



Análise e Dimensionamento de ligações Metálicas Rígidas - Influência da Rigidez na Transmissão de Momentos

DÉNZEL JOSUÉ NAMURAHA CORREIA

outubro de 2025

**Análise e Dimensionamento de
ligações Metálicas Rígidas -
Influência da Rigidez na
Transmissão de Momentos**

Dénzel Josué Namuraha Correia

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil, Área de Especialização em
Estruturas**

Orientador: Rodrigo Esmeriz Falcão Moreira

Júri:

Presidente:

Professora Doutora Maria do Rosário Santos Oliveira, Professora Adjunta, Isep

Vogais:

Professor Doutor Carlos Manuel da Silva Félix, Professor Coordenador com Agregação, Isep

Professor Doutor Rodrigo Esmeriz Falcão Moreira, Professor Adjunto, Isep

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Daniel Correia', written in a cursive style.

ISEP, Porto, 29 de setembro de 2025

Resumo

O presente trabalho centra-se na análise e dimensionamento de ligações metálicas rígidas, com particular enfoque na influência da rigidez na transmissão de momentos entre vigas e pilares. A escolha do tema decorre da relevância que as ligações assumem no comportamento global das estruturas metálicas, uma vez que a sua rigidez condiciona de forma direta a distribuição de esforços, a deformabilidade e a segurança da estrutura.

O estudo fundamenta-se nas disposições do Eurocódigo 3 – Parte 1-8 (NP EN 1993-1-8), que introduz o método das componentes como ferramenta de referência para avaliar a resistência, a rigidez e a ductilidade das juntas. Este método, ao decompor a ligação em elementos básicos com propriedades próprias, permite descrever o comportamento momento–rotação de uma junta.

A estudo focou-se em ligações viga–pilar com chapas de extremidade, amplamente utilizadas em pórticos metálicos. Foram analisados diferentes parâmetros geométricos e construtivos, como a espessura das chapas, o diâmetro dos parafusos e a eventual introdução de chapas de reforço, de modo a compreender o seu impacto na capacidade resistente e na rigidez rotacional.

Para suportar o estudo, recorreu-se a uma dupla abordagem: por um lado, cálculos manuais em folhas *Excel* desenvolvidas com base no método das componentes. Por outro, a utilização do programa *IdeaStatica*, baseado em modelação numérica por elementos finitos. A comparação entre os dois métodos permitiu consolidar os procedimentos normativos e evidenciar diferenças no comportamento previsto, sobretudo no que respeita à rigidez inicial.

Palavras-chave: Ligações aparafusadas; Rigidez rotacional; Momentos fletores; Método das componentes; Chapas de reforço.

Abstract

The present work focuses on the analysis and design of rigid steel connections, with particular emphasis on the influence of stiffness on the transfer of moments between beams and columns. The choice of the theme arises from the relevance that connections assume in the overall behaviour of steel structures, since their stiffness directly affects the distribution of internal forces, deformability, and structural safety.

The study is based on the provisions of Eurocode 3 – Part 1-8 (NP EN 1993-1-8), which introduces the component method as a reference tool for assessing the resistance, stiffness, and ductility of joints. By decomposing the connection into basic elements with their own properties, this method makes it possible to describe the moment–rotation behaviour of a joint.

The study focused on beam-to-column end-plate connections, which are widely used in steel frames. Different geometric and constructive parameters were analysed, such as plate thickness, bolt diameter, and the possible introduction of stiffening plates, in order to understand their impact on load-bearing capacity and rotational stiffness.

To support the study, a dual approach was adopted: on the one hand, manual calculations in Excel spreadsheets developed on the basis of the component method; on the other, the use of the software IdeaStatica, which is based on numerical modelling by means of the finite element method. The comparison between both approaches made it possible to consolidate normative procedures and highlight differences in the predicted behaviour, particularly with regard to initial stiffness.

Keywords: Bolted connections; Rotational stiffness; Bending moments; Component method; Stiffening plates.

Agradecimentos

Ao Engenheiro Rodrigo Falcão, é com elevado respeito e consideração que agradeço toda a disponibilidade e apoio prestado.

Aos meus Pais, Augusto e Helena, e aos meus irmãos, por tudo o que fizeram por mim, ajudando-me a cumprir com os meus objetivos.

Aos meus amigos pelo incentivo prestado ao longo da realização deste trabalho.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento Geral	1
1.2	Objetivos	1
1.3	Estrutura organizacional	2
2	Importância do estudo de ligações metálicas	3
2.1	Tipos de ligações	4
2.1.1	Ligações rígidas	4
2.1.2	Ligações Articuladas	4
2.1.3	Ligações semi-rígidas	5
2.2	Elementos constituintes de uma ligação	6
2.2.1	Parafusos	6
2.2.2	Soldaduras	8
	• Método direcional	10
	• Método simplificado	11
2.2.3	Chapas	11
2.3	CrITÉrios de análise e classificação de ligações	12
2.3.1	Análise global elástica de estruturas	13
2.3.2	Análise global plástica de estruturas	13
2.3.3	Análise de ligações	14
2.3.4	Classificação por rigidez rotacional	17
2.3.5	Classificação por capacidade resistente	18
3	Dimensionamento de ligações	19
3.1	Método das componentes	19
3.1.1	Identificação das componentes de uma junta	20
3.1.2	Procedimento de cálculo	21
3.1.3	Distribuição dos esforços	22
3.1.4	Peça em T equivalente tracionada (<i>T-stub</i>)	23
3.1.5	Resistência de cálculo das componentes básicas	29
3.1.6	Verificação à flexão	35
3.1.7	Capacidade de rotação de uma junta	36
3.1.8	Verificação ao esforço transversal	37
3.1.9	Rigidez de Rotação	39
3.2	Método alternativo e programa de cálculo (<i>IdeaStática</i>)	41
3.2.1	Vantagens	42
3.2.2	Desvantagens	42
4	Caso de Estudo	43
4.1	Introdução	43
4.2	Enquadramento	43
4.2.1	Pórtico	43

4.2.2	Geometria das ligações.....	44
4.3	Cálculo da resistência e rigidez das ligações.....	45
4.3.1	Método das componentes para proposta de geometria 1.....	45
4.3.2	Método das componentes para proposta de geometria 2.....	47
4.3.3	Modelo <i>IdeaStatica</i> para proposta de geometria 1.....	48
4.3.4	Modelo <i>IdeaStatica</i> para proposta de geometria 2.....	51
4.4	Discussão dos resultados.....	54
5	Considerações finais.....	61
5.1	Conclusões.....	61
5.2	Desenvolvimentos Futuros.....	61
	Referências bibliográficas.....	63
	Anexos.....	65

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Demonstração da distribuição dos esforços numa viga em função da rigidez real dos nós de ligação.(Šabatka et al.).....	3
Figura 2.2 – Comportamentos das juntas em função da geometria. (a) articulado; (b) rígido; (c) semi-rígido (Rangel et al., 2017).....	4
Figura 2.3 - Exemplo de ligações rígidas	4
Figura 2.4 - Exemplo de ligações articuladas.....	5
Figura 2.5 - Exemplo de ligações semi-rígidas	5
Figura 2.6 - Distribuição de forças em ligações aparafusadas (Simões da Silva & Santiago, 2003)	7
Figura 2.7 - Definição da espessura do cordão de uma soldadura de ângulo (NP EN 1993-1-8, 2010)	9
Figura 2.8 - Exemplo de uma soldadura de topo.....	9
Figura 2.9 - Tensões no plano crítico do cordão de soldadura (NP EN 1993-1-8, 2010).....	10
Figura 2.10 - Exemplo de sistemas de reforço padronizados (Kubicek, 2021).....	11
Figura 2.11 - Deslocamento horizontal no topo de um piso em relação à sua base (NP EN 1993-1-1, 2010).....	13
Figura 2.12 - Diagrama não-linear e diagramas aproximados da curva momento-rotação (Sousa, 2017)	15
Figura 2.13 - Diagrama resumo de classificação de ligações segundo a NP EN 1993-1-8 (adaptado de Sousa, 2017).....	15
Figura 2.14 - Rigidez de rotação a utilizar na análise global elástica (adaptado da NP EN 1993-1-8, 2010)	15
Figura 2.15 - Relação momento-rotação de cálculo bilinear simplificado (NP EN 1993-1-8, 2010).....	16
Figura 2.16 - Limites para a classificação das juntas segunda a rigidez de rotação (NP EN 1993-1-8, 2010).....	17
Figura 2.17 - Requisitos para juntas de resistência total (NP EN 1993-1-8, 2010).....	18
Figura 3.1 - Método das componentes aplicado a uma junta viga-pilar (Simões da Silva & Santiago, 2003)	19
Figura 3.2 - Esforços atuantes numa junta e a identificação do painel de alma do pilar (NP EN 1993-1-8, 2010).....	20
Figura 3.3 - Identificação de todos os componentes de uma junta (adaptado de SCI P398, 2013).....	20
Figura 3.4 - Diagrama de cálculo do método das componentes (adaptado de Sousa, 2017)	21
Figura 3.5 - Critérios a satisfazer segundo a secção 6.2.7. a) quando o N_{Ed} é inferior a 5% do $N_{pl,Rd}$; b) quando o N_{Ed} é superior a 5%. (NP EN 1993-1-8, 2010)	22
Figura 3.6 - Peça em T equivalente (Vieito, 2015).....	23
Figura 3.7 - Dimensões do banzo de uma peça em T equivalente (NP EN 1993-1-8, 2010)	24
Figura 3.8 - Modo de rotura 1 (SCI P398, 2013)	24
Figura 3.9 - Modo de rotura 2 (SCI P398, 2013)	25
Figura 3.10 - Modo de rotura 3 (SCI P398, 2013)	25
Figura 3.11 - Linhas de rotura de parafusos isolados e em grupo (Vieito, 2015).....	27
Figura 3.12 - Ordem de cálculo para a determinação do valor de $F_{t,Rd}$ para as linhas de parafusos à tração (Vieito, 2015)	28
Figura 3.13 - Distribuição triangular do $F_{t,Rd}$ das linhas de parafusos (adaptado de SCI P398, 2013)	29
Figura 3.14 - Exemplos de chapas de alma adicionais (NP EN 1993-1-8, 2010).....	30
Figura 3.15 - Representação da alma do pilar em compressão transversal (adaptado de Sousa, 2017) 30	
Figura 3.16 - Pormenor do beff (SCI P398, 2013)	31
Figura 3.17 - a) Modo de encurvadura por deslocamento relativo dos banzos de uma alma não reforçada. b) Exemplo da utilização de chapas de reforço transversais. (Adaptado da NP EN 1993-1-8, 2010).....	31

Figura 3.18 - Representação da zona da alma do pilar em tração (adaptado de Sousa, 2017)	31
Figura 3.19 - Representação das possíveis linhas de parafusos numa peça em T equivalente (NP EN 1993-1-8, 2010).....	32
Figura 3.20 - Valor de α para banzos e chapas de extremidade (NP EN 1993-1-8, 2010).....	34
Figura 3.21 - Centro de compressão da viga (Vieito, 2015).....	34
Figura 3.22 - Representação da alma da viga em tração (adaptado de Sousa, 2017).....	35
Figura 3.23 - Centro de compressão, braço do binário e distribuição dos esforços para determinação de momento resistente (Adaptado da NP EN 1993-1-8, 2010).....	36
Figura 3.24 - Identificação dos parafusos sujeitos apenas ao corte e os à ação combinada (adaptado de SCI P398, 2013)	38
Figura 3.25 - Interface de visualização do IdeaStatica (IdeaStatica, 2025)	42
Figura 4.1 - Geometria do Pórtico	43
Figura 4.2 - Proposta de geometria 1	44
Figura 4.3 - Proposta de geometria 2	45
Figura 4.4 - Gráfico momento-rotação extraído do IdeaStatica para chapa de 20mm e parafusos M2048	
Figura 4.5 - Gráfico momento-rotação extraído do IdeaStatica para chapa de 20mm e parafusos M3649	
Figura 4.6 - Gráfico momento-rotação extraído do IdeaStatica para chapa de 50mm e parafusos M2050	
Figura 4.7 - Gráfico momento-rotação extraído do IdeaStatica para chapa de 50mm e parafusos M3650	
Figura 4.8 - Gráfico momento-rotação extraído do IdeaStatica para chapa de 20mm e parafusos M2051	
Figura 4.9 - Gráfico momento-rotação extraído do IdeaStatica para chapa de 20mm e parafusos M3652	
Figura 4.10 – Gráfico momento-rotação extraído do IdeaStatica para chapa de 50mm e parafusos M20	53
Figura 4.11 - Gráfico momento-rotação extraído do IdeaStatica para chapa de 50mm e parafusos M36	53
Figura 4.12 - Proposta 1 - Cenário 1: Momento resistente	56
Figura 4.13 - Proposta 1 - Cenário 1: Rigidez inicial.....	56
Figura 4.14 - Proposta 1 - Cenário 2: Momento resistente	57
Figura 4.15 - Proposta 1 - Cenário 2: Rigidez inicial.....	57
Figura 4.16 - Proposta 2 - Cenário 1: Momento resistente	58
Figura 4.17 - Proposta 2 - Cenário 1: Rigidez inicial.....	58
Figura 4.18 - Proposta 2 - Cenário 2: Momento resistente	59
Figura 4.19 - Proposta 2 - Cenário 2: Rigidez inicial.....	59

