entalhe e viga com um unico entalhe)</p> <math display="block">A_v = 0.9(e_t + (n - 1)p_1 + e_b)t_w</math> <p>(para viga com duplo entalhe)</p> <math display="block">A_{v,net} = A_v - nD_h t_w</math> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>Bloco de Corte</b></p> <math display="block">P_r = 0.6p_y t_w (L_v + k_e (L_t - k D_h))</math> <math display="block">L_v = e_t + (n - 1)p</math> <p><math>k = 0.5 e</math> <math>L_t = e_{2,b}</math> – para uma linha de parafusos</p> <p><math>k = 2.5 e</math> <math>L_t = e_{2,b} + p_2</math> – para duas linhas de parafusos</p> <p><b>Onde:</b></p> <p><math>k_e = 1.2</math> para aço S275</p> <p><math>k_e = 1.1</math> para aço S355</p> <p><math>p_1</math> – espaçamento de parafusos</p> <p><math>D_h</math> – diametro de furo</p> <p><math>t_w</math> – espessura de alma de viga</p> </div> </div>	

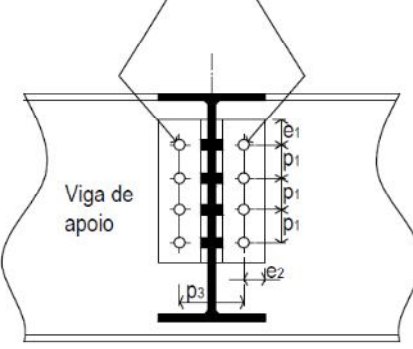
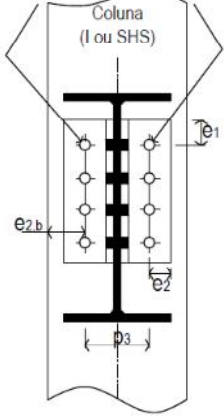
Verificação 4 (continuação)	Viga apoiada – Capacidade da ligação
<p>Nota: Se o comprimento do entalhe <math>l_n</math> é maior do que <math>(e_{2,b} + p_2)</math>, a interação corte e flexão deve ser verificada na segunda linha de parafusos. A extremidade de viga com entalhe pode também ser crítico - ver verificação 5.</p>	
<p style="text-align: center;">Seção crítica interação corte e flexão</p> 	
<p><b>2. Interação corte e flexão na 2ª linha de parafusos, se comprimento de entalhe</b></p>	
<p><math>l_n \geq (e_{2,b} + g_h)</math>:</p>	
<p><b>Requisitos Básicos:</b></p>	<p><b>Onde:</b></p>
$V_{Ed}(t_1 + e_{2,b} + p_2) \leq M_{CC}$	<p><math>M_{CC}</math> – capacidade de momento</p>
<p><b>Para viga com único entalhe:</b></p>	<p>de viga com entalhe na</p>
<p><b>Para baixa corte</b> (<math>i, e V_{Ed} \leq 0.75P_{v,min}</math>)</p>	<p>presença de corte</p>
$M_{CC} = p_y \cdot z$	<p><math>z</math> – modulo de secção elástico</p>
<p><b>Para alta corte</b> (<math>i, e V_{Ed} \geq 0.75P_{v,min}</math>)</p>	<p>de secção bruta tee, na linha</p>
$M_{CC} = 1.5p_y \cdot z \left( 1 - \left( \frac{V_{Ed}}{P_{v,min}} \right)^2 \right)^{1/2}$	<p>de parafusos</p>
<p><b>Para viga dois entalhes:</b></p>	
<p><b>Para baixa corte</b> (<math>i, e V_{Ed} \leq 0.75P_{v,min}</math>)</p>	
$M_{CC} = \frac{p_y t_w}{6} (e_{1,b} + (n-1)p_1 + h_e)^2$	
<p><b>Para alta corte</b> (<math>i, e V_{Ed} \geq 0.75P_{v,min}</math>)</p>	
$M_{CC} = \frac{p_y t_w}{4} (e_t + (n-1)p_1 + h_e)^2 \left( 1 - \left( \frac{V_{Ed}}{P_{v,min}} \right)^2 \right)^{1/2}$	

Verificação 4 (continuação)	Viga apoiada – Capacidade da ligação
<p style="text-align: center;">verificar grupo de parafusos a esmagamento devido a carregamento excêntrico</p>  <p><b>3. Para esmagamento:</b></p> $F_s \leq P_{bs}$ <p><math>F_s</math> – força resultante definida na verificação 2</p> <p><math>P_{bs}</math> – capacidade a esmagamento de alma de viga por parafusos</p> $P_{bs} = d \cdot t_w \cdot p_{bs} \quad \text{mas } P_{bs} \leq 0.5 \cdot e \cdot t_w \cdot p_{bs}$ <p><math>p_{bs}</math> – resistencia de alma de viga a esmagamento</p> <p><math>e</math> – distância de extremidade mais conservativa considerar igual <math>e_{2,b}</math></p>	

Verificação 5	Viga apoiada – Resistência de entalhe
<p><b>Interação corte e flexão no entalhe de viga:</b></p> <p><b>Requisitos Básicos:</b></p> <p><b>(a) Para uma linha de parafusos ou para duas linhas de parafusos se <math>X_n \geq 2.d</math></b></p> $V_{Ed}(g_h + l_n) \leq M_{cN}$ <p><b><math>M_{cN}</math> para viga com um entalhe:</b></p> <p><b>Para baixo corte (<math>i, e V_{Ed} \leq 0.75P_{vN}</math>)</b></p> $M_{cN} = p_y Z_n$ <p><b>Para alto corte (<math>i, e V_{Ed} &gt; 0.75P_{vN}</math>)</b></p> $M_{c,N} = 1.5 p_y Z_n \left( 1 - \left( \frac{V_{Ed}}{P_{vN}} \right)^2 \right)^{1/2}$ <p><b><math>M_{cN}</math> para viga com duplos entalhes</b></p> <p><b>Para baixo corte (<math>i, e V_{Ed} \leq 0.75P_{vN}</math>)</b></p> $M_{c,N} = \frac{p_y t_w}{6} (e_{1,b} + (n_1 - 1)p_1 + h_e)^2$ <p><b>Para alto corte (<math>i, e V_{Ed} &gt; 0.75P_{vN}</math>)</b></p> $M_{c,N} = \frac{p_y t_w}{4} (e_{1,b} + (n_1 - 1)p_1 + h_e)^2 \cdot \left( 1 - \left( \frac{V_{Ed}}{P_{vN}} \right)^2 \right)^{1/2}$ <p><b>(2) Para duas linhas de parafusos <math>X_n &lt; 2.d</math></b></p> $\max \left( V_{Ed}(g_h + l_n); V_{Ed}(g_h + e_{2,b} + p_2) \right) \leq M_{c,N}$ $M_{cN} = \frac{p_y t_w}{4} (e_t + (n - 1)p_1 + h_e)^2 \left( 1 - \left( \frac{V_{Ed}}{P_{v,min}} \right)^2 \right)^{1/2}$	<p><b>Onde:</b></p> <p><math>M_{cN}</math> – é o capac. momento de corte na viga com unico entalhe</p> <p><math>P_{vN}</math> – é a capacidade de corte no entalhe = <math>0.6p_y A_{vN}</math></p> <p><math>A_{vN} = (e_1 + (n - 1)p_1 + h_e)t_w</math> de viga com um entalhe</p> <p><math>A_{vN} = 0.9(e_1 + (n - 1)p_1 + h_e)t_w</math> de viga com um entalhe</p> <p><math>t_1</math> – extremidade dimensionada</p> <p><math>t_w</math> – espessura de alma e viga apoiada</p> <p><math>l_n</math> – comprimento de entalhe</p> <p><math>Z_N</math> – modulo de secção elastica bruta de tee</p> <p><math>X_n = +V_e</math></p> <p><math>e_{2,b}</math> e <math>g_h</math> – ver a verificação 4</p>

Verificação 6	Viga apoiada – Estabilidade local de viga com entalhe
	
<p>Quando a viga é restringido a encurvadura lateral torsional, não é preciso considerar estabilidade do entalhe, desde que sejam atendidas as seguintes condições:</p>	
<p>Requisitos básicos:</p>	
<p>Para viga com um único entalhe</p>	
$d_{nt} \leq h_{b1}/2 \quad e$ $l_n \leq h_{b1} \quad \text{para } h_{b1}/t_w \leq 54.3 \text{ (Aço S275)}$ $l_n \leq \frac{160000h_{b1}}{(h_{b1}/t_w)^3} \quad \text{para } h_{b1}/t_w > 54.3 \text{ (Aço S275)}$ $l_n \leq h_{b1} \quad \text{para } h_{b1}/t_w \leq 48.0 \text{ (Aço S355)}$ $l_n \leq \frac{110000h_{b1}}{(h_{b1}/t_w)^3} \quad \text{para } h_{b1}/t_w > 48.0 \text{ (Aço S355)}$	
<p>Para mais que um entalhe</p>	
$\max(d_{nt}; d_{nb}) \leq \frac{h_{b1}}{5} \quad e$ $l_n \leq h_{b1} \quad \text{para } h_{b1}/t_w \leq 54.3 \text{ (Aço S275)}$ $l_n \leq \frac{160000h_{b1}}{(h_{b1}/t_w)^3} \quad \text{para } h_{b1}/t_w > 54.3 \text{ (Aço S275)}$ $l_n \leq h_{b1} \quad \text{para } h_{b1}/t_w \leq 48.0 \text{ (Aço S355)}$ $l_n \leq \frac{110000h_{b1}}{(h_{b1}/t_w)^3} \quad \text{para } h_{b1}/t_w > 48.0 \text{ (Aço S355)}$	
<p><math>t_w</math> – é a espessura de alma de viga apoiada</p>	
<p>Quando o comprimento de entalhe <math>l_n</math>, excede esses limites, então deve obter a rigidez adequado ou entalhe deve ser verificado conforme referencia 19.</p>	

Verificação 7	Viga apoiada não restringida – Estabilidade global de viga com entalhe
	
<p>Quando a viga com entalhe é restringido a encurvadura lateral torsional, a estabilidade global da viga deve ser verificada de seguinte:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1). Esta verificação só é aplicável para vigas com um entalhe num banzo.</li> <li>(2). Se o comprimento de entalhe <math>l_n</math> e / ou altura de entalhe <math>d_{nt}</math> são diferentes em cada extremidade, então deve ser usado os valores maiores de <math>l_n</math> e <math>d_{nt}</math>.</li> <li>(3). Vigas devem ser verificadas para encurvadura lateral torsional conforme a cláusula 6.3.2 de EN 1993-1-1, usando um comprimento efetivo para o cálculo de <math>M_{cr}</math>, momento crítico elástico para encurvadura lateral torsional.</li> <li>(4). A solução abaixo oferece o comprimento efetiva (<math>L_E</math>)<sup>[19]</sup>. Ela só é válida para <math>l_n / L_b &lt; 0,15</math> e <math>d_{nt} / h_{b1} &lt; 0,2</math>. Para as vigas com entalhes fora destes limites devem ser verificadas como seções T, ou rígidas.</li> </ol>	
<p><b>Requisitos Básicos:</b></p> $L_E = L_b \left( 1 + \frac{2l_n}{L_b} (K^2 + 2K) \right)^{1/2}$ $K = \frac{K_0}{\lambda_b}$ $\lambda_b = \frac{UVL_b}{i_z}$	<p><b>Onde:</b></p> <p>X, U, V e <math>i_z</math> – são definidas na BS 5950<sup>[11]</sup></p> <p>U = 0.9 e V = 1.0 (conservativo)</p> <p>Para <math>\lambda_b &lt; 30</math> <math>K_0 = 1.1 g_0 \cdot X</math> mas <math>\leq 1.1 K_{max}</math></p> <p>Para <math>\lambda_b \geq 30</math> <math>K_0 = g_0 \cdot X</math> mas <math>\leq K_{max}</math></p>
<p><math>g_0</math> e <math>K_{max}</math> – ver a verificação 7 da ligação com chapa de extremidade (4-1)</p>	

Verificação 8	Ligação – Grupo de parafusos
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>Verificar parafusos a corte considerando carregamento excêntrico</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Verificar parafusos a corte considerando carregamento excêntrico</p>  </div> </div>	
<p>Capacidade de corte de grupo de parafusos que liga a cantoneira com a viga ou coluna de apoio.</p>	
<p><b>Requisitos básicos:</b></p> $V_{ed} \leq \sum P_S$ <p><math>P_S</math> – capacidade de um parafuso</p> $P_S = p_s \cdot A_s *$ <p>Mas para parafusos na parte de topo,  <math>P_S</math> é menor de <math>p_s \cdot A_s *</math> ou <math>0.5k_{bs}e_1t_cp_{bs}</math></p>	<p><b>Onde:</b></p> <p><math>p_s</math> – resistencia de parafusos ao corte</p> <p><math>e_1</math> – distância a extremidade</p> <p><math>A_s</math> – resistencia de parafusos ao corte</p> <p><math>t_c</math> – espessura de cantoneira</p> <p><math>p_{bs}</math> – resistencia de cantoneira ao corte</p> <p><math>k_{bs}</math> – 1.0 para furos standart de cantoneira flowdrill e hollo parafusos</p> <p><math>k_{bs} = 0.7</math> para furos oval curtas</p>



Verificação 9	Ligação – Chapa de extremidade ao corte
<p>Corte e capacidade de esmagamento de cantoneira ligada a ligada a viga ou coluna de apoio</p>	
<p><b>1. Para Corte:</b></p>	<p><b>Onde:</b></p>
<p><b>Requisitos básicos:</b></p>	<p><math>V_{ed}/2 \leq P_{v,min}</math></p>
<p><math>P_{v,min}</math> - a resistência de perna de cantoneira, = a menor capacidade de plano de corte <math>P_v</math> e a capacidade de bloco de corte <math>P_r</math></p>	<p><math>p_1</math> – espaçamento de parafusos</p>
<p><b>Plano de corte:</b></p>	<p><math>d</math> – diametro de parafusos *</p>
<p><math>P_{v,min} = \min (0.6p_y A_v ; 0.7p_y k_e A_{v,net})</math></p>	<p><math>D_h</math> – diametro de furo *</p>
<p><math>A_v = 0.9(2e_1 + (n - 1)p_1)t_c</math></p>	<p><math>t_c</math> – espessura de cantoneira</p>
<p><math>A_{v,net} = A_v - n \cdot D_h t_c</math></p>	<p><math>p_{bs}</math> – resistencia de cantoneira a esmagamento</p>
<p><b>Plano de corte:</b></p>	<p><math>e_1</math> – distância de extremidade</p>
<p><math>P_r = 0.6p_y t_c (L_v + k_e (L_t - k D_h))</math></p>	<p><math>k = 0.5 \quad e \quad L_t = e_2</math></p>
<p><math>L_v = e_1 + (n - 1)p_1</math></p>	<p>para unica linha de parafusos na perna de cantoneira marcada</p>
<p><b>2. Para esmagamento:</b></p>	<p><math>k_e = 1.2</math> para aço S275</p>
<p><b>Requisitos básicos:</b></p>	<p><math>k_e = 1.1</math> para aço S355</p>

$$F_v/2 \leq \sum P_{bs}$$

$\sum P_{bs}$  – capacidade de perna de cantoneira a esmagamento  
i, e para "n" parafusos

$P_{bs}$  – capacidade de perna de cantoneira a esmagamento por parafusos

$$P_{bs} = k_{bs} d t_c p_{bs}$$

Mas para os parafusos de topo

$P_{bs}$  é menor de:

$$k_{bs} d t_c p_{bs} \text{ ou } 0.5 k_{bs} e_1 t_c p_{bs}$$

$k_{bs} = 1.0$  para furos standart de parafusos flowdrill e hollo

$k_{bs} = 0.7$  para furos ablongos curtos

\* Para Hollo-Bolts  $d$  é o diâmetro nominal de parafusos, Mas  $D_h$  é o diâmetro de furo de cantoneira

Verificação 10	Viga ou coluna de apoio – Capacidade local (com uma viga apoiada)
<p><b>Corte local e resistência a esmagamento na alma da viga de apoio ou alma da coluna ou parede de seções quadrada com uma viga apoiada.</b></p>	
<p><b>1. Corte:</b></p>	<p><b>Onde:</b></p>
<p><b>Requisitos Básicos:</b></p>	<p><math>e_t = \min(e_{1,t}; 5d)</math></p>
<p style="text-align: center;"><math>V_{Ed}/2 \leq P_v</math></p>	<p><math>e_b = \min\left(e_{1,b}; \frac{p_3}{2}; 5d\right)</math> para viga de apoio</p>
<p><math>P_v</math> - é a capacidade local ao corte na alma de viga de apoio, ou alma de coluna I, ou parede de coluna da secção quadrada</p>	<p><math>e_b = \min\left(\frac{p_3}{2}; 5d\right)</math> para coluna de apoio</p>
<p><math>P_v = \min(0.6p_y A_v; 0.7p_y k_e A_{v,net})</math></p>	<p><math>p_1</math> – espaçamento de parafusos</p>
<p><math>A_v = (e_t + (n_1 - 1)p_1 + e_{b1})t_w</math></p>	<p><math>d</math> – diametro de parafuso *</p>
<p><math>A_{v,net} = A_v - n \cdot D_h t_w</math></p>	<p><math>D_h</math> – diametro de furo *</p>
<p><b>1. Para esmagamento:</b></p>	<p><math>t_w</math> – espessura de alma de viga ou de coluna ou parede seção circular</p>
<p><b>Requisitos básicos</b></p>	<p><math>k_{bs} = 1.0</math> para furos standart de flowdrill e hollo parafusos</p>
<p style="text-align: center;"><math>\frac{V_{Ed}}{2n} \leq P_{bs}</math></p>	<p><math>k_e = 1.2</math> para aço S275</p>
<p><math>P_{bs}</math> = capacidade de esmagamento por parafuso na alma de viga ou coluna</p>	<p><math>k_e = 1.1</math> para aço S355</p>

$$P_{bs} = k_{bs} d t_w p_{bs}$$

$p_{bs}$  – resistencia a esmagamento  
na viga apoiada ou coluna

\* Para Holo-Bolts  $d$  é o diâmetro nominal  
de parafusos, Mas  $D_h$  é o diâmetro de  
furo de cantoneira

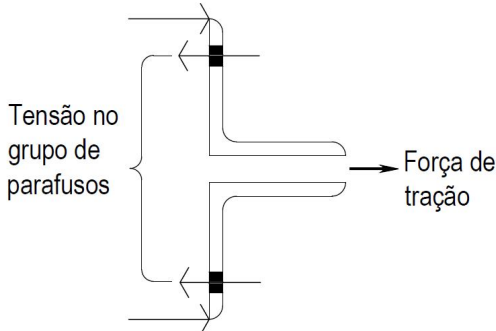
**Nota:** verificação de (1) acima é só para corte local; os efeitos de quaisquer forças de corte global também devem ser considerados.

Se a viga está ligado a um banzo de coluna de seção laminado, e a espessura de banzo da coluna é menor do que a espessura da cantoneira, então, a capacidade de esmagamento de banzo também deve ser verificado

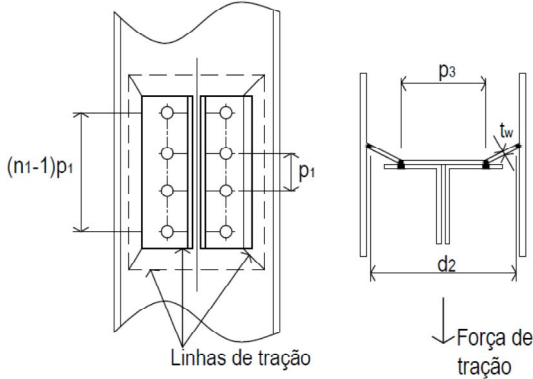
<p>Verificação 10 (Continuação)</p>	<p>Viga ou Coluna de apoio – Capacidade local (com duas vigas apoiadas)</p>
<p>Corte local e resistência de esmagamento na alma viga ou alma de coluna com duas vigas apoiadas</p>	
<p><b>1. Para Corte:</b></p>	
<p style="text-align: center;"><b>Requisitos Básicos:</b></p>	
$\frac{V_{Ed,1}}{2} + \frac{V_{Ed,2}}{2} \leq P_V$	
$V_{Ed1A} = V_{Ed1} \frac{n_2}{n_1}$	
<p><math>P_V</math> = capacidade de alma viga ou alma ou alma de coluna ao corte</p>	
<p><math>V_{Rd,min}</math> – é a resistencia local de elemento de apoio ao corte</p>	
$P_V = \min(0.6p_y A_v ; 0.7p_y k_e A_{v,net})$	
$A_v = t_w (e_t + (n_2 - 1)p_1 + e_b)$	
$A_{v,net} = A_v - n_2 D_h t_w$	
<p><b>1. Para Esmagamento</b></p>	
<p style="text-align: center;"><b>Requisitos básicos</b></p>	
$\frac{V_{Ed,1}}{2n_1} + \frac{V_{Ed,2}}{2n_2} \leq P_{bs}$	
<p><math>P_{bs}</math> = capacidade de viga ou coluna de apoio a esmagamento por parafuso</p>	
$P_{bs} = dt_w p_{bs}$	
<p><math>p_{bs}</math> = resistencia a esmagamento na viga de apoio ou coluna</p>	
<p style="text-align: right;"><b>Onde:</b></p>	
$e_t = \min(e_{1,t}; 5d)$	
$e_b = \min\left(e_{2,b}; \frac{p_3}{2}; p_1; 5d\right)$ para viga de apoio	
$e_b = \min\left(\frac{p_3}{2}; p_1; 5d\right)$ para coluna de apoio	
<p><math>t_w</math> – é a espessura de elemento de apoio (alma de viga ou alma de coluna)</p>	
<p><math>D_h</math> – é o diametro de furo</p>	
<p><math>d</math> – é o diametro de parafuso</p>	
<p><math>p_1</math> – espaçam. entre parafusos</p>	
$k_e = 1.2 \text{ para aço S275}$	
$k_e = 1.1 \text{ para aço S355}$	