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Resumo dos tipos de ligações	5
Tabela 2.2 - Valores nominais de tensão de cedência, f_{yb} , e de tensão de rotura à tração, f_{ub} , para parafusos . (NP EN 1993-1-8, 2010)	7
Tabela 2.3 - Resumo das categorias de ligações aparafusadas (NP EN 1993-1-8, 2010)	8
Tabela 2.4 - Fator de correlação para avaliação da resistência de soldaduras (NP EN 1993-1-8, 2010)	10
Tabela 2.5 - Resumo dos modelos de juntas e as classificações possíveis (NP EN 1993-1-8, 2010)	14
Tabela 2.6 - Coeficientes de modificação da rigidez (NP EN 1993-1-8, 2010).....	16
Tabela 3.1 - Determinação do valor de cálculo da resistência $F_{T,Rd}$. (NP EN 1993-1-8, 2010)	26
Tabela 3.2 – Comprimento efetivo para banzos de pilares sem reforços adjacentes (NP EN 1993-1-8, 2010)	32
Tabela 3.3 - Comprimento efetivo para banzos de pilares com reforços adjacentes (NP EN 1993-1-8, 2010)	33
Tabela 3.4 - Comprimento efetivo para chapas de extremidade (NP EN 1993-1-8, 2010)	33
Tabela 3.5 - valores de Ψ (NP EN 1993-1-8, 2010)	39
Tabela 3.6 - Coeficientes de rigidez a considerar numa junta aparafusada (NP EN 1993-1-8, 2010)	40
Tabela 4.1 – Resumo dos cenários de estudos para as propostas de geometria 1 e 2	45
Tabela 4.2 - Resultados do cenário 1 para proposta de geometria 1.....	46
Tabela 4.3 - Resultados do cenário 2 para proposta de geometria 1.....	46
Tabela 4.4 - Resultados do cenário 1 para proposta de geometria 2.....	47
Tabela 4.5 - Resultados do cenário 2 para proposta de geometria 2.....	47
Tabela 4.6 - Resultados do cenário 1 para proposta de geometria 1.....	48
Tabela 4.7 - Resultados do cenário 2 para proposta de geometria 1.....	49
Tabela 4.8 - Resultados do cenário 1 para proposta de geometria 2.....	51
Tabela 4.9 - Resultados do cenário 2 para proposta de geometria 2.....	52
Tabela 4.10 - Proposta de geometria 1, Cenário 1 (chapa de 20mm)	56
Tabela 4.11 - Proposta de geometria 1, Cenário 2 (Chapa 50 mm)	57
Tabela 4.12 - Proposta de geometria 2, Cenário 1 (Chapa 20 mm)	58
Tabela 4.13 - Proposta de geometria 2, Cenário 2 (Chapa 50 mm)	59

Acrónimos e Símbolos

Lista de Símbolos

a - cordão de soldadura

α_{cr} – fator pelo qual as ações de cálculo teriam de ser multiplicadas para provocar instabilidade elástica num modo global

A_{vc} – área de corte do pilar

$\delta_{H,Ed}$ – deslocamento horizontal no topo do piso, medido em relação à sua base

d_m – menor diâmetro médio da cabeça do parafuso ou da porca

d_{wc}/ d_c - altura livre da alma do pilar

F_{cr} – valor crítico do carregamento associado à instabilidade elástica num modo global com deslocamentos laterais.

F_{Ed} – valor de cálculo do carregamento da estrutura

$F_{s,Rd}$ - valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso no estado limite último

$F_{t,Ed}$ - valor de cálculo da tração por parafuso no estado limite último

$F_{s,Rd,ser}$ - valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso no estado limite de utilização

$F_{v,Ed}$ – valor de cálculo do corte por parafuso no estado limite último

$F_{v,Ed,ser}$ – valor de cálculo do corte por parafuso no estado limite de utilização

f_u – valor nominal da tensão de rotura à tração da peça ligada mais fraca

H_{Ed} – valor de cálculo da carga horizontal total, incluindo as forças equivalentes transmitidas pelo piso

$M_{j,Ed}$ – valor de cálculo do momento fletor atuante na junta

ω – coeficiente de redução para em conta os eventuais efeitos de interação com o esforço de corte no painel de alma do pilar

ρ – coeficiente de redução para o enfunamento da chapa

S – cateto de soldadura igual a $\sqrt{2} \cdot a$

t_{fb} – espessura do banzo da viga

t_{fc} – espessura do banzo do pilar

t_p – espessura da chapa de extremidade

t_{wb} – espessura da alma da viga

t_{wc} – espessura da alma do pilar

1 Introdução

1.1 Enquadramento Geral

No domínio da engenharia estrutural, as ligações metálicas assumem um papel importante no comportamento global das estruturas, uma vez que garantem a transmissão de esforços entre elementos como vigas e pilares. A consideração adequada da rigidez das ligações revela-se essencial para prever corretamente a resposta estrutural, tanto em condições normais de serviço como em situações de carregamentos extremos.

O Eurocódigo 3 – Parte 1-8 (NP EN 1993-1-8) introduz o método das componentes como ferramenta fundamental para a análise e dimensionamento de juntas metálicas, permitindo decompor a ligação em elementos básicos com rigidez e resistência próprias. Este método possibilita a caracterização do comportamento momento–rotação da ligação e, conseqüentemente, a sua classificação em rígida, semi- rígida ou articulada, bem como a sua avaliação em termos de resistência e ductilidade.

Neste contexto, torna-se relevante aprofundar o estudo das ligações rígidas viga– pilar com chapas de extremidade, atendendo ao impacto que variáveis geométricas e construtivas exercem sobre a transmissão de momentos e sobre o desempenho global do sistema estrutural.

1.2 Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo principal analisar e dimensionar ligações metálicas rígidas, com especial enfoque na influência da rigidez na transmissão de momentos.

De modo a atingir o objetivo, procedeu-se à aplicação do método das componentes, conforme apresentado na NP EN 1993-1-8, para o dimensionamento de ligações viga– pilar com chapas de extremidade, assim como para a classificação das ligações quanto à sua resistência e rigidez.

Estudou-se o efeito da variação de parâmetros geométricos da ligação, nomeadamente a espessura da chapa de extremidade, o diâmetro dos parafusos e a presença de chapas de reforço, na capacidade resistente e na rigidez rotacional da junta.

Desta forma, procedeu-se também à comparação dos resultados obtidos por meio de folhas de cálculo desenvolvidas em *Excel* com os resultados fornecidos pelo programa *IdeaStatica*, baseado na modelação por elementos finitos, de modo a validar o procedimento manual e identificar possíveis divergências.

1.3 Estrutura organizacional

O presente trabalho encontra-se estruturado em cinco capítulos. No primeiro faz-se o enquadramento geral da temática, assim como dos objetivos estabelecidos.

No segundo capítulo discute-se a importância das ligações metálicas, em que se descreve os diferentes tipos de ligações, os elementos que as compõem e os critérios de análise e classificação definidos pela NP EN 1993-1-8.

O terceiro capítulo aborda o dimensionamento de ligações, o método das componentes, as etapas de cálculo e a forma de avaliação da resistência, rigidez e ductilidade, incluindo ainda referência ao método alternativo do programa de cálculo *IdeaStatica*.

O quarto capítulo corresponde ao caso de estudo, no qual é apresentada a geometria do pórtico e das ligações propostas, sendo analisada a influência de diferentes parâmetros geométricos através da aplicação do método das componentes e da comparação com os resultados do *IdeaStatica*.

Por fim, o quinto capítulo reúne as conclusões, destacando a relevância da rigidez das ligações no comportamento global das estruturas, apresentando as principais constatações do estudo e sugerindo potenciais linhas de investigação futura.

2 Importância do estudo de ligações metálicas

No âmbito das estruturas metálicas, as ligações constituem elementos fundamentais para a integridade, segurança e desempenho global do sistema estrutural. Embora, tradicionalmente, o foco do dimensionamento estrutural recaia sobre os elementos principais, vigas e pilares, o comportamento das ligações pode influenciar de forma determinante a resposta global da estrutura, especialmente no que respeita à transmissão de esforços e a rigidez dos nós, ver figura 2.1.

As ligações metálicas são responsáveis pela transferência de forças internas entre os elementos estruturais, nomeadamente forças axiais, esforços transversos e momentos fletores. O modo como estas forças são transmitidas depende fortemente da configuração geométrica da ligação, do tipo de elementos de fixação (parafusos, chapas e soldaduras), da qualidade dos materiais e, especialmente, da rigidez da ligação, ver figura 2.2.

A negligência do comportamento real das ligações pode conduzir a erros significativos no dimensionamento e a subavaliações da deformabilidade global da estrutura. Por exemplo, considerar todas as ligações como perfeitamente rígidas pode resultar numa sobrestimação da rigidez da estrutura, implicando potenciais problemas de deslocamentos excessivos ou redistribuições inesperadas de esforços. Por outro lado, a consideração conservativa de ligações como perfeitamente articuladas pode conduzir a soluções sobredimensionadas e economicamente menos eficientes.

Estudos como de (Simões da Silva, 2008), bem como as regras definidas na NP EN 1993-1-1 e na NP EN 1993-1-8, destacam a importância de adotar modelos de ligação mais realistas, sobretudo em estruturas onde a interação entre elementos estruturais e as ligações é significativa.

Além disso, o estudo detalhado das ligações é vital para garantir a ductilidade necessária em zonas críticas, para controlar mecanismos de colapso, melhorar o desempenho estrutural face a ações dinâmicas e compreender as reais condições de transmissão de esforços.

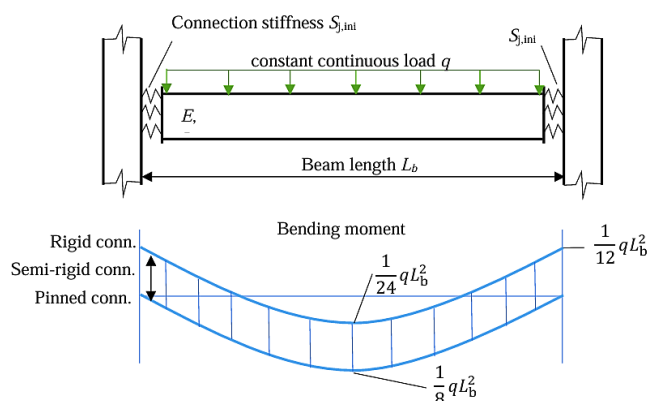


Figura 2.1 - Demonstração da distribuição dos esforços numa viga em função da rigidez real dos nós de ligação. (Šabatka et al.)

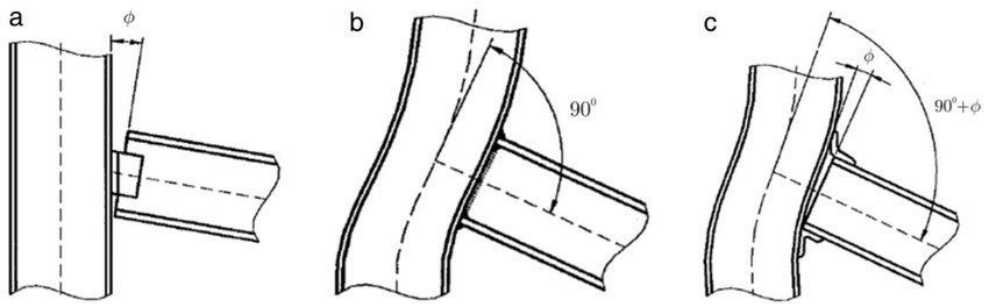


Figura 2.2 – Comportamentos das juntas em função da geometria. (a) articulado; (b) rígido; (c) semi-rígido (Rangel et al., 2017)

2.1 Tipos de ligações

No domínio das estruturas metálicas, as ligações entre elementos estruturais desempenham um papel fundamental no comportamento global da estrutura. Dependendo da rigidez que oferecem à transmissão de momentos fletores, as ligações podem ser divididas em três categorias principais: rígidas, articuladas (ou rotuladas) e semi-rígidas.