Verificação 11	Robustez – Elemento da ligação
<p>Nota: Esta verificação é necessária apenas para cumprir os requisitos de robustez</p>	
<p><b>Robustez – capacidade de tração das cantoneiras ligadas:</b></p>	
<p><b>Requisitos básicos:</b></p>	<p><b>Onde:</b></p>
<p><b>Força tração <math>\leq</math> Capacidade de tração das duas</b></p>	
<p><b>Cantoneiras ligadas</b></p>	<p><math>L_e</math> = comprimento efectivo</p>
<p>Capacidade de tracção para das duas cantoneiras</p>	<p><math>L_e = 2e_e + (n - 1)p_e - nD_h</math></p>
<p>= <math>0.6L_e t_c p_y</math> – para aço S275</p>	<p><math>e_e = e_1</math> mas <math>\leq e_2</math></p>
<p>= <math>0.5L_e t_c p_y</math> – para aço S355</p>	<p><math>p_e = p</math> mas <math>\leq 2e_2</math></p>
	<p><math>p_1</math> = espaçamento entre parafusos</p>
	<p><math>t_w</math> – espessura de cantoneira</p>
	<p><math>D_h</math> – diâmetro de furo</p>
<p><b>Limitações:</b></p>	
<p><math>g \leq 140</math> mm</p>	
<p><math>t_c \geq 8</math> mm</p>	
<p>* Para parafusos hollo <math>D_h</math> é o diâmetro de furo da cantoneira</p> <p>Nota: Anexo B de publicação de publicação P212 de SCI and BCSA <sup>[19]</sup> aborda cálculo rigorosa da capacidade de tração das cantoneiras</p>	

Verificação 12	Robustez – Elemento da ligação
<p>Nota: Esta verificação é necessária apenas para cumprir os requisitos de robustez</p>	
<p><b>Robustez – capacidade de tração e esmagamento na alma de viga:</b></p>	
<p><b>1. Para tração</b>  <b>Requisitos básicos:</b>  <b>Força tração ≤ Capacidade líquida de tração na alma de viga</b>                  Capacidade líquida de tração na alma de viga  <math>= L_e t_w p_y</math></p>	<p><b>Onde:</b>  <math>D_h</math> – diâmetro de furo  <math>L_e</math> – comprimento efectivo  <math>L_e = 2e_e + (n - 1)p_e - nD_h</math>  <math>e_e = e_{2,b}</math> mas <math>\leq e_{1,b}</math> para uma linha de parafusos  <math>e_e = e_{2,b} + p_2 - D_h</math> mas <math>\leq e_{1,b}</math> para duas linhas de parafusos  <math>p_e = p_1</math> mas <math>\leq 2e_{1,b}</math> para uma linha de parafusos  <math>p_e = p_1</math> mas <math>\leq 2(e_{2,b} + p_2 + D_h)</math> para duas linhas de parafusos  <math>t_w</math> – espes. de alma de viga  <math>d</math> – diâmetro de parafusos  <math>p_{bs}</math> – resistencia de alma de viga a esmagamento</p>
<p><b>1. Para esmagamento</b>  <b>Requisitos básicos:</b>  <b>Força tração ≤ Capacidade líquida de esmagamento na alma de viga</b>                  Capacidade de esmagamento na alma de viga  <math>= 1.5ndt_w p_{bs}</math> mas <math>\leq 0.5ne_{2,b}t_w p_{bs}</math>                  Para uma linha de parafusos  <math>= 3ndt_w p_{bs}</math> mas <math>\leq n(1.5dt_w p_{bs} + 0.5e_{2,b}t_w p_{bs})</math>                  Para duas linhas de parafusos</p>	

Verificação 13	Robustez – Tração no grupo de Parafusos
	
<p>Nota: Esta verificação é necessária apenas para cumprir os requisitos de integridade estrutural</p>	
<p><b>Robustez – capacidade de tração nos parafusos na presença de alavanca</b></p>	
<p><b>Requisitos básicos:</b></p>	<p><b>Onde:</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>Força de tração <math>\leq</math> Capacidade de tração de parafusos em grupo</b></p>	<p><math>n</math> = numero de linhas de paraf.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Capacidade de grupo de parafusos a tração <math>\leq 2nA_s p_{tr}</math> *</b></p>	<p><math>A_s</math> = area de tração no parafusos</p>
<p><b>* Para parafusos Hollo e Flowdril ver nota (3) abaixo</b></p>	<p><math>P_{tr}</math> = resistencia de tração reduzida de parafuso, na presença de prying extremo</p>
	<p><math>P_{tr} = \frac{300N}{mm^2}</math> para parafusos de classe 8.8</p>
<p><b>Notas:</b></p>	
<p>1. A resistência reduzida a tração, (<math>P_{tr}</math>) é usado somente quando o dimensionamento das cantoneiras para a robustez é baseado no anexo B de publicação P212 de SCI and BCSA, 2012 <sup>[19]</sup> ou verificação 11.</p>	
<p>2. Quando a viga é ligado a um lado da alma de coluna sem viga no lado oposto, ou coluna da secção retangular, tração nos parafusos tem que ser resistente a flexão local na alma ou parede de secção retangular. A alma de IPE pode resistir 75kN, mas precisa ser verificado se esta força de tração é maior. A alma de HEB precisam ser verificados para 75kN e forças de tração maiores. Verificação 14 propõe um modelo de dimensionamento que pode ser usada para esta finalidade.</p>	
<p>Verificação 15 propõe um modelo de dimensionamento para a verificação da parede da coluna da secção quadradas ou retangulares.</p>	
<p>3. Para ligação com parafusos Flowdrill ou Hollo o valor em <math>A_t P_{tr}</math> é substituído pela capacidade a Robustez a tração (<math>P_{si}</math>), fornecidos nas Tabelas 7-5 e 7-6 respetivamente.</p>	



Verificação 14	Robustez – Coluna de apoio (IPE OU HEB)										
											
<p><b>Nota:</b> Esta verificação é necessária apenas para cumprir os requisitos de robustez Robustez - capacidade a tração na alma de pilar em secção laminadas, na presença de corte coluna</p>											
<p><b>Requisitos básicos:</b></p> <p style="text-align: center;">Força de tração ≤ Capacidade de alma de coluna a tração</p> $F_{Rd,u} = \frac{8M_u}{(1-\beta_1)} (\eta_1 + 1.5(1 - \beta_1)^{0.5} + (1 - \gamma_1)^{0.5})$ <p><math>M_u</math> – capacidade de momento na alma de coluna por unidade de comprimento</p> $M_{pl,Rd,u} = \frac{p_u t_w^2}{4}$ <p><math>p_u</math> – resistencia de dimensionamento a tração na coluna</p> $P_u = U_s / 1.25$	<p><b>Onde:</b></p> $\eta_1 = \frac{(n-1)p - \frac{n}{2}D_h}{d_c}$ $\beta_1 = \frac{g}{d_c}$ $\gamma_1 = \frac{D_h}{d_c}$ <p><math>d_c</math> – distância entre angulos de coluna</p> <p><math>t_w</math> – espessura de alma de coluna</p> <p><math>g</math> – distância de centros de parafusos</p> <p><math>D_h</math> – diametro de furo</p>										
<p>O fator 1.5 na equação inclui uma previsão de compressão axial na coluna</p>											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Resistência de dimensionamento a tração</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="text-align: center;"><math>P_u = U_s / 1.25</math></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">S275</td> <td style="text-align: center;">328 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">S355</td> <td style="text-align: center;">392 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Valores de <math>U_s</math> são dados BS EN 10025: 1993 <sup>[20]</sup></td> </tr> </tbody> </table>	Resistência de dimensionamento a tração			$P_u = U_s / 1.25$	S275	328 N/mm <sup>2</sup>	S355	392 N/mm <sup>2</sup>	Valores de $U_s$ são dados BS EN 10025: 1993 <sup>[20]</sup>		<p><b>Nota:</b> Esta verificação é necessária tanto para ligações no único lado da alma de coluna ou ligações em dois lados da alma da coluna com carregamentos desiguais</p>
Resistência de dimensionamento a tração											
	$P_u = U_s / 1.25$										
S275	328 N/mm <sup>2</sup>										
S355	392 N/mm <sup>2</sup>										
Valores de $U_s$ são dados BS EN 10025: 1993 <sup>[20]</sup>											

Verificação 15	Resistência a tração – Alma de coluna de apoio (Secção Retangular)
<p><b>Nota:</b> Esta verificação é necessária apenas para cumprir os requisitos de robustez Robustez - capacidade a tração na alma de pilar em secção laminadas, na presença de compressão axial na coluna</p>	
<p><b>Requisitos básicos:</b></p>	
<p><i>Força de tração ≤ Capacidade de parede de seção circular a tração</i></p>	<p><b>Onde:</b></p>
$F_{Rd,u} = \frac{8M_u}{(1-\beta_1)} (\eta_1 + 1.5(1-\beta_1)^{0.5} + (1-\gamma_1)^{0.5}) *$	$\eta_1 = \frac{(n-1)p - \frac{n}{2}D_h}{(B-3t_w)}$
<p><math>M_u</math> – capacidade de momento na alma de coluna por unidade de comprimento</p>	$\beta_1 = \frac{g}{(B-3t_w)}$
$M_{pl,Rd,u} = \frac{p_u t_w^2}{4}$	$\gamma_1 = \frac{D_h}{(B-3t_w)}$
<p><math>p_u</math> = resistência de dimensionamento a tração na coluna</p>	<p><math>B</math> = largura total de parede de coluna que liga a viga</p>
<p><math>P_u = U_s/1.25</math></p>	<p><math>t_w</math> = espessura de parede de coluna de seção oca</p>
<p>O fator 1.5 na equação inclui uma previsão de compressão axial na coluna</p>	<p><math>g</math> = distância de eixos de parafusos</p>
	<p><math>D_h</math> – diâmetro de furo</p>
	<p><math>D_h</math> – diâmetro de parafuso para parafuso flowdrill</p>
	<p><math>D_h</math> = diâmetro de furo dado no anexo A</p>
	<p><math>n</math> = número de linhas de parafuso</p>
	<p><math>p_1</math> – espaçamento entre <b>parafusos</b></p>
	<p><math>P_u</math> – ver a verificação 14</p>