2.1.1 Ligações rígidas

As ligações rígidas são concebidas para transmitir momentos fletores quase integralmente entre os elementos ligados, assegurando rigidez de rotação suficiente para que se considere uma continuidade entre os elementos a ligar e contribuindo significativamente para a rigidez global do sistema estrutural. Estas são frequentemente utilizadas em estruturas do tipo pórtico.

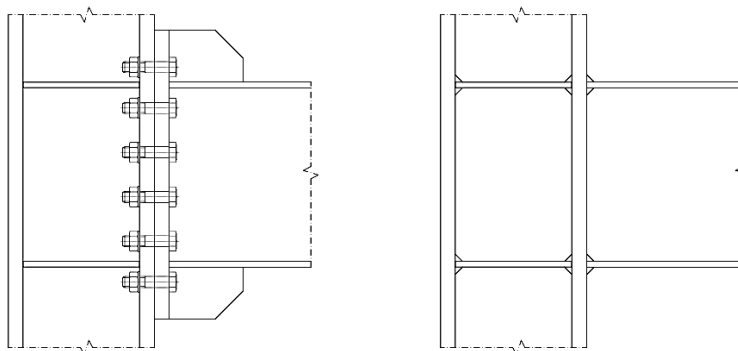


Figura 2.3 - Exemplo de ligações rígidas

2.1.2 Ligações Articuladas

As ligações articuladas são projetadas para não transmitir momentos fletores significativos, permitindo a rotação livre entre os elementos. São tipicamente utilizadas em estruturas onde se pretende simplificar a análise, assumindo que as ligações apenas transferem esforços axiais e de corte.

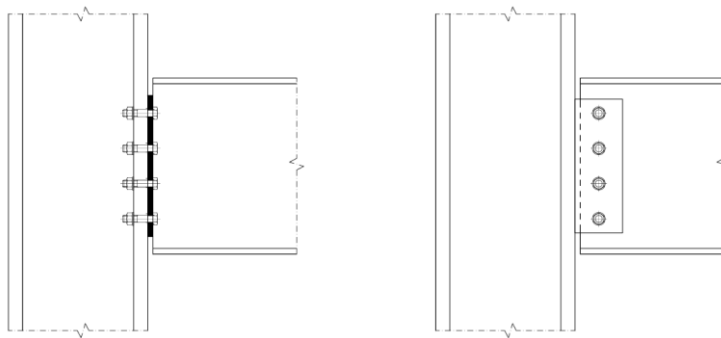


Figura 2.4 - Exemplo de ligações articuladas

2.1.3 Ligações semi-rígidas

As ligações semi-rígidas representam um caso intermédio. Este tipo de ligação é particularmente relevante em análises avançadas, onde a interação entre rigidez da ligação e o comportamento global da estrutura não podem ser negligenciados.

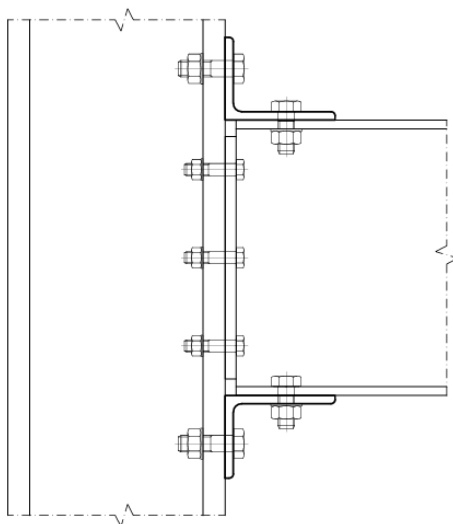


Figura 2.5 - Exemplo de ligações semi-rígidas

Tabela 2.1 - Resumo dos tipos de ligações

Tipo de Ligação	Transmissão de Momento	Rotação Relativa	Exemplo de Aplicação
Rígida	Elevada	Nula ou muito reduzida	Pórticos metálicos
Articulada	Nula ou desprezável	Livre	Estruturas treliçadas
Semi-rígida	Parcial	Controlada	Edifícios industriais leves

2.2 Elementos constituintes de uma ligação

As ligações metálicas são compostas por diversos elementos estruturais e acessórios cuja interação conjunta determina o comportamento global da ligação, particularmente no que diz respeito à sua rigidez, resistência e ductilidade.

2.2.1 Parafusos

A resistência última de uma ligação aparafusada é avaliada com base em simplificações relativas à redistribuição das forças internas. Segundo a secção 3.12 da NP EN 1993-1-8, a distribuição dos esforços pode ser linear, proporcional à distância ao centro de rotação, ou plástica, quando qualquer distribuição que esteja em equilíbrio é aceitável desde que a resistência dos componentes não seja excedida e que a ductilidade dos mesmos seja suficiente.

Consoante a distribuição das forças ao longo da ligação, os parafusos podem ser solicitados de diferentes formas:

- Parafusos ao corte – O movimento relativo entre as chapas de ligação é restringido pelo núcleo do parafuso, que resiste ao corte;
- Parafusos tracionados;

A NP EN 1993-1-8 define os parafusos a utilizar em função das categorias de ligações aparafusadas. Sendo as categorias as seguintes:

- Ligações ao Corte;
 - Categoria A: Ligações resistentes ao esmagamento;
 - Categoria B: Ligações resistentes ao escorregamento no estado limite de utilização;
 - Categoria C: Ligações resistentes ao escorregamento no estado limite de último;
- Ligações à tração
 - Categoria D: Ligações não pré-esforçadas;
 - Categoria E: Ligações pré-esforçadas;

É possível a combinação de categorias de ligações, por exemplo, uma ligação sujeita simultaneamente a esforços de corte e de tração pode ser classificada como pertencente às categorias A e D.

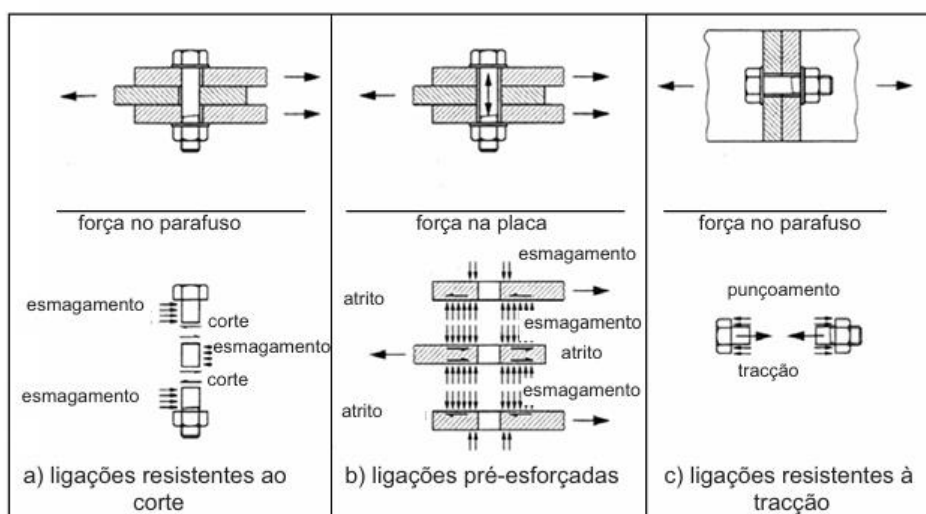


Figura 2.6 - Distribuição de forças em ligações aparafusadas (Simões da Silva & Santiago, 2003)

Em função das categorias acima definidas, os parafusos poderão dividir-se em dois tipos, os normais e os de alta resistência para pré-esforço, “*High strength structural bolting for preloading*”. O pré-esforço é resultante da força de aperto dos parafusos, que comprime as chapas entre si e permite que a ligação resista à deslocação por atrito. As classes de parafusos mais utilizadas em ligações metálicas variam de 4.6 a 10.9.

Tabela 2.2 - Valores nominais de tensão de cedência, f_{yb} , e de tensão de rotura à tração, f_{ub} , para parafusos. (NP EN 1993-1-8, 2010)

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

De modo geral, nas ligações sujeitas a forças e momentos estáticos podem ser utilizadas todas as classes de parafusos. Entretanto, nas ligações sujeitas a forças cíclicas, suscetíveis de induzir fenómenos de fadiga, devem utilizar-se parafusos com elevada resistência à fadiga e deformabilidade reduzida, nomeadamente os de classes 8.8 e 10.9.

Tabela 2.3 - Resumo das categorias de ligações aparafusadas (NP EN 1993-1-8, 2010)

Categoria	Crítérios	Observações
Ligações ao Corte		
A Resistente ao esmagamento	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Não é necessário qualquer pré-esforço. Poderão utilizar-se as classes de parafusos 4.6 a 10.9
B Resistente ao escorregamento no estado limite utilização	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Deverão utilizar-se parafusos pré-esforçados das classes 8.8 ou 10.9.
C Resistente ao escorregamento no estado limite último	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Deverão utilizar-se parafusos pré-esforçados das classes 8.8 ou 10.9. Além disso, no caso de ligações tracionadas, não deve ser excedido o valor de cálculo da resistência plástica da secção útil que interceta os furos dos parafusos ($N_{net,Rd}$)
Ligações à tração		
D Não pré-esforçada	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Não é necessário qualquer pré-esforço. Poderão utilizar-se as classes de parafusos 4.6 a 10.9. Deve ser verificada a resistência ao punçoamento.
E Pré-esforçada	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Deverão utilizar-se parafusos pré-esforçados das classes 8.8 ou 10.9. Deve ser verificada a resistência ao punçoamento.

2.2.2 Soldaduras

As soldaduras são elementos fundamentais em ligações metálicas que permitem a união permanente entre dois ou mais materiais garantido a continuidade estrutural, elevada resistência e estanquidade. As soldaduras devem possuir uma capacidade de deformação adequada e apresentar resistência igual ou superior à da componente mais fraca da ligação (por exemplo, a chapa de extremidade ou o banzo/alma da viga). A verificação à fadiga, particularmente relevante em estruturas sujeitas a ações cíclicas, é tratada na NP EN 1993-1-9, a qual complementa as disposições da Parte 1-8 no que diz respeito à durabilidade das soldaduras ao longo do tempo.

2.2.2.1 Tipos de soldaduras

No contexto da engenharia estrutural e metalomecânica, as soldaduras são classificadas segundo o método de execução e a geometria da junta. Os tipos comuns de soldaduras são as seguintes:

- Soldadura de ângulo - Amplamente utilizada em ligações entre elementos metálicos dispostos em ângulo, como chapas em juntas em T, juntas de canto ou chapas sobrepostas. Este tipo de soldadura caracteriza-se por apresentar uma secção triangular formada na intersecção entre as superfícies dos elementos a unir.

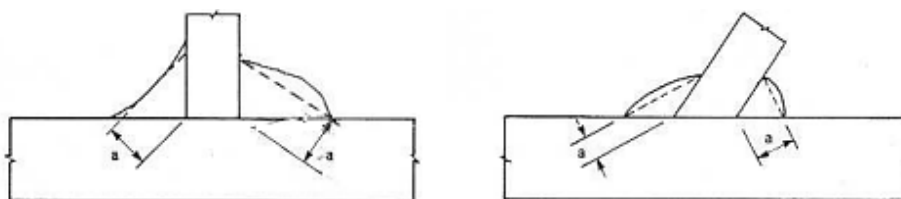


Figura 2.7 - Definição da espessura do cordão de uma soldadura de ângulo (NP EN 1993-1-8, 2010)

- Soldadura de Topo - Aplicadas na união de elementos coplanares ou em ligações que devido às solicitações ou condicionantes geométricas justifica-se a utilização deste tipo de soldadura, sendo frequentemente adotadas em situações onde se pretende garantir a continuidade da secção resistente, no caso de soldaduras de topo com penetração total. Quando corretamente executada, é assumido que para uma junta de penetração total, a resistência é igual ou superior à do material base.

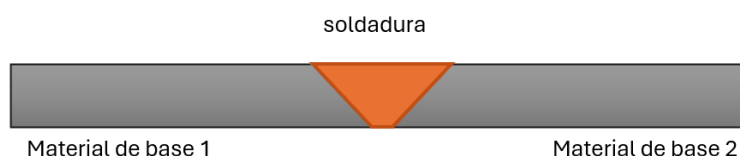


Figura 2.8 - Exemplo de uma soldadura de topo

2.2.2.2 Dimensionamento de cordão de ângulo

A resistência da ligação é avaliada com base no comprimento efetivo, na espessura efetiva, designada por a , e na resistência do material de soldadura.

Segundo a NP EN 1993-1-8, o comprimento efetivo do cordão de ângulo deve ser considerado como sendo igual ao comprimento em que o cordão tem a sua secção completa. No caso em que a espessura do cordão se mantenha constante ao longo de todo o seu comprimento, incluindo nas suas extremidades, não é necessário efetuar reduções do seu comprimento efetivo quer no início quer no fim da soldadura.

Quanto a espessura efetiva, a NP EN 1993-1-8 define que deverá ser igual à altura do maior triângulo (com lados iguais ou desiguais) que pode ser inscrito no espaço limitado pelas faces a soldar e pela superfície da soldadura, medida perpendicularmente ao lado exterior desse triângulo. A espessura efetiva de um cordão de ângulo não deve ser inferior a 3 mm.

- **Método direcional**

No dimensionamento de um cordão de soldadura de ângulo, a tensão total é decomposta nas componentes paralelas e transversais ao plano crítico do cordão, ver figura 2.9. A distribuição de tensões é assumida como uniforme, podendo desenvolver-se as seguintes componentes:

σ_{\perp} tensão normal perpendicular ao plano crítico do cordão de soldadura;

$\sigma_{//}$ tensão normal paralela ao eixo do cordão de soldadura;

τ_{\perp} tensão tangencial perpendicular ao eixo do cordão de soldadura;

$\tau_{//}$ tensão tangencial (no plano crítico do cordão de soldadura) paralela ao eixo do cordão de soldadura.

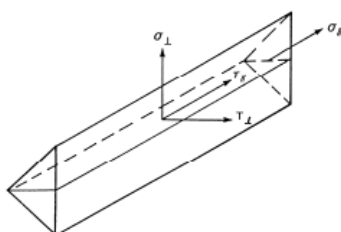


Figura 2.9 - Tensões no plano crítico do cordão de soldadura (NP EN 1993-1-8, 2010)

A verificação fundamental baseia-se na tensão de von Mises em que a resistência de um cordão de soldadura de ângulo é considerada como suficiente se forem satisfeitas as condições seguintes:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp} + \tau_{//})^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad e \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (2.1)$$

Tabela 2.4 - Fator de correlação para avaliação da resistência de soldaduras (NP EN 1993-1-8, 2010)

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

- **Método simplificado**

A NP EN 1993-1-8 considera ainda um método simplificado alternativo para o dimensionamento de cordões de soldadura de ângulo. Consiste na avaliação da tensão resistente ao corte por unidade de comprimento do cordão, independentemente da direção do esforço transmitido.

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (2.2)$$

Sendo a força resistente do cordão de soldadura por unidade de comprimento dada por:

$$F_{w,Rd} = a \cdot f_{vw,d} \quad (2.3)$$

Para estruturas sujeitas a ações cíclicas, as soldaduras devem ser verificadas quanto à fadiga. A NP EN 1993-1-9 define classes de detalhe, curvas de resistência à fadiga para gamas de tensão direta (curvas S–N) e considera efeitos de tensões residuais, imperfeições geométricas e descontinuidades.

2.2.3 Chapas

As chapas de extremidade e as chapas de reforço são componentes fundamentais, especialmente em ligações rígidas, onde se pretende garantir continuidade na transmissão de momentos fletores e esforço axial. Estas chapas têm como característica principal:

- Espessura e dimensões ajustáveis;
- Capacidade de transmissão de esforços compostos;
- Facilidade de fabrico e montagem;

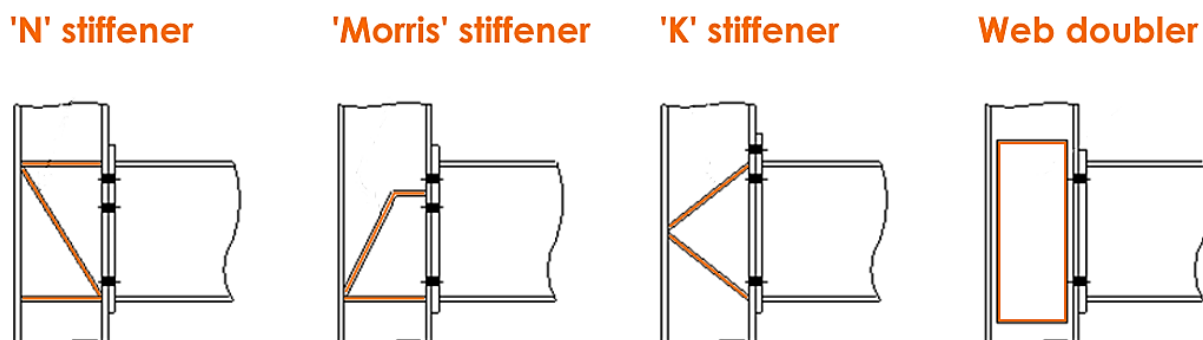


Figura 2.10 - Exemplo de sistemas de reforço padronizados (Kubicek, 2021)

2.3 Critérios de análise e classificação de ligações

A NP EN 1993-1-8 define modelos analíticos para a representação do comportamento das ligações que se baseiam no método de análise global.

Os critérios para a análise global de estruturas são apresentados na secção 5 da NP EN 1993-1-1 e dependem do tipo de análise aplicada a estrutura, das ações relevantes, incluindo ações permanentes, variáveis, acidentais e imperfeições geométricas.

Quanto a modelação de estruturas, esta deverá refletir, com precisão adequada, aquele que poderá ser o comportamento real para os estados limites considerados, o comportamento previsto para as secções transversais, as ligações e os apoios. Para a análise global, os esforços poderão ser determinados através de:

- Análise de primeira ordem, considerando a geometria inicial da estrutura;
- Análise de segunda ordem, tomando em consideração a influência da configuração deformada da estrutura.

Os efeitos de segunda ordem deverão ser considerados sempre que aumentem os efeitos das ações ou modifiquem o comportamento estrutural de forma significativa. Os efeitos da configuração deformada da estrutura (efeitos de segunda ordem) poderão ser desprezáveis se for cumprida a seguinte condição:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \text{ para análise elástica} \quad (2.4)$$

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \text{ para análise plástica} \quad (2.5)$$

O valor limite para o α_{cr} é superior na análise plástica devido ao fato do comportamento estrutural poder ser significativamente influenciado pela não linearidade material no estado limite último.

Nos casos de pórticos de travessas inclinadas com declives acentuados e os pórticos planos com vigas e Pilares em edifícios, poderão ser verificados em relação ao colapso em modos com deslocamentos laterais através de uma análise de primeira ordem, desde que o critério acima definido seja satisfeito em cada piso, ver figura 2.11. Sendo o α_{cr} calculado pela seguinte expressão:

$$\alpha_{cr} = \left(\frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \left(\frac{h}{\delta_{H, Ed}} \right) \quad (2.6)$$

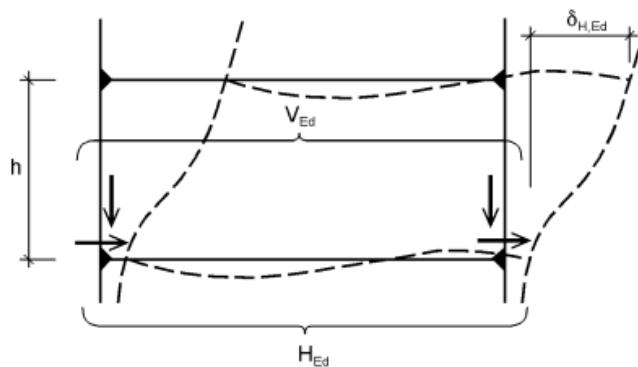


Figura 2.11 - Deslocamento horizontal no topo de um piso em relação à sua base (NP EN 1993-1-1, 2010)

2.3.1 Análise global elástica de estruturas

Esta análise baseia-se na hipótese de a relação tensão-deformação do material ser linear para qualquer nível de tensões atuantes. Poderá adotar-se esta análise mesmo no caso da resistência das secções transversais dos elementos se basear na sua resistência plástica ou no caso da resistência das secções transversais for limitada pela encurvadura local.

2.3.2 Análise global plástica de estruturas

Esta análise considera os efeitos do comportamento não linear dos materiais no cálculo dos efeitos provocados pelas ações num sistema estrutural. Deverão ser considerados um dos seguintes métodos para este tipo de análise:

- Análise elasto-plástica: Em que as secções e /ou ligações plastificadas são modeladas como rótulas plásticas;
- Análise plástica não linear: Em que é considerada a plastificação parcial dos elementos ao longo das zonas plastificadas;
- Análise rígido-plástica: Em que se despreza o comportamento elástico dos troços dos elementos entre rótulas plásticas. Poderá também ser aplicada quando não é necessário considerar os efeitos da configuração deformada da estrutura (efeitos de segunda ordem), podendo as ligações serem classificadas com base, apenas, na sua resistência.

Este tipo de análise de estruturas deverá ser utilizada quando os elementos têm capacidade de rotação suficiente para permitir a redistribuição de momentos flectores necessária. É necessário assegurar a estabilidade dos elementos onde se possam vir a formar rótulas plásticas.

2.3.3 Análise de ligações

O estudo do comportamento das ligações tem como base o método de análise global. Segundo a NP EN 1993-1-8, os efeitos do comportamento das juntas na distribuição dos esforços e nas deformações globais de uma estrutura deverão, em geral, ser tidos em conta, mas poderão ser desprezados quando devidamente justificados.

Para avaliar os efeitos do comportamento das juntas, são apresentados três modelos simplificados de juntas:

- Modelo articulado – Na qual é assumido que a ligação não oferece resistência significativa à flexão, transmitindo apenas esforços axiais e de corte.
- Modelo contínuo – Considera-se que a ligação é capaz de transmitir momentos fletores sem qualquer rotação relativa entre os elementos ligados. Poderá admitir-se que o comportamento da ligação não influêncie a ligação;
- Modelo semi-contínuo – O comportamento da junta tem de ser tomado em consideração na análise estrutural.

O tipo de modelo de junta adequado para cada ligação deverá ser determinado em função da classificação e do método de análise que for adotado. Na tabela 2.5 são apresentados os modelos de juntas possíveis em função da classificação e métodos de análise.

Tabela 2.5 - Resumo dos modelos de juntas e as classificações possíveis (NP EN 1993-1-8, 2010)

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

Outro aspeto importante a considerar na análise de ligações é a curva da relação momento-rotação da junta. Esta pode ser simplificada recorrendo-se a uma qualquer curva apropriada, incluindo uma aproximação linear (bilinear ou trilinear), desde que esta curva aproximada permaneça integralmente abaixo da curva característica de cálculo momento-rotação, ver figura 2.12.

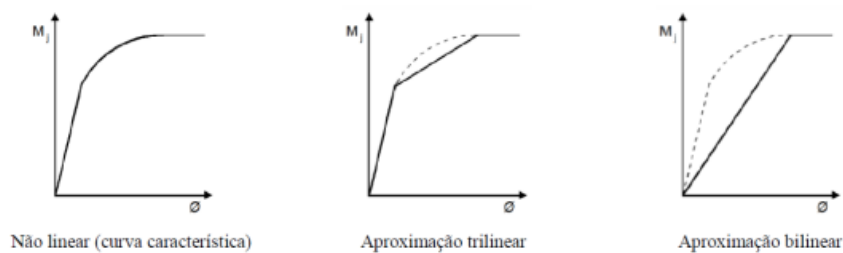


Figura 2.12 - Diagrama não-linear e diagramas aproximados da curva momento-rotação (Sousa, 2017)

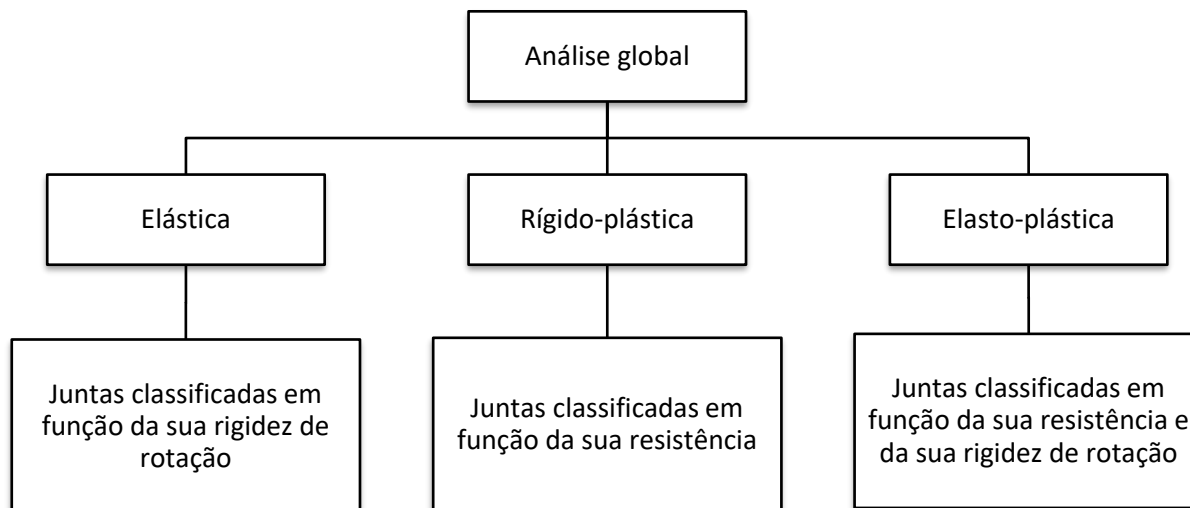


Figura 2.13 - Diagrama resumo de classificação de ligações segundo a NP EN 1993-1-8 (adaptado de Sousa, 2017)

2.3.3.1 Análise global elástica

Para este tipo de análise, as juntas devem ser classificadas em função da sua rigidez rotacional e devem possuir resistência suficiente para transmitir os esforços atuantes resultantes da análise estrutural. Segundo a NP EN 1993-1-8, para os casos de juntas semi-rígidas, deverá, em geral, ser considerada na análise a rigidez de rotação S_j correspondente ao momento fletor $M_{j,Ed}$, também designada por rigidez secante. Contudo, se $M_{j,Ed}$ não exceder $2/3$ de $M_{j,Rd}$, poderá ser adotada a rigidez de rotação inicial $S_{j,ini}$ na análise global, ver figura 2.14.