## Anexo B.4 – verificação da ligação rotulada com chapa na base de coluna

Verificação 1	Área necessária
<p><b>Requisitos básicos:</b></p> $A_p \geq A_{nec}$ <p><math>A_p</math> – área de chapa de base</p> <p>= <math>h_b b_p</math> – para chapa retangular</p> <p>= <math>\frac{\pi d_p^2}{4}</math> – para chapa circular</p> <p><math>A_{req}</math> – área de chapa de base <i>necessária</i></p> <p>fundação</p> <p>altura de fundação e a distância</p> $= \frac{N_{Ed}}{f_{jd}}$ $f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$	<p><b>Onde:</b></p> $f_{jd} = \beta_j \alpha f_{cd}$ <p><math>\beta_j</math> – pode ser considerada 2/3</p> <p><math>\alpha</math> – coeficiente que representa a difusão de força concentrada dentro de fundação, depende de entre as chapas e o(s) bordos de</p> <p>onde são desconhecidas as dimensões das fundações mas vai ser ortodoxo (i, e. não estreito ou superficial) supomos que é razoavel considerar <math>\alpha = 1.5</math> e, portanto</p> $f_{jd} = f_{cd} = 0.85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \text{ (ver a nota 2)}$ <p><math>\alpha_{cc} = 0.85</math> (AN EN1992 – 1 – 1)</p> <p><math>\gamma_c</math> = factor material de betão = 1.5</p>

Classe de betão	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45
Resistencia cilíndrica $f_{ck} \left( \frac{N}{mm^2} \right)$	20	25	30	35
Resistencia cubica $f_{ck} \left( \frac{N}{mm^2} \right)$	25	30	37	45

**Notas:**

(1). Em conformidade com a clausula 6.2.5(7) de EN 1993-1-8<sup>[16]</sup>, O uso de  $\beta_1 = 2/3$  requer que:

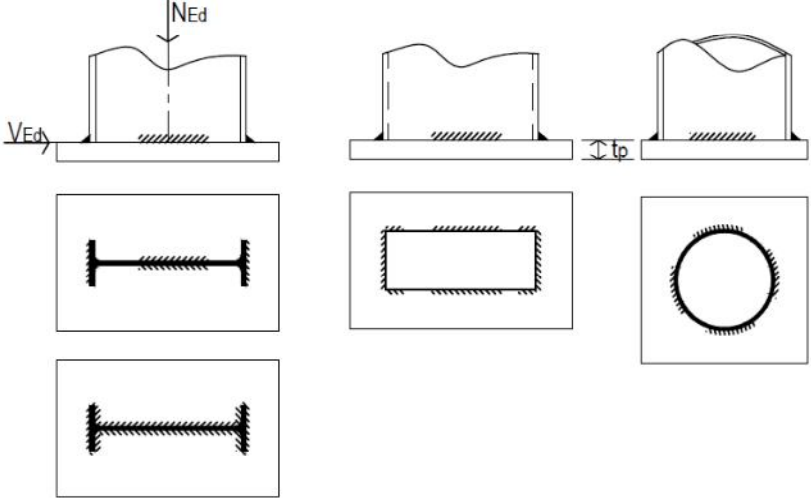
- Resistência de argamassa de selagem não seja inferior a  $0.2xf_{cd}$ , e:
  - A argamassa é de espessura inferior de 50 mm de espessura;
  - A espessura de reboco é inferior a  $0.2xh_p$  e  $0.2xh_b$
- A argamassa tem uma resistência a compressão pelo menos igual a  $f_{cd}$  se for superior a 50 mm de espessura

(2). Se for assumido  $\alpha = 1,5$ , a altura da fundação deve ser pelo menos 50% da maior dimensão da chapa de base, e todas as distâncias entre o bordo da chapa e bordo da fundação deve ser pelo menos 25% de maior dimensão de chapa de base. Se é requerida a precisão,

$$\alpha = \sqrt{A_{c1}/A_{c0}} \text{ dado em EN 1992-1-1 clausula 6.7}$$

Verificação 2	Área efetiva
<p><b>Requisitos básicos:</b></p> $A_{nec} \leq A_{eff}$ <p>Desde que não haja sobreposição, <math>c</math> pode ser calculada através das seguintes equações:</p> <p>Para secção I e H</p> $A_{eff} = 4C^2 + P_{col}C + A_{col}$ <p>Para secção quadrada</p> $A_{eff} = P_{col}(t + 2C)$ <p>Para secção circular</p> $A_{eff} = \pi(d - t)(t + 2C)$	<p><b>Onde:</b></p> <p><math>A_{nec}</math> – área de chapa de base necessária (de verif 1)</p> <p><math>A_{col}</math> – área de secção bruta de coluna</p> <p><math>h</math> – altura de coluna</p> <p><math>b</math> – largura de coluna</p> <p><math>d</math> – diâmetro de coluna circular</p>
<p>Se existe uma sobreposição, <math>c</math> podem ser calculados a partir das seguintes equações:</p> <p><b>Para secção I e H:</b> <math>C \geq \frac{h-2t_f}{2}</math></p> $A_{eff} = 4C^2 + 2(h + b)c + hb$ <p><b>Para secção quadrada:</b> <math>C \geq \frac{b-2t}{2}</math></p> $A_{eff} = 4C^2 + 2(h + b)c + hb$	<p><b>Para viga ou coluna de secção universal</b></p> <p><math>P_{col}</math> – perímetro de coluna</p> <p><math>P_{col}</math> – perímetro de linha central de parede de secção tubular</p> <p><b>Para secção circular:</b> <math>C \geq \frac{d-2t}{2}</math></p> $A_{eff} = 0.25\pi(d + 2C)^2$

Verificação 3	Espessura de chapa
<p><b>Requisitos básicos:</b></p> $t_p \geq t_{p,min}$ $t_{p,min} = C \sqrt{\frac{3f_{jd}\gamma_{M0}}{f_{yp}}}$	<p><b>Onde:</b></p> <p><math>f_{yp}</math> – resistencia de chapa de base a deformação</p> <p><math>f_{yj}</math> – proveniente de verificação 1</p> <p><math>C</math> – proveniente de verificação 2</p>

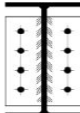
Verificação 4	Espessura de chapa
	
<p><b>Requisitos básicos:</b></p> <p>Para Corte:</p> $V_{Ed} \leq F_{w,Rd} l_{w,eff}$ <p><math>F_{w,Rd}</math> – resistencia de soldadura de angulo por unidade de comprimento</p> $F_{w,Rd} = f_{VW,d} a$ $f_{VW,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$	<p><b>Onde:</b></p> <p><math>a</math> – garganta de soldadura = 0.7S  <math>s</math> – comprimento de soldadura  <math>\beta_w = 0.85</math> para aço S275  <math>\beta_w = 0.90</math> para aço S355</p> <p><math>\gamma_{M2}</math> – factor parcial de resistencia de soldadura (<math>\gamma_{M2} = 1.25</math> dado no anexo nacional)</p> <p><math>l_{w,eff}</math> – comprimento efectivo de solda em direcção ao corte</p> <p><math>f_u</math> – resistencia ultima de parte mais fraca de ligação  = 410 N/mm<sup>2</sup> para aço S275  = 470 N/mm<sup>2</sup> para aço S355</p>

## Anexo C.1– pré-qualificação da ligação rotulada com chapa de extremidade

VIGA: S275

CHAPA DE EXTREMIDADE S275

PARAFUSOS NORMAL OU FLOWDRILL : M20, 8,8

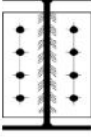
 <b>CHAPA DE EXTREMIDADE DE ALTURA PARCIAL, PARAFUSOS NORNAL OU FLOWDRILL</b> <b>PLACA DE EXTREMIDADE 150 X 10 OU 200 X 12</b>														
Viga	Nº paraf	Sem entalhe		Um entalhe		Placa de extremidade				Sold.	Espessura Mínima de apoio		Resistencia a tração	
		Resis. Corte VRd	Ver. Crit	Resis. Corte VRd	Comp max ln	Larg bp	Esp. tp	Alt hp	Espas. paraf. P3		S275	S355	Resis NRd,U	Verif. Crit
VRd, viga (kN)	n	kN		kN	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN	
IPE 220 276,47	2	126,5	4	126,5	160	150	10	150	70	6	3,9	3,0	186	11
IPE 240 316,94	3	194,9	4	194,9	175	150	10	220	70	6	4,5	3,5	274	11
	2	132,9	4	132,9	205	150	10	150	70	6	4,1	3,2	187	11
IPE 270 379,57	3	207,5	4	207,5	175	150	10	220	70	6	4,8	3,7	276	11
IPE 300 453,69	3	223,2	11	223,2	240	150	10	220	70	6	5,1	4,0	278	11
IPE 330 527,18	4	310,8	4	310,8	205	150	10	290	70	6	5,7	4,4	369	11
	3	235,8	4	235,8	305	150	10	220	70	6	5,4	4,2	280	11
IPE 360 613,44	4	331,5	4	331,5	270	150	10	290	70	6	6,1	4,7	371	11
	3	251,5	4	251,5	370	150	10	220	70	6	5,8	4,5	282	11
IPE 400 732,72	5	442,4	4	442,4	260	150	10	360	70	6	6,7	5,2	466	11
	4	356,4	4	356,4	355	150	10	290	70	6	6,5	5,0	375	11
IPE 450 900,99	6	577,6	4	577,6	265	150	10	430	70	6	7,5	5,8	563	11
	5	483,6	4	483,6	365	150	10	360	70	6	7,3	5,7	472	11
	4	389,5	4	389,5	365	150	10	290	70	6	7,1	5,5	380	11
IPE 500* 1.086,30	6	626,7	4	626,7	370	200	12	430	70	6	8,1	6,3	691	11
	5	524,7	4	524,7	465	200	12	360	70	6	8,0	6,2	576	11
IPE 550* 1.300,37	7	793,1	4	793,1	465	200	12	500	70	6	9,0	7,0	812	11
	6	682,0	4	682,0	550	200	12	430	70	8	8,9	6,9	714	11
	5	571,0	4	571,0	550	200	12	360	70	8	8,7	6,7	595	11
IPE 600 1.533,60	8	977,4	11	977,4	540	200	12	570	70	8	9,8	7,6	959	11
	7	857,4	11	857,4	600	200	12	500	70	8	9,7	7,5	839	11
	6	737,3	11	737,3	600	200	12	430	70	8	9,6	7,4	719	11
	5	617,3	11	617,3	600	200	12	360	70	8	9,4	7,3	599	11