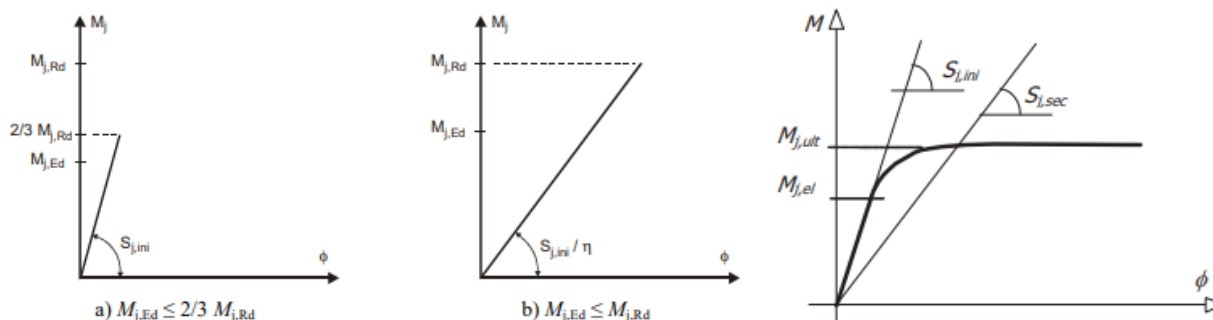


Figura 2.14 - Rigidez de rotação a utilizar na análise global elástica (adaptado da NP EN 1993-1-8, 2010)

É permitido, no entanto, como simplificação, considerar-se a rigidez de rotação como sendo igual a $S_{j,ini} / \eta$ para todos os valores do momento $M_{j,Ed}$, sendo o η o coeficiente de modificação da rigidez indicado na tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Coeficientes de modificação da rigidez (NP EN 1993-1-8, 2010)

Tipo de ligação	Juntas viga-pilar	Outros tipos de juntas (viga-viga, de continuidade de vigas, da base de pilares)
Soldada	2	3
Chapas de extremidade aparafusadas	2	3
Cantoneiras de apoio de banzos aparafusadas	2	3.5
Chapas de base	-	3

2.3.3.2 Análise rígido-plástica

Neste caso as juntas devem ser classificadas em função da sua resistência. Na secção 6.4 da NP EN 1993-1-8 são apresentadas as condições a seguir para verificar a capacidade de rotação de uma junta.

2.3.3.3 Análise elasto-plástica

As juntas deverão ser classificadas em função da sua rigidez de rotação e da sua resistência. Para a determinação da distribuição de esforços da ligação, a NP EN 1993-1-8 define que deverá ser utilizada a relação momento-rotação característica de cada junta, recomendando, no entanto, e como simplificação, que seja adotada a curva bilinear, ver figura 2.15.

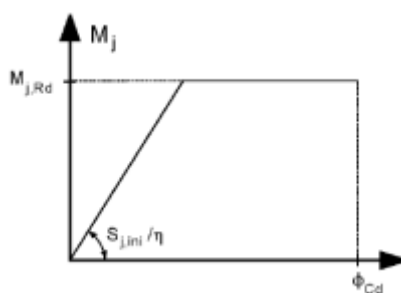


Figura 2.15 - Relação momento-rotação de cálculo bilinear simplificado (NP EN 1993-1-8, 2010)

2.3.4 Classificação por rigidez rotacional

As juntas podem ser classificadas como rígidas, nominalmente articuladas ou semi-rígidas em função da sua rigidez rotacional inicial ou secante, $S_{j,ini}$ ou $S_{j,sec}$. Esta grandeza é comparada com a rigidez flexional da viga adjacente conforme os limites indicados na figura 2.16.

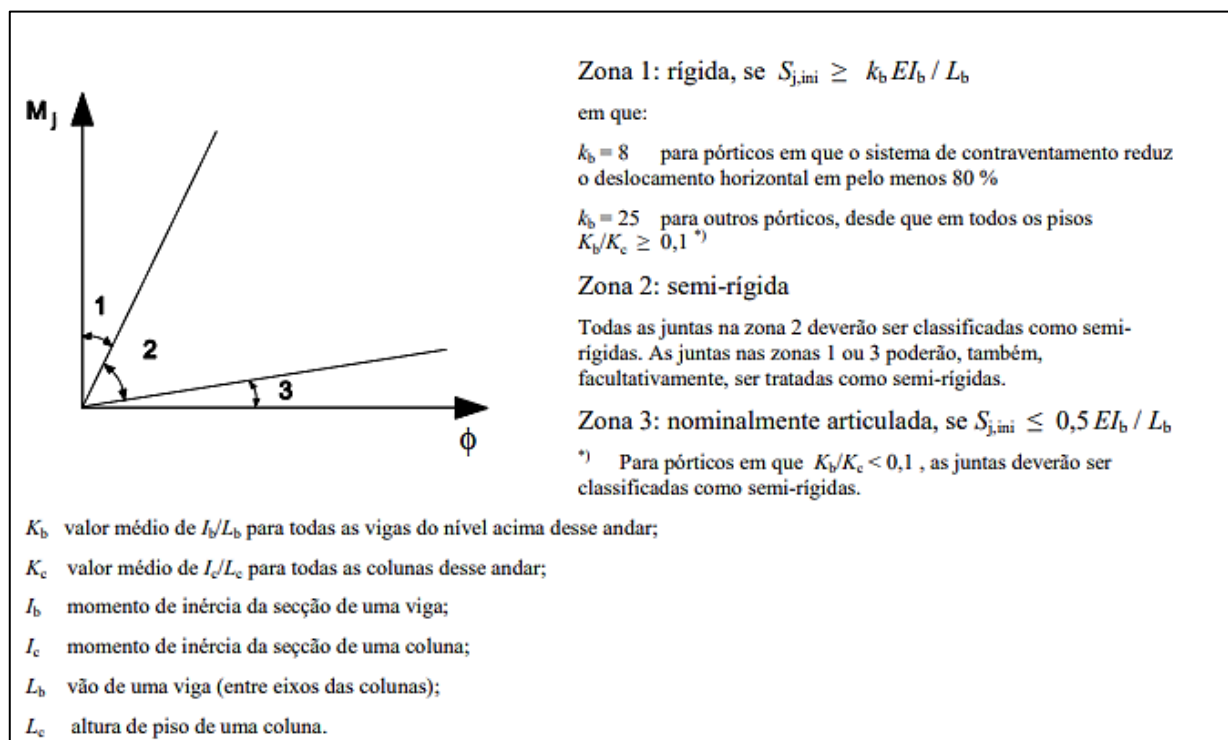


Figura 2.16 - Limites para a classificação das juntas segunda a rigidez de rotação (NP EN 1993-1-8, 2010)

Uma junta classificada como articulada, permite rotação devido as ações de cálculo e deve ser dimensionada de modo a impedir a ocorrência de momentos significativos.

Para as juntas classificadas como rígidas, poderá considerar-se que existe rigidez de rotação suficiente que justifique uma análise baseada na continuidade total.

As juntas classificadas como semi-rígidas são as que não satisfazem os critérios para as juntas articuladas nem para as rígidas. Estas juntas possuem um comportamento intermédio e a sua eventual capacidade de rotação influencia a distribuição de esforços na estrutura.

2.3.5 Classificação por capacidade resistente

Esta classificação baseia-se na comparação entre o momento resistente da ligação, $M_{j,Rd}$, e o menor momento resistente entre o da viga, $M_{b,Rd}$, e o do pilar, $M_{c,Rd}$, normalmente o da viga. As juntas podem ser classificadas como nominalmente articuladas, de resistência total ou de resistência parcial.

Uma junta articulada deve transmitir os esforços, sem a ocorrência de momentos significativos, e permitir rotação devido as ações resultantes de cálculo. O seu momento resistente não deve ser superior a 25 % do momento resistente requerido para uma junta de resistência total, desde que também possua capacidade de rotação suficiente.

Nas juntas de resistência total, o valor de cálculo da resistência deverá ser pelo menos igual ao dos elementos ligados e cumprir com os critérios apresentados na figura 2.17.

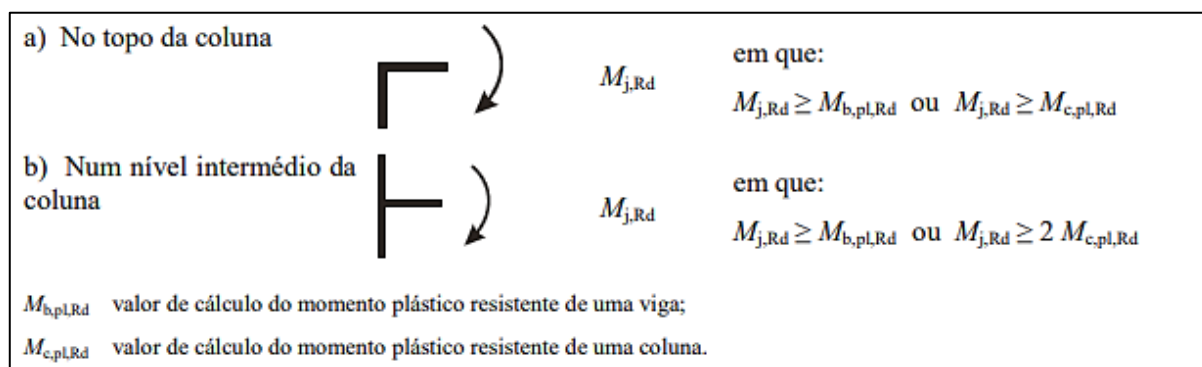


Figura 2.17 - Requisitos para juntas de resistência total (NP EN 1993-1-8, 2010)

As juntas classificadas como de resistência parcial são as que não satisfazem os critérios para as juntas nominalmente articuladas nem para as de resistência total. Este tipo de juntas podem ter momento resistente inferior ao dos elementos a ligar, mas igual ou superior ao momento atuante.

3 Dimensionamento de ligações

3.1 Método das componentes

O método das componentes constitui uma das abordagens mais robustas e amplamente aceites para o dimensionamento e análise de ligações metálicas. Este método permite uma modelação mecânica realista de uma junta, baseada numa representação por componentes individuais, cada uma com rigidez e resistência próprias, o que possibilita uma avaliação precisa do comportamento momento-rotação da junta. A origem do método das componentes remonta à década de 1980, quando investigadores como (Zoetemeijer, 1974) e (Jaspart, 1991) procuraram desenvolver modelos que permitissem representar de forma mais realista o comportamento das ligações metálicas.

As componentes são agrupadas em categorias consoante a tipologia da junta e das solicitações impostas, sendo identificadas três zonas críticas:

- Zona de tração;
- Zona de corte;
- Zona de Compressão.

As componentes são modeladas como molas com rigidez axial, e o seu conjunto define a resistência, rigidez e ductilidade da ligação como um todo, ver figura 3.1. As principais propriedades analisadas são:

- Resistência (capacidade última do componente);
- Rigidez rotação;
- Capacidade rotacional (ductilidade da ligação).

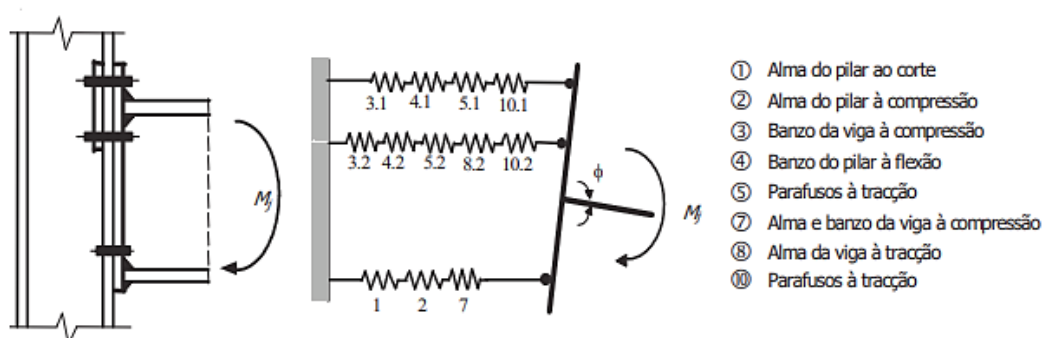


Figura 3.1 - Método das componentes aplicado a uma junta viga-pilar (Simões da Silva & Santiago, 2003)

Segundo a NP EN 1993-1-8, a modelação da deformabilidade de uma junta viga-pilar deve considerar, de forma explícita, a deformação por esforço transversal no painel de alma do pilar e a rotação nas ligações, ver figura 3.2. Para uma representação precisa do comportamento da junta, o painel de alma sujeito a corte e cada ligação periférica devem ser modelados separadamente, tendo em conta os esforços aplicados pelos elementos conectados.

Como alternativa simplificada, uma junta com vigas em ambos os lados do pilar pode ser representada por duas ligações independentes, uma de cada lado. No entanto, deve ser considerada a interação entre estas, uma vez que o comportamento de uma ligação influencia a outra.

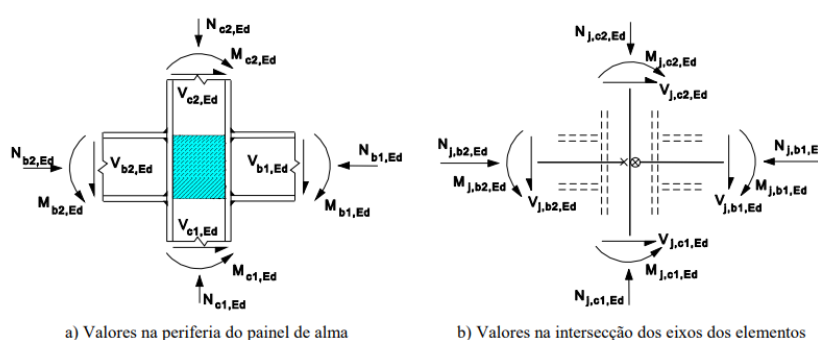


Figura 3.2 - Esforços atuantes numa junta e a identificação do painel de alma do pilar (NP EN 1993-1-8, 2010)

3.1.1 Identificação das componentes de uma junta

A fiabilidade do método das componentes está diretamente relacionada com a precisão na avaliação das características de cada um dos seus componentes. Na figura 3.3, são representadas todas as componentes relativas a uma junta viga-pilar com chapa de extremidade.

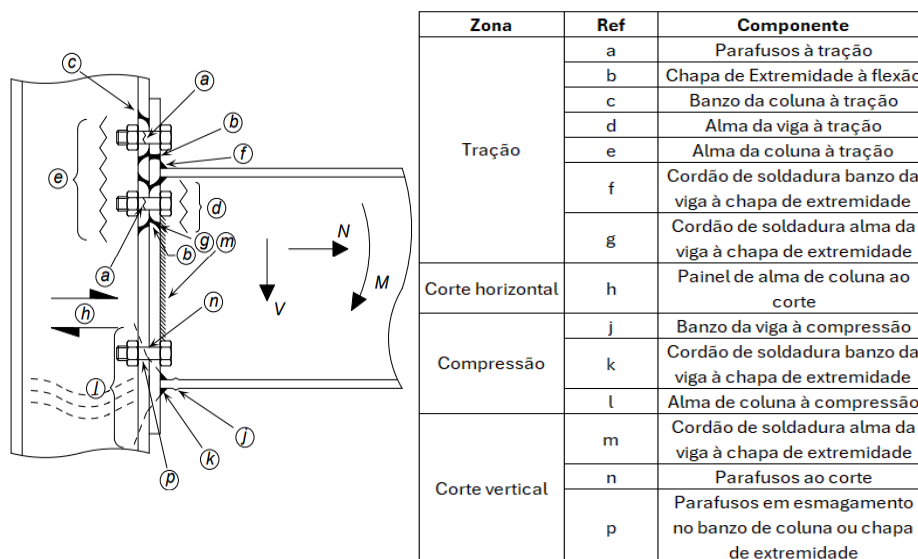


Figura 3.3 - Identificação de todos os componentes de uma junta (adaptado de SCI P398, 2013)

Conforme apresentado em (Simões da Silva & Santiago, 2003), (Kuhlmann et al., 1998) classificam as principais componentes de uma junta metálica em três categorias, segundo a sua capacidade de deformação:

- Componentes com elevada ductilidade: painel de alma do pilar ao corte, chapa de extremidade à flexão, banzo do pilar à flexão e alma da viga à tração;
- Componentes com ductilidade limitada: alma do pilar à compressão, alma do pilar à tração, banzo e alma da viga à compressão;
- Componentes com comportamento frágil: parafusos à tração, parafusos ao corte e cordões de soldadura.

3.1.2 Procedimento de cálculo

As secções 6.2 e 6.3 da NP EN 1993-1-8 estabelecem os procedimentos a seguir para avaliação da capacidade resistente e do contributo de cada componente na rigidez de rotação de uma junta, respetivamente. É apresentado, na figura 3.4, o diagrama simplificativo do procedimento de cálculo.

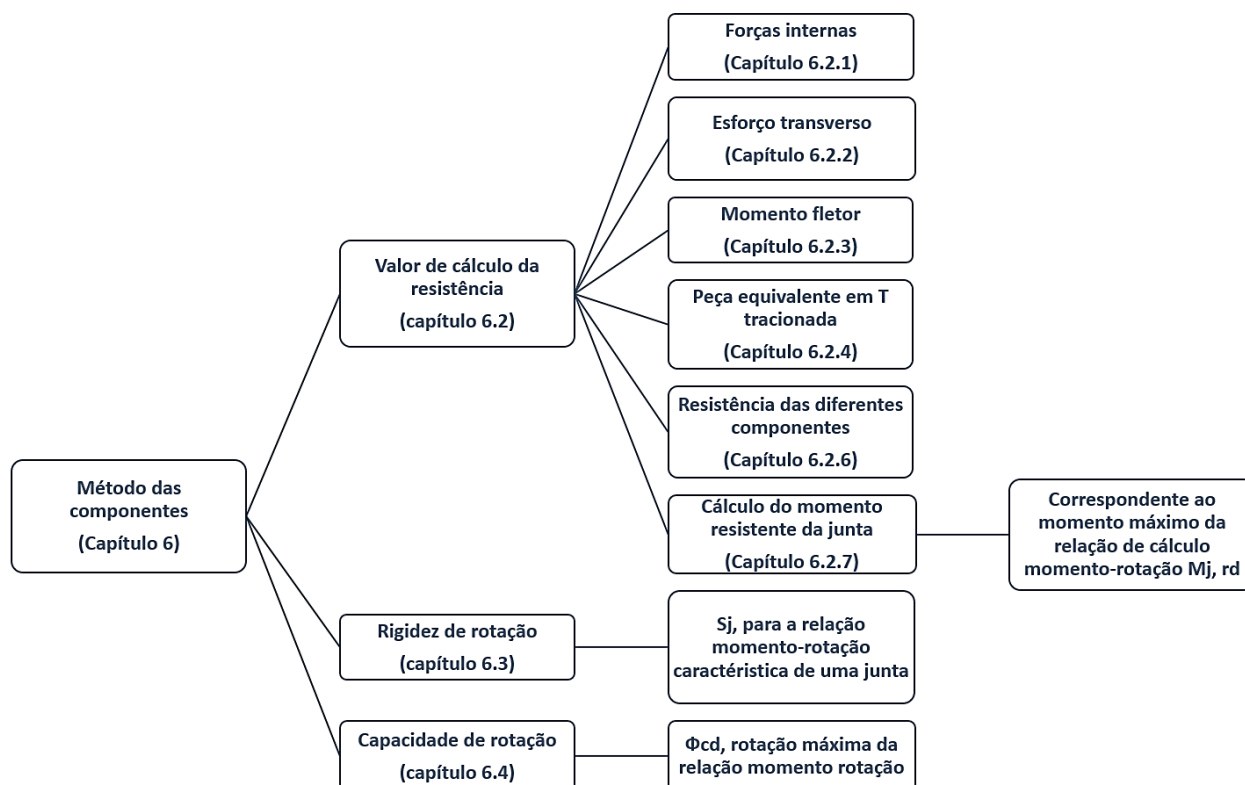


Figura 3.4 - Diagrama de cálculo do método das componentes (adaptado de Sousa, 2017)

3.1.3 Distribuição dos esforços

3.1.3.1 Forças internas

A secção 6.2.1 da NP EN 1993-1-8 estabelece que, em regra, os esforços num elemento estrutural não influenciam o cálculo da resistência das componentes de uma junta. No entanto, há exceções em que esses esforços devem ser considerados:

- A tensão longitudinal no pilar, no cálculo da alma do pilar à compressão;
- O esforço transversal no painel de alma do pilar, para avaliar a resistência da alma à compressão e tração transversal.

3.1.3.2 Esforço transversal

As soldaduras que ligam a alma da viga, em juntas soldadas ou aparafusadas com chapas de extremidade, deverão ser dimensionadas por forma a assegurarem a transmissão do esforço transversal da viga à junta, sem qualquer contribuição das soldaduras dos banzos.

Para as juntas aparafusadas com chapas de extremidade, a resistência de cada linha de parafusos sujeitos à ação conjunta de esforço transversal e tração deverá ser verificada de acordo com os critérios estabelecidos no Quadro 3.4 da NP EN 1993-1-8. O quadro define os procedimentos para a determinação do valor de cálculo da resistência individual de elementos de ligação submetidos a solicitações de corte e/ou tração, nomeadamente, a resistência ao corte por plano de corte, resistência ao esmagamento, resistência à tração, resistência ao punçoamento e combinação de corte com tração. Deve ser considerado o esforço total de tração no parafuso tendo em conta o eventual agravamento devido aos efeitos de alavanca.

3.1.3.3 Momento fletor

O momento resistente de uma junta poderá ser determinado a partir da distribuição dos esforços nessa junta e dos valores de cálculo da resistência de cada componente para este tipo de esforço. Segundo a NP EN 1993-1-8, desde que o esforço axial, N_{Ed} , no elemento ligado não exceda 5% do valor de cálculo da resistência da secção transversal, $N_{pl,Rd}$, o momento resistente, $M_{j,Rd}$ de uma ligação viga-pilar, poderá ser calculado pelo método apresentado na secção 6.2.7 da mesma.

$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \leq 1,0$	$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{j,Ed}}{N_{j,Rd}} \leq 1,0$
a)	b)

Figura 3.5 - Critérios a satisfazer segundo a secção 6.2.7. a) quando o N_{Ed} é inferior a 5% do $N_{pl,Rd}$; b) quando o N_{Ed} é superior a 5%. (NP EN 1993-1-8, 2010)

Em todo o tipo de juntas, as dimensões das soldaduras deverão ser tais que o valor de momento resistente da junta seja sempre condicionado por outras componentes e não pelo valor resistente das soldaduras.

As soldaduras deverão ser dimensionadas para resistir aos efeitos de um momento cujo valor é pelo menos igual ao menor dos seguintes:

- O valor de cálculo do momento resistente plástico do elemento ligado, $M_{pl,Rd}$;
- α vezes o valor de cálculo do momento resistente da junta, $M_{j,Rd}$ em que:
 - $\alpha = 1.4$, se o sistema de contraventamento satisfaz o previsto na NP EN 1993-1-1, relativo ao deslocamento lateral;
 - $\alpha = 1.7$, nos restantes casos.

3.1.4 Peça em T equivalente tracionada (*T-stub*)

O modelo da peça em “T” equivalente tracionada apresentado pela NP EN 1993-1-8, permite obter o valor de cálculo para cada uma das seguintes componentes para juntas viga-pilar:

- Banzo do pilar à tração e parafusos à tração;
- Chapa de extremidade à tração e parafusos à tração.