VIGA S275

CHAPA DE EXTREMIDADE: S275

PARAFUSO HOLLO: M20, 8,8

 <p style="text-align: center;"><b>CHAPA DE EXTREMIDADE DE ALTURA PARCIAL, PARAFUSO HOLLO</b></p> <p style="text-align: center;"><b>PLACA DE EXTREMIDADE 180 X 10 OU 200 X 12</b></p>												
Viga	N° paraf.	Sem entalhe		Placa de extremidade				Solda de angulo	Espessura Mínima de apoio		Resistencia a tração	
		Resis. Corte VRd	Verif. Crit	Larg bp	Espes tp	Alt hp	Espas. paraf. P3		s	S275	S355	Resis NRd,U
VRd, viga (kN)	n	kN		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN	
IPE 220 276,47	2	143,3	4	180,0	10	170	80	6	4,0	3,1	144,6	11,0
IPE 240 316,94	2	150,6	4	180,0	10	170	80	6	4,2	3,3	144,8	11,0
IPE 270 379,57	3	235,8	4	180,0	10	250	80	6	4,9	3,8	216,7	11,0
IPE 300 453,69	3	253,6	4	180,0	10	250	80	6	5,2	4,1	217,3	11,0
IPE 330 527,18	4	353,7	4	180,0	10	290	80	6	5,8	4,5	289,7	11,0
	3	267,9	4	180,0	10	250	80	6	5,5	4,3	217,8	11,0
IPE 360 613,44	4	377,2	4	180,0	10	250	80	6	6,2	4,8	290,5	11,0
	3	285,8	4	180,0	10	250	80	6	5,9	4,6	218,4	11,0
IPE 400 732,72	5	503,8	4	180,0	10	250	80	6	6,8	5,3	363,8	11,0
	4	405,5	4	180,0	10	250	80	6	6,6	5,1	291,4	11,0
IPE 450 900,99	6	658,2	4	180,0	10	250	80	6	7,6	5,9	438,0	11,0
	5	550,7	4	180,0	10	250	80	6	7,5	5,8	365,4	11,0
	4	443,3	4	180,0	10	250	80	6	7,3	5,6	292,7	11,0
IPE 500* 1.086,30	5	597,6	8	200,0	12	410	80	6	8,1	6,3	404,3	11,0
	4	481,0	8	200,0	12	330	80	6	7,9	6,1	324,0	11,0
IPE 550* 1.300,37	6	777,2	8	200,0	12	490	80	6	9,0	7,0	487,0	11,0
	5	650,3	8	200,0	12	410	80	8	8,8	6,8	413,7	11,0
	4	523,4	8	200,0	12	330	80	8	8,6	6,6	331,6	11,0
IPE 600 1.533,60	7	977,4	8	200,0	12	570	80	8	9,8	7,6	581,0	11,0
	6	840,2	8	200,0	12	490	80	8	9,7	7,5	498,4	11,0
	5	703,0	8	200,0	12	410	80	8	9,5	7,4	415,8	11,0

VIGA: S355

CHAPA DE EXTREMIDADE: S275

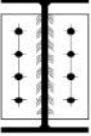
PARAFUSOS NORMAL OU FLOWDRILL : M20, 8,8

CHAPA DE EXTREMIDADE DE ALTURA PARCIAL, PARAFUSOS NORNAL OU FLOWDRILL														
PLACA DE EXTREMIDADE 150 X 10 OU 200 X 12														
Viga	Nº paraf n	Sem entalhe		Um entalhe		Placa de extremidade				Solda- dura s	Espessura Mínima de apoio		Resistencia a tração	
		Resis. Corte VRd kN	Ver. Crit	Resis. Corte VRd kN	Comp max ln mm	Larg bp mm	Espes tp mm	Alt hp mm	Espas paraf. P3 mm		S275 mm	S355 mm	Resis NRd,U kN	Verif. Crit
IPE 220 276,47	2	163,3	4	163,3	115	150	10	150	70	6	5,0	3,9	186	11
IPE 240 316,94	3	251,6	4	251,6	110	150	10	220	70	6	5,8	4,5	274	11
	2	171,6	4	171,6	150	150	10	150	70	6	5,3	4,1	187	11
IPE 270 379,57	3	267,8	4	267,8	125	150	10	220	70	6	6,1	4,8	276	11
IPE 300 453,69	3	288,1	4	288,1	175	150	10	220	70	6	6,6	5,1	278	11
	4	401,2	4	401,2	155	150	10	290	70	6	7,3	5,7	369	11
IPE 330 527,18	3	304,4	4	304,4	290	150	10	220	70	6	7,0	5,4	280	11
	4	428,0	4	428,0	155	150	10	290	70	6	7,8	6,1	371	11
IPE 360 613,44	3	324,7	4	324,7	225	150	10	220	70	6	7,4	5,8	282	11
	4	428,0	4	428,0	155	150	10	290	70	6	7,8	6,1	371	11
IPE 400 732,72	4	460,1	4	460,1	270	150	10	290	70	6	8,4	6,5	375	11
	5	571,1	4	571,1	195	150	10	360	70	6	8,7	6,7	466	11
IPE 450 900,99	4	502,8	4	502,8	275	150	10	290	70	6	9,2	7,1	380	11
	5	624,2	4	624,2	275	150	10	360	70	6	9,5	7,3	472	11
	6	745,6	4	745,6	200	150	10	430	70	6	9,7	7,5	563	11
IPE 500* 1.086,30	4	502,8	4	502,8	275	150	10	290	70	6	9,2	7,1	380	11
	5	809,1	4	809,1	280	200	12	430	70	6	10,5	8,1	691	11
IPE 550* 1.300,37	5	677,3	4	677,3	350	200	12	360	70	6	10,3	8,0	576	11
	6	809,1	4	809,1	280	200	12	430	70	6	10,5	8,1	691	11
	7	1.023,8	4	1.023,8	495	200	12	500	70	6	11,6	9,0	812	11
IPE 600 1.533,60	6	880,4	4	880,4	495	200	12	430	70	8	11,4	8,9	714	11
	5	737,1	4	737,1	495	200	12	360	70	8	11,2	8,7	595	11
	7	1.261,7	11	1.261,7	525	200	12	570	70	8	12,7	9,8	959	11
	8	1.106,8	11	1.106,8	525	200	12	500	70	8	12,6	9,7	839	11
	6	951,8	11	951,8	525	200	12	430	70	8	12,4	9,6	719	11
	5	796,9	11	796,9	525	200	12	360	70	8	12,1	9,4	599	11

VIGA S355

CHAPA DE EXTREMIDADE: S275

PARAFUSO HOLLO: M20, 8,8

 <p style="text-align: center;"><b>CHAPA DE EXTREMIDADE DE ALTURA PARCIAL, PARAFUSO HOLLO</b></p> <p style="text-align: center;"><b>PLACA DE EXTREMIDADE 180 X 10 OU 200 X 12</b></p>												
Viga	Nº paraf.	Sem entalhe		Placa de extremidade				Solda de angulo	Espessura Mínima de apoio		Resistencia a tração	
		Resis. Corte VRd	Verif. Crit	Larg bp	Espes tp	Alt hp	Espas. paraf. P3		s	S275	S355	Resis NRd.U
VRd, viga (kN)	n	kN		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN	
IPE 220 276,47	2	185,0	4	180,0	10	170	80	6	5,2	4,0	144,6	11,0
IPE 240 316,94	2	194,4	4	180,0	10	170	80	6	5,4	4,2	144,8	11,0
IPE 270 379,57	3	304,4	4	180,0	10	250	80	6	6,3	4,9	216,7	11,0
IPE 300 453,69	3	327,4	4	180,0	10	250	80	6	6,8	5,2	217,3	11,0
IPE 330 527,18	4	456,5	4	180,0	10	290	80	6	7,5	5,8	289,7	11,0
	3	345,9	4	180,0	10	250	80	6	7,1	5,5	217,8	11,0
IPE 360 613,44	4	487,0	4	180,0	10	250	80	6	8,0	6,2	290,5	11,0
	3	368,9	4	180,0	10	250	80	6	7,6	5,9	218,4	11,0
IPE 400 732,72	5	650,4	4	180,0	10	250	80	6	8,8	6,8	363,8	11,0
	4	523,5	4	180,0	10	250	80	6	8,6	6,6	291,4	11,0
IPE 450 900,99	6	849,6	4	180,0	10	250	80	6	9,8	7,6	438,0	11,0
	5	710,9	4	180,0	10	250	80	6	9,6	7,5	365,4	11,0
	4	572,2	4	180,0	10	250	80	6	9,4	7,3	292,7	11,0
IPE 500* 1.086,30	5	771,4	8	200,0	12	410	80	6	10,4	8,1	404,3	11,0
	4	620,9	8	200,0	12	330	80	6	10,2	7,9	324,0	11,0
IPE 550* 1.300,37	6	1.003,3	8	200,0	12	490	80	6	11,6	9,0	487,0	11,0
	5	839,5	8	200,0	12	410	80	8	11,4	8,8	413,7	11,0
	4	675,7	8	200,0	12	330	80	8	11,1	8,6	331,6	11,0
IPE 600 1.533,60	7	1.261,7	8	200,0	12	570	80	8	12,7	9,8	581,0	11,0
	6	1.084,6	8	200,0	12	490	80	8	12,5	9,7	498,4	11,0
	5	907,6	8	200,0	12	410	80	8	12,3	9,5	415,8	11,0