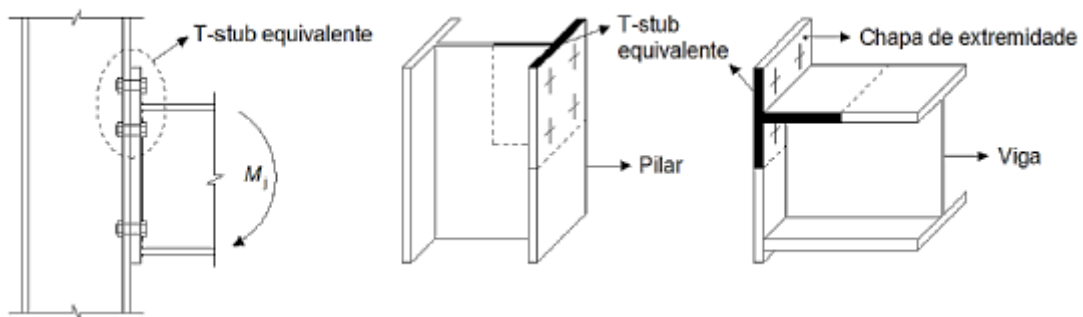


Figura 3.6 - Peça em T equivalente (Vieito, 2015)

A secção 6.2.6 da NP EN 1993-1-8 define os métodos para modelar componentes básicos como banzos de peças em T equivalentes, incluindo os parâmetros:

- e_{min} – distância ao bordo;
- l_{eff} – comprimento da peça em T equivalente;
- m – distância a face da alma descontando 80% do cordão de soldadura ou do raio de concordância;

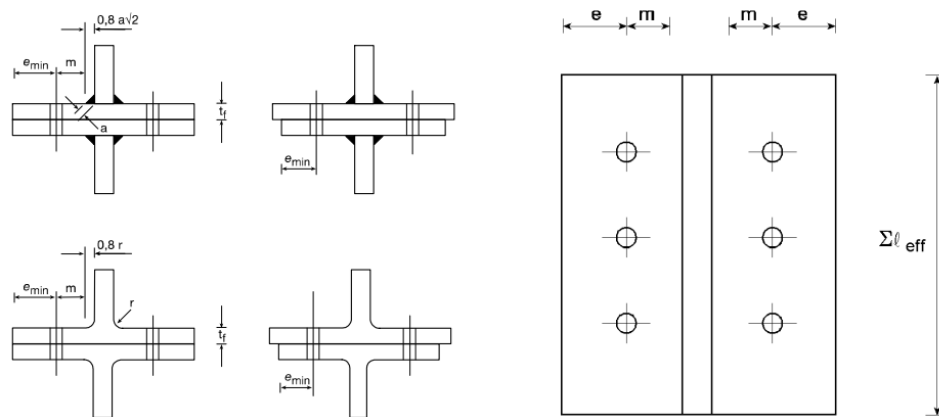


Figura 3.7 - Dimensões do banzo de uma peça em T equivalente (NP EN 1993-1-8, 2010)

O comprimento total efetivo da peça em T equivalente, deverá ser tal que o valor de cálculo da resistência do seu banzo/chapa seja equivalente ao do componente básico da junta que representa (chapa ou banzo em flexão). O comprimento efetivo l_{eff} é teórico e não corresponde necessariamente ao comprimento físico da componente básica da junta a que representa.

Para determinação do valor de cálculo da resistência do banzo/chapa de uma peça em T, são apresentados três modos de rotura possíveis. Sendo o valor de resistência considerado o menor dos três modos.

3.1.4.1 Modo de rotura 1

Este modo de rotura caracteriza-se pela plastificação total do banzo ou chapa de extremidade antes de ser atingida a resistência última dos parafusos à tração. Os parafusos, para além de estarem sujeitos a forças de trações externas, estão também sujeitos a forças de tração adicionais, as chamadas de força de alavanca. Neste modo de rotura, as forças de alavanca atingem o seu máximo e as rótulas plásticas formam-se junto as linhas de parafusos e na interseção da alma com o banzo do perfil em T.

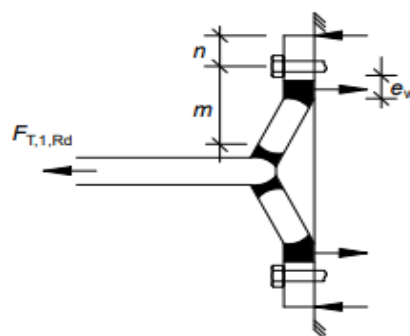


Figura 3.8 - Modo de rotura 1 (SCI P398, 2013)

3.1.4.2 Modo de rotura 2

Este modo de rotura caracteriza-se pela plastificação parcial do banzo/chapa em conjunto com a rotura dos parafusos. As rótulas plásticas formam-se na interseção da alma e do banzo da peça em T. Neste modo os parafusos rompem antes da plastificação total do banzo/chapa.

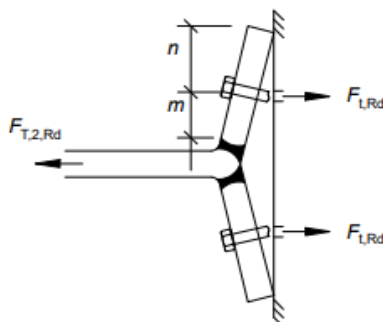


Figura 3.9 - Modo de rotura 2 (SCI P398, 2013)

3.1.4.3 Modo de rotura 3

Este modo de rotura caracteriza-se pela falha prematura dos parafusos, antes de ocorrer qualquer plastificação significativa na chapa ou no banzo da ligação. A resistência da ligação encontra-se, neste caso, limitada exclusivamente pela capacidade resistente dos próprios parafusos, os quais apresentam uma deformabilidade muito reduzida. Neste modo de rotura não se desenvolvem forças de alavanca.

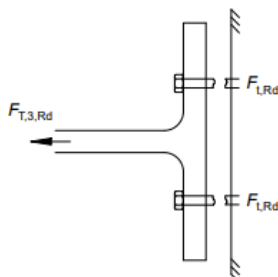


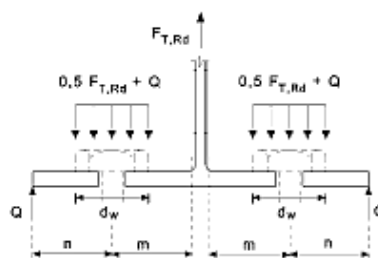
Figura 3.10 - Modo de rotura 3 (SCI P398, 2013)

3.1.4.4 Cálculo da resistência $F_{T,Rd}$

O valor de cálculo da resistência $F_{T,Rd}$ do banzo/chapa de uma peça em T equivalente para cada modo de rotura é calculado segundo o apresentado na tabela 3.1 extraída da NP EN 1993-1-8.

Tabela 3.1 - Determinação do valor de cálculo da resistência $F_{T,Rd}$. (NP EN 1993-1-8, 2010)

	Possibilidade de ocorrerem forças de alavanca, ou seja $L_b \leq L_b^*$		Sem forças de alavanca
Modo 1	Método 1	Método 2 (método alternativo)	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
sem contra- chapas	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n-2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn-e_w(m+n)}$	
com contra- chapas	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n-2e_w)M_{pl,1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn-e_w(m+n)}$	
Modo 2	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{l,Rd}}{m+n}$		
Modo 3	$F_{T,3,Rd} = \sum F_{l,Rd}$		
<p>Modo 1: Plastificação total do banzo Modo 2: Rotura dos parafusos com plastificação do banzo Modo 3: Rotura dos parafusos</p> <p>L_b – comprimento do parafuso sujeito a alongamento, considerado igual ao comprimento de aperto (espessura total do material e das anilhas), adicionado a metade da soma da altura da cabeça com a altura da porca; ou – comprimento do chumbadouro sujeito a alongamento, considerado igual à soma de 8 vezes o diâmetro nominal da rosca do chumbadouro com as espessuras da camada de argamassa de selagem, da chapa, da anilha e, ainda, com metade da altura da porca;</p> $L_b^* = \frac{8,8m^3 A_s n_b}{\sum \ell_{eff,i} t_i^3};$ <p>$F_{T,Rd}$ valor de cálculo da resistência à tracção de um banzo de uma peça em T; Q força de alavanca; $M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,1} t_i^2 f_y / \gamma_{M0}$; $M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,2} t_i^2 f_y / \gamma_{M0}$; $M_{bp,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,1} t_{bp}^2 f_{y,bp} / \gamma_{M0}$; $n = e_{min}$ mas $n \leq 1,25 m$; $F_{l,Rd}$ valor de cálculo da resistência à tracção de um parafuso, ver o Quadro 3.4; n_b número de linhas de parafusos (com dois parafusos em cada linha); $\sum F_{l,Rd}$ valor total de $F_{l,Rd}$ para todos os parafusos da peça em T; $\sum \ell_{eff,1}$ valor de $\sum \ell_{eff}$ para o modo 1; $\sum \ell_{eff,2}$ valor de $\sum \ell_{eff}$ para o modo 2; e_{min}, m e t_i representados na Figura 6.2; $f_{y,bp}$ tensão de cedência das contrachapas; t_{bp} espessura das contrachapas; $e_w = d_w / 4$; d_w diâmetro da anilha, ou diâmetro dos círculos circunscritos na cabeça do parafuso ou na porca, conforme o caso.</p>			
<p>NOTA 1: Em juntas aparafusadas viga-coluna ou emendas de vigas, poderá admitir-se a ocorrência de forças de alavanca.</p> <p>NOTA 2: No método 2, admite-se que a força aplicada ao banzo de uma peça em T por um parafuso está uniformemente distribuída sob a anilha, ou sob a cabeça do parafuso ou sob a porca, conforme o caso, ver a Figura, em vez de concentrada ao nível do eixo do parafuso. Esta hipótese conduz a um valor mais elevado para o modo 1, mas deixa inalterados os valores de $F_{T,1-2,Rd}$ e os modos 2 e 3.</p>			



3.1.4.5 Linhas de parafusos isoladas ou em grupo

Embora a suposição habitual de que os esforços em parafusos de uma mesma linha são iguais, a modelação da peça em T equivalente deve considerar a hipótese de os parafusos estarem sujeitos a esforços de tração distintos.

Ao se utilizar o método da peça em T equivalente para modelar grupos de linhas de parafusos, pode ser necessário dividi-los em linhas individuais e modelar cada uma separadamente.

No entanto, a modelação de um grupo de linhas de parafusos através de uma única peça em T equivalente é admissível desde que se verifiquem cumulativamente as seguintes condições:

- A força atuante em cada linha de parafusos não deve exceder o valor de cálculo da resistência da linha considerada como isolada;
- A força total no grupo, correspondente à soma das forças nas linhas de parafusos consecutivas dentro do mesmo grupo, não deve ultrapassar o valor de cálculo da resistência global desse grupo.

O comprimento efetivo l_{eff} da peça em T deve ser definido de acordo com a configuração da ligação, ver figura 3.11. No caso de grupos de linhas, o l_{eff} deve ser obtido pela soma dos comprimentos efetivos das linhas relevantes.

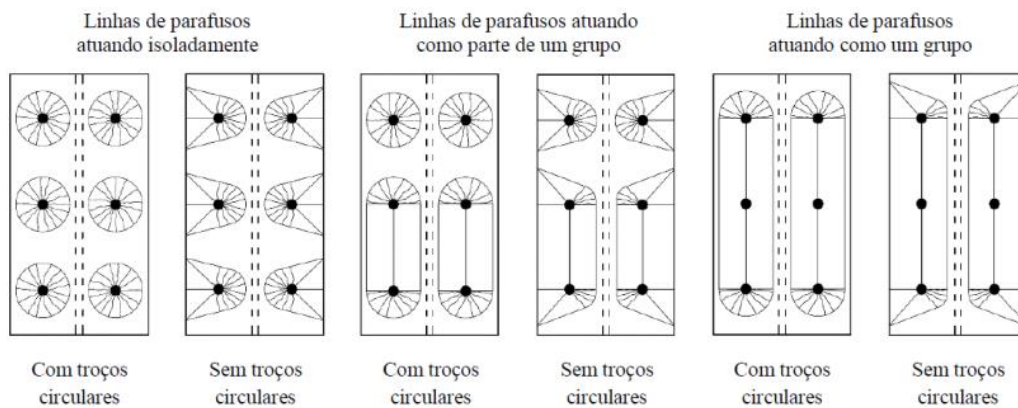


Figura 3.11 - Linhas de rotura de parafusos isolados e em grupo (Vieito, 2015)

A determinação da resistência de cálculo à tração no caso da existência de mais de uma linha de parafusos a tração deve seguir o seguinte procedimento:

- A avaliação da resistência das linhas de parafusos deve ser realizada começando-se pela linha mais afastada do centro de compressão, designada como a 1.^a linha, prosseguindo-se sucessivamente pelas restantes linhas (2.^a, 3.^a, etc), ver figura 3.12;
- A resistência da 1.^a linha é considerada equivalente à de uma linha de parafusos isolada. Para as restantes linhas, estas devem ser analisadas isoladamente ou como parte integrante de um grupo de linhas, consoante o seu posicionamento.
- Quando existirem elementos estruturais como banzos ou reforços transversais entre linhas de parafusos, estes devem ser considerados como barreiras à formação de grupos. Assim, as linhas separadas por tais elementos devem ser tratadas como linhas isoladas;

A linha de parafusos mais próxima do centro de compressão deve ser desconsiderada na avaliação da resistência à tração, dado que a sua contribuição para o momento resistente é desprezável. Neste caso, assume-se que essa linha atua apenas para o esforço de corte.