Anexo C.2– pré-qualificação da ligação rotulada com chapa de alma

VIGA: S275

CHAPA DE ALMA S275

PARAFUSOS NORMAL OU FLOWDRILL : M20, 8,8

CHAPA DE ALMA, PARAFUSOS NORMAL E FLOWDRILL															
UMA LINHA DE PARAFUSOS															
100 X 10															
Secção	Linhas de parafusos n	Sem entalhe		Um entalhe			Placa de extremidade				Solda de angulo s	Espessura Mínima de apoio		Resistencia a tração	
		Resis. ao Corte VRd kN	Verificação Crítica	Resis. ao Corte VRd kN	Verificação Crítica	Comp máxima In mm	Largura bp mm	Espessura tp mm	Altura hp mm	Dis paraf P mm		S275 mm	S355 mm	Resistencia NRd,U kN	Verificação Crítica
IPE 220 276	2	108	2	104	2	180	100	10	150	70	8	6,3	4,9	133	12
IPE 240 317	2	108	2	108	2	240	100	10	220	70	8	4,5	3,5	140	12
IPE 270 380	2	108	2	108	2	270	100	10	220	70	8	4,8	3,7	149	12
IPE 300 454	3	193	2	179	4	300	100	10	220	70	8	6,7	5,2	241	12
IPE 330 527	4	286	2	247	2	230	100	10	290	70	8	6,6	5,1	339	12
IPE 360 613	4	286	2	263	4	285	100	10	290	70	8	7,1	5,5	254	12
IPE 400 733	3	193	2	193	2	360	100	10	220	70	8	7,6	5,9	271	12
IPE 400 733	4	286	2	283	4	360	100	10	290	70	8	7,6	5,9	389	12
IPE 450 901	5	383	2	348	4	290	100	10	360	70	8	7,3	5,6	486	12
IPE 450 901	4	286	2	286	2	380	100	10	290	70	8	8,0	6,2	531	12
IPE 500* 1.086	6	481	2	481	2	350	100	10	430	70	8	8,4	6,5	641	12
IPE 500* 1.086	5	383	2	383	2	420	100	10	360	70	8	8,6	6,7	535	12
IPE 550* 1.300	6	481	3	481	2	435	100	10	430	70	8	9,1	7,1	641	11
IPE 550* 1.300	5	383	2	383	2	515	100	10	360	70	8	9,4	7,3	535	11
IPE 600 1.534	8	634	3	634	3	450	100	10	570	70	8	9,5	7,3	382	11
IPE 600 1.534	7	557	3	557	3	515	100	10	500	70	8	9,6	7,5	456	11
IPE 600 1.534	6	481	3	481	2	595	100	10	430	70	8	9,9	7,6	641	11
IPE 600 1.534	5	383	2	383	2	595	100	10	360	70	8	10,2	7,9	535	11

VIGA: S275

CHAPA DE ALMA S275


PARAFUSOS NORMAL OU FLOWDRILL : M20, 8,8

Secção	Linhas de parafusos n	CHAPA DE ALMA, PARAFUSOS NORMAL E FLOWDRILL													
		Sem entalhe		Um entalhe			Placa de extremidade				Solda de angulo s	Espessura Mínima de apoio		Resistencia a tração	
		Resis. ao Corte VRd kN	Verificação Crítica	Resis. ao Corte VRd kN	Verificação Crítica	Comp máxima In mm	Largura bp mm	Espessura tp mm	Altura hp mm	Dis paraf P mm		S275 mm	S355 mm	Resistencia NRd,U kN	Verificação Crítica
											160 X 10				
IPE 220 276	2	150	2	146	4	130	160	10	150	70	8	8,1	6,3	231	12
IPE 240 317	2	150	2	150	2	215	160	10	220	70	8	5,8	4,5	243	12
IPE 270 380	2	150	2	150	2	270	160	10	220	70	8	6,2	4,8	258	12
IPE 300 454	3	273	2	230	4	285	160	10	220	70	8	8,2	6,3	405	12
IPE 330 527	4	359	2	300	4	235	160	10	290	70	8	7,8	6,0	562	12
	3	273	2	242	4	295	160	10	220	70	8	8,6	6,7	428	12
IPE 360 613	4	363	3	320	4	230	160	10	290	70	8	8,3	6,4	600	12
	3	273	2	259	4	290	160	10	220	70	8	9,2	7,1	456	12
IPE 400 733	5	450	3	409	4	245	160	10	360	70	8	8,4	6,5	721	12
	4	363	3	344	4	295	160	10	290	70	8	8,9	6,9	645	12
IPE 450 901	5	450	3	447	4	320	160	10	360	70	8	9,1	7,1	788	12
	4	363	3	363	3	320	160	10	290	70	8	9,8	7,6	705	12
IPE 500* 1.086	6	538	2	538	3	305	160	10	430	70	8	9,4	7,3	765	12
	5	450	3	450	3	355	160	10	360	70	8	9,9	7,7	839	12
IPE 550* 1.300	6	538	3	538	3	375	160	10	430	70	8	10,3	8,0	765	11
	5	450	3	450	3	440	160	10	360	70	8	10,8	8,4	839	11
IPE 600 1.534	8	704	3	704	4	405	160	10	570	70	8	10,4	8,1	617	11
	7	625	3	625	4	455	160	10	500	70	8	10,7	8,3	691	11
	6	538	3	538	3	520	160	10	430	70	8	11,1	8,6	765	11
	5	450	3	450	3	520	160	10	360	70	8	11,7	9,0	839	11

VIGA: S355

CHAPA DE ALMA S275

PARAFUSOS NORMAL OU FLOWDRILL : M20, 8,8

 <p>CHAPA DE ALMA, PARAFUSOS NORMAL E FLOWDRILL UMA LINHA DE PARAFUSOS 100 X 10</p>															
Secção	Linhas de parafusos n	Sem entalhe		Um entalhe			Placa de extremidade				Solda de angulo s	Espessura Mínima de apoio		Resistencia a tração	
		Resis. ao Corte VRd kN	Verificação Crítica	Resis. ao Corte VRd kN	Verificação Crítica	Comp máxima In mm	Largura bp mm	Espessura tp mm	Altura hp mm	Dis paraf P mm		S275 mm	S355 mm	Resistencia NRd,U kN	Verificação Crítica
IPE 220 276	2	108	2	108	2	220	100	10	150	70	8	8,0	6,2	153	12
IPE 240 317	3	193	2	193	2	140	100	10	220	70	8	7,5	5,8	241	12
IPE 270 380	3	193	2	193	2	210	100	10	150	70	8	8,4	6,5	161	12
IPE 300 454	3	193	2	193	2	160	100	10	220	70	8	7,9	6,2	256	12
IPE 330 527	4	286	2	286	2	245	100	10	220	70	8	8,6	6,6	276	12
IPE 360 613	4	286	2	286	2	235	100	10	290	70	8	8,5	6,5	388	12
IPE 400 733	3	193	2	193	2	320	100	10	290	70	8	6,9	5,3	291	12
IPE 450 901	4	286	2	286	2	360	100	10	290	70	8	9,0	7,0	414	12
IPE 500* 1.086	3	193	2	193	2	360	100	10	220	70	8	9,6	7,5	311	12
IPE 550* 1.300	5	383	2	383	2	375	100	10	360	70	8	9,3	7,2	535	11
IPE 600 1.534	4	286	2	286	2	400	100	10	290	70	8	9,7	7,5	428	11
	5	383	2	383	2	450	100	10	360	70	8	10,2	7,9	535	11
	6	481	3	481	3	500	100	10	430	70	8	10,7	8,3	530	11
	7	557	3	557	3	550	100	10	430	70	8	11,6	9,0	530	11
	8	634	3	634	3	600	100	10	570	70	8	12,1	9,4	855	11
	9	711	3	711	3	600	100	10	500	70	8	12,3	9,5	748	11
	10	788	3	788	3	600	100	10	430	70	8	12,6	9,7	641	11
	11	865	2	865	2	605	100	10	360	70	8	13,0	10,0	535	11

VIGA: S355

CHAPA DE ALMA S275

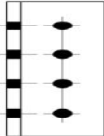

PARAFUSOS NORMAL OU FLOWDRILL : M20, 8,8

Secção	Linhas de parafusos n	Sem entalhe		Um entalhe			Placa de extremidade				Solda de angulo s	Espessura Mínima de apoio		Resistencia a tração	
		Resis. ao Corte VRd kN	Verificação Crítica	Resis. ao Corte VRd kN	Verificação Crítica	Comp máxima In mm	Largura bp mm	Espessura tp mm	Altura hp mm	Dis paraf P mm		5275 mm	S355 mm	Resistencia NRd,U kN	Verificação Crítica

IPE 220 276	2	150	2	150	2	180	160	10	150	70	8	10,0	7,7	283	12
IPE 240 317	3	273	2	218	4	125	160	10	220	70	8	8,9	6,9	425	12
	2	150	2	150	2	150	160	10	150	70	8	10,5	8,1	297	12
IPE 270 380	3	273	2	264	2	160	160	10	220	70	8	9,5	7,3	452	12
IPE 300 454	3	273	2	273	2	195	160	10	220	70	8	10,2	7,9	486	12
IPE 330 527	4	363	3	363	3	195	160	10	290	70	8	9,8	7,6	667	12
	3	273	2	273	2	310	160	10	290	70	8	8,2	6,3	514	12
IPE 360 613	4	363	3	363	3	305	160	10	290	70	8	10,4	8,1	712	12
	3	273	2	273	2	360	160	10	220	70	8	11,5	8,9	548	12
IPE 400 733	5	450	2	450	3	320	160	10	360	70	8	10,5	8,1	827	11
	4	363	3	363	3	385	160	10	290	70	8	11,2	8,7	765	12
IPE 450 901	5	450	3	450	3	415	160	10	360	70	8	11,5	8,9	839	11
	4	363	3	363	3	450	160	10	290	70	8	12,3	9,5	782	11
IPE 500* 1.086	6	538	3	538	3	450	160	10	430	70	8	11,9	9,2	765	11
	5	450	3	450	3	500	160	10	360	70	8	12,5	9,7	839	11
IPE 550* 1.300	6	538	3	538	3	550	160	10	430	70	8	13,0	10,0	765	11
	5	450	3	450	3	550	160	10	360	70	8	13,6	10,5	839	11
IPE 600 1.534	8	704	3	704	3	520	160	10	570	70	8	13,2	10,2	617	11
	7	625	3	625	3	585	160	10	500	70	8	13,5	10,5	691	11
	6	538	3	538	3	600	160	10	430	70	8	14,0	10,9	765	11
	5	450	3	450	3	605	160	10	360	70	8	14,7	11,4	839	11

## Anexo C.3– pré-qualificação da ligação rotulada com cantoneira de alma

**VIGA:** S275  
**CANTONEIRA DE ALMA:** S275  
**PARAFUSOS NORMAL OU FLOWDRILL:** M20, 8.8

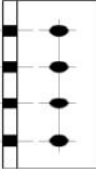
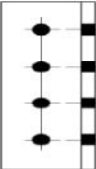
 <b>CANTONEIRA DE ALMA, PARAFUSOS NORMAL OU FLOWDRILL</b> <b>UMA LINHA DE PARAFUSOS</b> <b>2 X L 100 X L 100 X 10 / 2 X L 100 X 100 X 12 *</b> 									
Viga VRd, viga (kN)	Nº paraf.  n	Sem entalhe ou Um entalhe		Altura da cant mm	Espessura mínima de apoio		Comp. maximo de entalhe mm	Tração	
		Resist. corte kN	Verif. Critic		S275 mm	S355 mm		Resist kN	verif. Critica Verific.
IPE 220 214,17	2	60,6	4	150	2,3	1,7	130	109	12
IPE 240 245,52	2	63,7	4	150	2,4	1,8	180	114	12
IPE 270 294,03	3	121,7	4	220	2,5	1,9	165	182	12
IPE 300 351,45	3	130,9	4	220	2,9	2,3	215	196	12
IPE 330 408,38	4	206,0	4	290	2,8	2,2	215	276	12
	3	138,3	4	220	3,1	2,4	270	207	12
IPE 360 475,20	4	219,8	4	290	3,4	2,7	250	294	12
	3	147,5	4	220	3,3	2,5	335	221	12
IPE 400 567,60	5	395,6	4	360	4,8	3,7	270	396	12
	4	316,5	4	290	4,4	3,4	310	316	11
IPE 450 697,95	6	518,9	4	430	5,9	4,6	320	512	11
	5	351,9	4	360	5,9	4,5	340	429	11
	4	262,6	4	290	4,8	3,7	430	346	11
IPE 500 * 841,50	6	475	4	430	7,5	5,8	355	563	11
	5	377	4	360	6,4	4,9	430	469	11
IPE 550 * 1.007,33	7	624	4	500	9,0	6,9	390	713	11
	6	517	4	430	8,2	6,4	445	613	11
	5	410	4	360	6,9	5,4	535	511	12
IPE 600 * 1.188,00	8	791	4	570	10,5	8,1	435	812	11
	7	675	4	500	10,3	8,0	460	713	11
	6	559	4	430	8,9	6,9	540	614	11
	5	443	4	360	7,5	5,8	600	515	11



VIGA: S275  
CANTONEIRA DE ALMA: S275  
PARAFUSOS NORMAL OU FLOWDRILL: M20, 8.8

CANTONEIRA DE ALMA, PARAFUSOS NORMAL OU FLOWDRILL									
DUAS LINHAS DE PARAFUSOS									
2 X L 150 X L 100 X 10 / 2 X L 150 X 100 X 12 *									
Viga VRd, viga (kN)	Nº paraf.  n	Sem entalhe ou Um entalhe		Altura da cant mm	Espessura mínima de apoio		Comp. maximo de entalhe mm	Tração	
		Resist. corte kN	Verif. Critic		S275 mm	S355 mm		Resist kN	verif. Critica
								Verific.	
IPE 220 214,17	2	43,4	4	150	2,3	1,7	120	218	11
IPE 240 245,52	2	57,4	4	150	2,4	1,8	155	218	11
IPE 270 294,03	3	124,4	4	220	2,5	1,9	160	317	11
IPE 300 351,45	3	173,9	4	220	2,9	2,3	195	317	11
IPE 330 408,38	4	307,8	4	290	2,8	2,2	215	416	11
	3	225,7	4	220	3,1	2,4	250	317	11
IPE 360 475,20	4	369,0	4	290	3,4	2,7	235	416	11
	3	240,8	4	220	3,3	2,5	310	317	11
IPE 400 567,60	5	476,8	4	360	4,8	3,7	270	429	11
	4	399,6	4	290	4,4	3,4	300	347	11
IPE 450 697,95	6	581,9	4	430	5,9	4,6	320	512	11
	5	494,3	4	360	5,9	4,5	320	429	11
	4	399,6	4	290	4,8	3,7	400	347	11
IPE 500 * 841,50	6	707	4	430	7,5	5,8	340	614	11
	5	593	4	360	6,4	4,9	410	515	11
IPE 550 * 1.007,33	7	821	4	500	9,0	6,9	390	713	11
	6	707	4	430	8,2	6,4	425	614	11
	5	593	4	360	6,9	5,4	505	515	11
IPE 600 * 1.188,00	8	934	4	570	10,5	8,1	435	812	11
	7	821	4	500	10,3	8,0	445	713	11
	6	707	4	430	8,9	6,9	515	614	11
	5	593	4	360	7,5	5,8	600	515	11

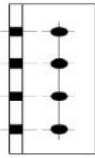
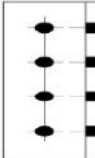
**VIGA:** S275  
**CANTONEIRA DE ALMA:** S275  
**PARAFUSOS HOLLO:** M20, 8.8

 <b>CANTONEIRA DE ALMA, PARAFUSO HOLLO</b> 									
<b>UMA LINHA DE PARAFUSOS</b>									
<b>2 X L 100 X L 100 X 10 / 2 X L 100 X 100 X 12 *</b>									
Viga VRd, viga (kN)	Nº paraf.	Sem entalhe ou Um entalhe		Altura da cant mm	Espessura mínima de apoio		Comp. maximo de entalhe mm	Tração	
		Resist. corte kN	Verif. Critic		S275 mm	S355 mm		Resist kN	verif. Critica Verific.
IPE 220 214,17	2	54,7	3	150	1,4	1,1	130	109	12
IPE 240 245,52	2	57,5	4	150	1,5	1,2	180	114	12
IPE 270 294,03	3	111,8	4	220	1,4	1,1	165	182	12
IPE 300 351,45	3	120,3	4	220	1,7	1,3	215	196	12
IPE 330 408,38	4	192,4	4	290	1,6	1,3	215	276	12
	3	127,1	4	220	1,9	1,4	270	207	12
IPE 360 475,20	4	205,2	4	290	1,9	1,5	250	294	12
	3	135,6	4	220	2,0	1,5	335	221	12
IPE 400 567,60	5	300,4	4	360	1,9	1,4	270	305	11
	4	220,6	4	290	2,1	1,7	310	248	11
IPE 450 697,95	6	408,9	4	430	1,9	1,5	320	363	11
	5	328,3	4	360	2,3	1,8	340	305	11
	4	241,1	4	290	2,3	1,8	430	248	11
IPE 500 * 841,50	6	454	4	430	2,4	1,9	355	436	11
	5	356	4	360	2,5	2,0	430	366	11
IPE 550 * 1.007,33	7	568	4	500	2,5	1,9	390	505	11
	6	491	4	430	2,8	2,1	445	436	11
	5	388	4	360	2,8	2,1	535	366	11
IPE 600 * 1.188,00	8	646	4	570	2,6	2,0	435	574	11
	7	568	4	500	3,0	2,3	460	505	11
	6	491	4	430	3,0	2,3	540	436	11
	5	413	4	360	3,0	2,3	600	366	11

VIGA: S275  
 CANTONEIRA DE ALMA: S275  
 PARAFUSOS HOLLO: M20, 8.8

CANTONEIRA DE ALMA, PARAFUSO HOLLO									
DUAS LINHAS DE PARAFUSOS									
2 X L 150 X L 100 X 10 / 2 X L 150 X 100 X 12 *									
Viga VRd, viga (kN)	Nº paraf.	Sem entalhe ou Um entalhe		Altura da cant	Espessura mínima de apoio		Comp. maximo de entalhe	Tração	
		Resist. corte	Verif. Critic		S275	S355		Resist	verif. Critica
	n	kN		mm	mm	mm	mm	kN	Verific.
IPE 220 214,17	2	86,7	3	150	1,4	1,1	120	158	11
IPE 240 245,52	2	91,1	4	150	1,5	1,2	155	158	11
IPE 270 294,03	3	170,3	4	220	1,4	1,1	160	228	11
IPE 300 351,45	3	183,2	4	220	1,7	1,3	195	228	11
IPE 330 408,38	4	307,2	4	290	1,6	1,3	215	297	11
	3	193,5	4	220	1,9	1,4	250	228	11
IPE 360 475,20	4	327,6	4	290	1,9	1,5	235	297	11
	3	206,4	4	220	2,0	1,5	310	228	11
IPE 400 567,60	5	344,2	4	360	1,9	1,4	270	305	11
	4	279,5	4	290	2,1	1,7	300	248	11
IPE 450 697,95	6	408,9	4	430	1,9	1,5	320	363	11
	5	344,2	4	360	2,3	1,8	320	305	11
	4	279,5	4	290	2,3	1,8	400	248	11
IPE 500 * 841,50	6	491	4	430	2,4	1,9	340	436	11
	5	413	4	360	2,5	2,0	410	366	11
IPE 550 * 1.007,33	7	568	4	500	2,5	1,9	390	505	11
	6	491	4	430	2,8	2,1	425	436	11
	5	413	4	360	2,8	2,1	505	366	11
IPE 600 * 1.188,00	8	646	4	570	2,6	2,0	435	574	11
	7	568	4	500	3,0	2,3	445	505	11
	6	491	4	430	3,0	2,3	515	436	11
	5	413	4	360	3,0	2,3	600	366	11

**VIGA:** S355  
**CANTONEIRA DE ALMA:** S275  
**PARAFUSOS NORMAL OU FLOWDRILL:** M20, 8.8

 <b>CANTONEIRA DE ALMA, PARAFUSOS NORMAL OU FLOWDRILL</b> <b>UMA LINHA DE PARAFUSOS</b> 									
<b>2 X L 100 X L 100 X 10 / 2 X L 100 X 100 X 12 *</b>									
Viga VRd, viga (kN)	Nº paraf.	Sem entalhe ou Um entalhe		Altura da cant mm	Espessura mínima de apoio		Comp. maximo de entalhe mm	Tração	
		Resist. corte kN	Verif. Critic		S275 mm	S355 mm		Resist kN	verif. Critica Verific.
	n	kN		mm	mm	mm	mm	kN	Verific.
IPE 220 276,47	2	62,3	4	150	2,2	1,7	145	130	12
IPE 240 316,94	2	65,4	4	150	2,3	1,8	185	136	12
IPE 270 379,57	3	124,3	4	220	2,3	1,8	180	218	12
IPE 300 453,69	3	133,7	4	220	2,9	2,2	220	234	12
IPE 330 527,18	4	209,6	4	290	2,6	2,0	240	330	12
IPE 360 613,44	4	223,5	4	290	3,2	2,5	260	347	11
IPE 400 732,72	5	321,9	3	360	3,1	2,4	300	429	11
IPE 450 900,99	4	240,3	3	290	3,6	2,8	330	347	11
IPE 450 900,99	5	351,9	3	360	4,1	3,2	345	429	11
IPE 500* 1.086,30	4	262,6	3	290	4,0	3,1	435	347	11
IPE 500* 1.086,30	6	474,9	3	430	4,2	3,3	375	614	11
IPE 500* 1.086,30	5	376,6	3	360	4,4	3,4	435	515	11
IPE 550* 1.300,37	7	624,5	3	500	4,4	3,4	425	713	11
IPE 550* 1.300,37	6	516,8	3	430	4,9	3,8	450	614	11
IPE 550* 1.300,37	5	409,9	3	360	4,8	3,7	540	515	11
IPE 600* 1.533,60	8	791,5	3	570	4,5	3,5	525	812	11
IPE 600* 1.533,60	7	675,1	3	500	5,4	4,2	525	713	11
IPE 600* 1.533,60	6	558,7	3	430	5,3	4,1	525	614	11
IPE 600* 1.533,60	5	443,1	3	360	5,2	4,0	525	515	11

**VIGA:** S355  
**CANTONEIRA DE ALMA:** S275  
**PARAFUSOS HOLLO:** M20, 8.8

CANTONEIRA DE ALMA, PARAFUSO HOLLO									
UMA LINHA DE PARAFUSOS									
2 X L 100 X L 100 X 10 / 2 X L 100 X 100 X 12 *									
Viga VRd, viga (kN)	Nº paraf.	Sem entalhe ou Um entalhe		Altura da cant	Espessura mínima de apoio		Comp. maximo de entalhe	Tração	
		Resist. corte	Verif. Critic		S275	S355		Resist	verif. Critica
	n	kN		mm	mm	mm	mm	kN	Verific.
IPE 220 276,47	2	65,4	4	150	1,8	1,4	145	130	12
IPE 240 316,94	2	68,7	4	150	2,0	1,5	185	132	11
IPE 270 379,57	3	133,7	4	220	1,9	1,4	180	190	11
IPE 300 453,69	3	143,8	4	220	2,2	1,7	220	190	11
IPE 330 527,18	4	230,0	4	290	2,1	1,6	240	248	11
	3	152,0	4	220	2,4	1,9	280	190	11
IPE 360 613,44	4	245,4	4	290	2,4	1,9	260	248	11
	3	162,1	4	220	2,6	2,0	345	190	11
IPE 400 732,72	5	344,2	3	360	2,4	1,9	300	305	11
	4	263,8	3	290	2,8	2,1	330	248	11
IPE 450 900,99	5	344,2	3	360	3,0	2,3	345	305	11
	4	279,5	3	290	3,0	2,3	435	248	11
IPE 500* 1.086,30	6	490,6	3	430	3,1	2,4	375	436	11
	5	413,0	3	360	3,3	2,5	435	366	11
IPE 550* 1.300,37	7	568,3	3	500	3,2	2,5	425	505	11
	6	490,6	3	430	3,6	2,8	450	436	11
	5	413,0	3	360	3,6	2,8	540	366	11
IPE 600* 1.533,60	8	645,9	3	570	3,3	2,6	525	574	11
	7	568,3	3	500	3,9	3,0	525	505	11
	6	490,6	3	430	3,9	3,0	525	436	11
	5	413,0	3	360	3,9	3,0	525	366	11

**VIGA: S355**  
**CANTONEIRA DE ALMA: S275**  
**PARAFUSOS NORMAL OU FLOWDRILL: M20, 8.8**

<b>CANTONEIRA DE ALMA, PARAFUSOS NORMAL OU FLOWDRILL</b>									
<b>DUAS LINHAS DE PARAFUSOS</b>									
<b>2 X L 150 X L 100 X 10 / 2 X L 150 X 100 X 12 *</b>									
Viga VRd, viga (kN)	Nº paraf.  n	Sem entalhe ou Um entalhe		Altura da cant  mm	Espessura mínima de apoio		Comp. maximo de entalhe  mm	Tração	
		Resist. corte  kN	Verif. Critic		S275  mm	S355  mm		Resist  kN	verif. Critica  Verific.
		IPE 220 276,47	2		43,4	4		150	2,2
IPE 240 316,94	2	57,4	4	150	2,3	1,8	165	182	11
IPE 270 379,57	3	124,4	4	220	2,3	1,8	180	264	11
IPE 300 453,69	3	173,9	4	220	2,9	2,2	200	264	11
IPE 330 527,18	4 3	304,9 225,7	4 4	290 220	2,6 3,0	2,0 2,3	240 260	347 264	11 11
IPE 360 613,44	4 3	366,3 240,8	4 4	290 220	3,2 3,2	2,5 2,5	255 320	347 264	11 11
IPE 400 732,72	5 4	437,1 366,3	3 3	360 290	3,1 3,6	2,4 2,8	300 310	429 347	11 11
IPE 450 900,99	5 4	453,1 366,3	3 3	360 290	4,1 4,0	3,2 3,1	330 410	429 347	11 11
IPE 500* 1.086,30	6 5	648,0 543,8	3 3	430 360	4,2 4,4	3,3 3,4	375 415	614 515	12 11
IPE 550* 1.300,37	7 6 5	752,1 648,0 543,8	3 3 3	500 430 360	4,4 4,9 4,8	3,4 3,8 3,7	425 430 515	713 614 515	12 11 11
IPE 600* 1.533,60	8 7 6 5	856,3 752,1 648,0 543,8	3 3 3 3	570 500 430 360	4,5 5,4 5,3 5,2	3,5 4,2 4,1 4,0	525 525 525 525	812 713 614 515	12 12 11 11

**VIGA:** S355  
**CANTONEIRA DE ALMA:** S275  
**PARAFUSOS HOLLO:** M20, 8.8

<b>CANTONEIRA DE ALMA, PARAFUSO HOLLO</b>									
<b>UMA LINHA DE PARAFUSOS</b>									
<b>2 X L 100 X L 100 X 10 / 2 X L 100 X 100 X 12 *</b>									
Viga VRd, viga (kN)	Nº paraf.	Sem entalhe ou Um entalhe		Altura da cant	Espessura mínima de apoio		Comp. maximo de entalhe	Tração	
		Resist. corte	Verif. Critic		S275	S355		Resist	verif. Critica
	n	kN		mm	mm	mm	mm	kN	Verific.
IPE 220 276,47	2	65,4	4	150	1,8	1,4	145	130	12
IPE 240 316,94	2	68,7	4	150	2,0	1,5	185	132	11
IPE 270 379,57	3	133,7	4	220	1,9	1,4	180	190	11
IPE 300 453,69	3	143,8	4	220	2,2	1,7	220	190	11
IPE 330 527,18	4	230,0	4	290	2,1	1,6	240	248	11
	3	152,0	4	220	2,4	1,9	280	190	11
IPE 360 613,44	4	245,4	4	290	2,4	1,9	260	248	11
	3	162,1	4	220	2,6	2,0	345	190	11
IPE 400 732,72	5	344,2	3	360	2,4	1,9	300	305	11
	4	263,8	3	290	2,8	2,1	330	248	11
IPE 450 900,99	5	344,2	3	360	3,0	2,3	345	305	11
	4	279,5	3	290	3,0	2,3	435	248	11
IPE 500* 1.086,30	6	490,6	3	430	3,1	2,4	375	436	11
	5	413,0	3	360	3,3	2,5	435	366	11
IPE 550* 1.300,37	7	568,3	3	500	3,2	2,5	425	505	11
	6	490,6	3	430	3,6	2,8	450	436	11
	5	413,0	3	360	3,6	2,8	540	366	11
IPE 600* 1.533,60	8	645,9	3	570	3,3	2,6	525	574	11
	7	568,3	3	500	3,9	3,0	525	505	11
	6	490,6	3	430	3,9	3,0	525	436	11
	5	413,0	3	360	3,9	3,0	525	366	11

VIGA: S355  
 CANTONEIRA DE ALMA: S275  
 PARAFUSOS HOLLO: M20, 8.8

CANTONEIRA DE ALMA, PARAFUSO HOLLO									
DUAS LINHAS DE PARAFUSOS									
2 X L 150 X L 100 X 10 / 2 X L 150 X 100 X 12 *									
Viga VRd, viga (kN)	Nº paraf.	Sem entalhe ou Um entalhe		Altura da cant mm	Espessura mínima de apoio		Comp. maximo de entalhe mm	Tração	
		Resist. corte kN	Verif. Critic		S275 mm	S355 mm		Resist kN	verif. Critica Verific.
	n								
IPE 220 276,47	2	103,7	4	150	1,8	1,4	120	132	11
IPE 240 316,94	2	108,9	4	150	2,0	1,5	165	132	11
IPE 270 379,57	3	203,6	4	220	1,9	1,4	180	190	11
IPE 300 453,69	3	214,8	4	220	2,2	1,7	200	190	11
IPE 330 527,18	4	279,5	4	290	2,1	1,6	240	248	11
	3	214,8	4	220	2,4	1,9	260	190	11
IPE 360 613,44	4	279,5	4	290	2,4	1,9	255	248	11
	3	214,8	4	220	2,6	2,0	320	190	11
IPE 400 732,72	5	344,2	3	360	2,4	1,9	300	305	11
	4	279,5	3	290	2,8	2,1	310	248	11
IPE 450 900,99	5	344,2	3	360	3,0	2,3	330	305	11
	4	279,5	3	290	3,0	2,3	410	248	11
IPE 500* 1.086,30	6	490,6	3	430	3,1	2,4	375	436	11
	5	413,0	3	360	3,3	2,5	415	366	11
IPE 550* 1.300,37	7	568,3	3	500	3,2	2,5	425	505	11
	6	490,6	3	430	3,6	2,8	430	436	11
	5	413,0	3	360	3,6	2,8	515	366	11
IPE 600* 1.533,60	8	645,9	3	570	3,3	2,6	525	574	11
	7	568,3	3	500	3,9	3,0	525	505	11
	6	490,6	3	430	3,9	3,0	525	436	11
	5	413,0	3	360	3,9	3,0	525	366	11



Nome do ficheiro: TESE V - final  
Directório: C:\Documents and Settings\CHEIK SANI\Ambiente de trabalho\TESE\Nova pasta\TESE I  
Modelo: C:\Documents and Settings\CHEIK SANI\Application Data\Microsoft\Modelos\Normal.dotm  
Título: 1  
Assunto:  
Autor: Luis de Picado Santos  
Palavras-chave:  
Comentários:  
Data de criação: 19-01-2014 7:28:00  
Número da alteração: 119  
Guardado pela última vez em: 31-01-2014 16:45:00  
Guardado pela última vez por: IBRAHIM SANI  
Tempo total de edição: 4.555 Minutos  
Última impressão: 31-01-2014 17:33:00  
Como a última impressão completa  
Número de páginas: 167  
Número de palavras: 36.655 (aprox.)  
Número de caracteres: 197.937 (aprox.)