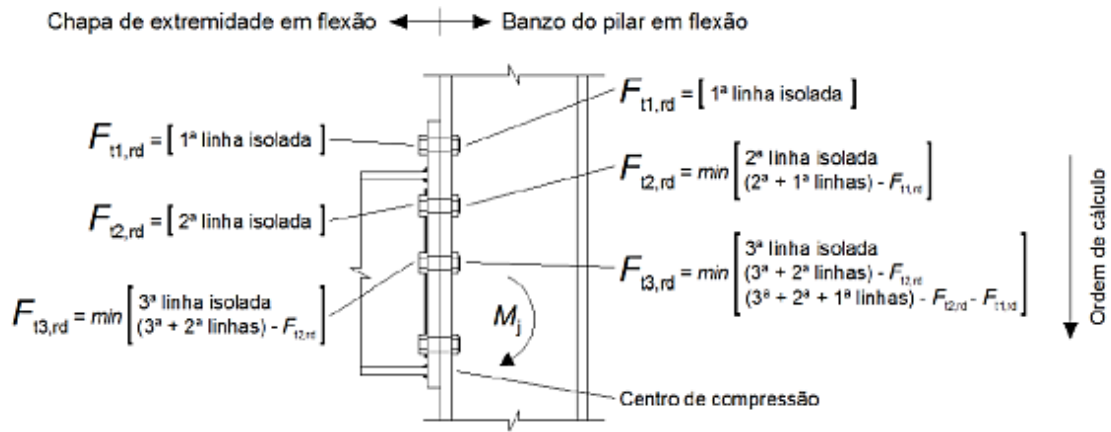


Figura 3.12 - Ordem de cálculo para a determinação do valor de $F_{t,Rd}$ para as linhas de parafusos à tração (Vieito, 2015)

Para que todas as linhas de parafusos atinjam a resistência máxima, é fundamental que as linhas mais afastadas do centro de rotação apresentem elevada ductilidade. Nos casos em que ocorre o modo de rotura 1 ou 2, a ductilidade tende a ser suficiente devido a contribuição da chapa de extremidade e do banzo, permitindo considerar uma distribuição plástica das forças. Se a expressão abaixo for verificada, está garantida a ductilidade da linha.

$$F_{tx,Rd} \leq 1.9 \cdot F_{t,Rd} \tag{3.1}$$

Se uma distribuição plástica não puder ser assumida, situação que ocorre no caso do modo de rotura 3, a resistência das linhas deve ser limitada. Essa limitação é normalmente chamada de distribuição triangular, ver figura 3.13. Essa limitação quer dizer que todas as linhas, abaixo de uma com modo de rotura 3, não podem exceder um valor de resistência proporcional a essa força, em função das suas distâncias ao centro de rotação (centro de compressões).

$$F_{t,Rd} \leq F_{tx,Rd} \cdot \frac{h_r}{h_x} \tag{3.2}$$

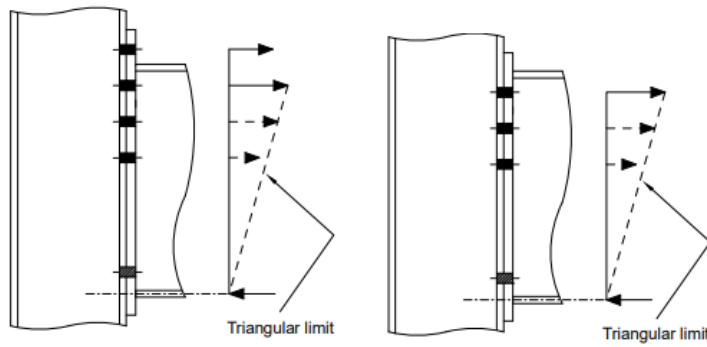


Figura 3.13 - Distribuição triangular do $F_{t,Rd}$ das linhas de parafusos (adaptado de SCI P398, 2013)

3.1.5 Resistência de cálculo das componentes básicas

3.1.5.1 Pannel de alma do pilar solicitado ao corte

Para a verificação do pannel de alma solicitado ao corte é necessário garantir, primeiro, que a esbelteza da alma do pilar respeita a seguinte condição:

$$\frac{d_c}{t_w} \leq 69\varepsilon \quad (3.3)$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{y,wc}}} \quad (3.4)$$

Com a primeira condição cumprida, para uma junta com viga só de um lado, ou com vigas dos dois lados, na qual a altura das vigas é semelhante, o valor de cálculo da resistência plástica ao esforço transversal $V_{wp,Rd}$ de um pannel de alma não reforçado é dado pela expressão 3.5.

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_{y,wc} \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} \quad (3.5)$$

No caso da utilização de reforços de transversais à alma tanto na zona comprimida como na zona tracionada, o valor de cálculo da resistência plástica ao esforço transversal $V_{wp,add,Rd}$ de um pannel de alma é dado pela expressão 3.6.

$$V_{wp,add,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,Rd}}{d_s} \quad \text{mas} \quad V_{wp,add,Rd} \leq \frac{2 \cdot M_{pl,fc,Rd} + 2 \cdot M_{pl,st,Rd}}{d_s} \quad (3.6)$$

No caso do reforço com recurso a utilização de uma ou duas chapas de alma adicionais, a área de corte A_{vc} poderá ser aumentada num máximo de $b_s \cdot t_{wc}$.

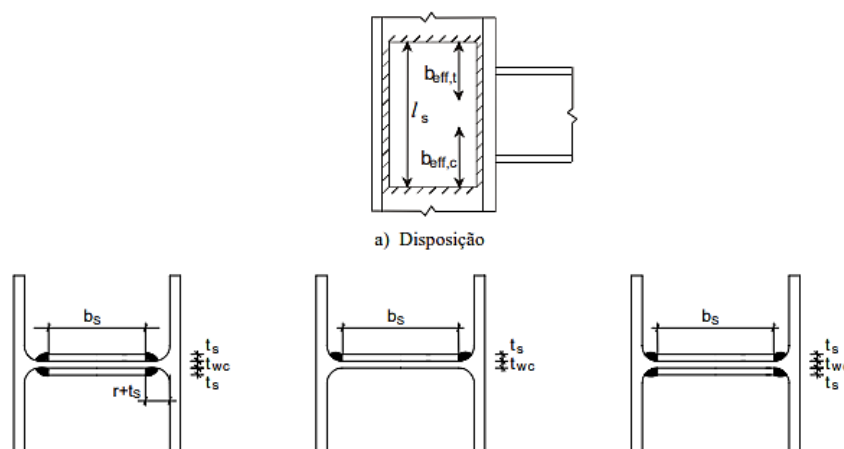


Figura 3.14 - Exemplos de chapas de alma adicionais (NP EN 1993-1-8, 2010)

3.1.5.2 Alma do pilar em compressão transversal

A resistência da alma do pilar não reforçada quando sujeita a compressão transversal é dada pela expressão 3.7, segundo a secção 6.2.6.2 da NP EN 1993-1-8.

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega \cdot k_{wc} \cdot b_{eff} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \quad \text{mas} \quad F_{c,wc,Rd} \leq \frac{\omega \cdot k_{wc} \cdot \rho \cdot b_{eff} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \quad (3.7)$$

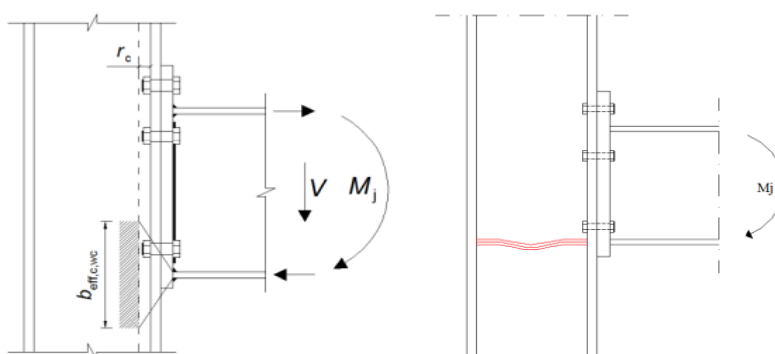


Figura 3.15 - Representação da alma do pilar em compressão transversal (adaptado de Sousa, 2017)

O b_{eff} para uma ligação aparafusada com chapa de extremidade poderá assumir a expressão 3.8:

$$b_{eff} = t_{fb} + 2 \cdot \sqrt{2a_p} + 5 \cdot (t_{fc} + s) + s_p \quad (3.8)$$

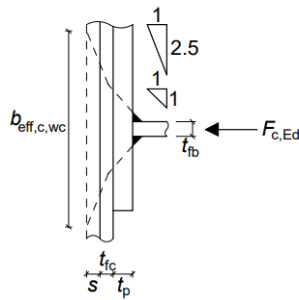


Figura 3.16 - Pormenor do beff (SCI P398, 2013)

Na figura 3.17 é ilustrado o modo de encurvadura por compressão de uma alma não reforçada. Este fenómeno poderá ser impedido por meio da utilização de chapas de reforço.

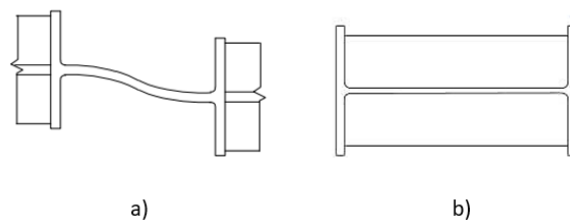


Figura 3.17 - a) Modo de encurvadura por deslocamento relativo dos banzos de uma alma não reforçada. b) Exemplo da utilização de chapas de reforço transversais. (Adaptado da NP EN 1993-1-8, 2010)

3.1.5.3 Alma do pilar em tração transversal

Na zona de tração, a resistência da peça em T equivalente poderá ser limitada pela capacidade resistente da alma. O valor de cálculo da resistência da alma do pilar, não reforçada, à tração transversal deverá ser determinada pela expressão 3.9.

$$F_{t,wc,rd} = \frac{\omega \cdot b_{eff,t,wc} \cdot f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \quad (3.9)$$

Para uma ligação aparafusada, a largura efetiva $b_{eff,t,wc}$, é considerada igual ao comprimento efetivo da peça em T equivalente, o l_{eff} .

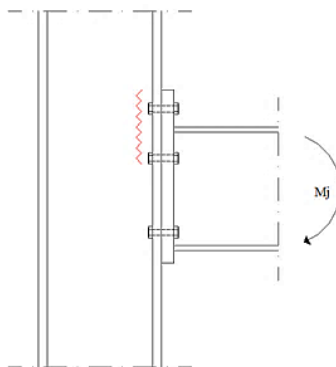
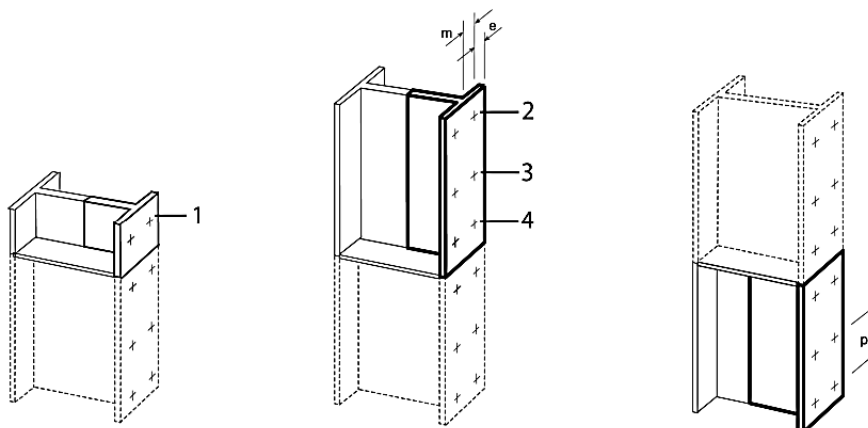


Figura 3.18 - Representação da zona da alma do pilar em tração (adaptado de Sousa, 2017)

3.1.5.4 Chapa de extremidade e banzo do pilar em flexão transversal

O método para a determinação da capacidade resistente destes componentes à flexão já foram apresentados no capítulo 3.1.4, nomeadamente, o método da peça em T equivalente. Na figura 3.19 são identificadas as linhas dos parafusos em função da sua proximidade a um reforço ou banzo da viga, no caso de chapas de extremidades prolongadas. Nas tabelas 3.2, 3.3 e 3.4 são apresentadas as expressões para determinação dos comprimentos efetivos.



Legenda:

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

Figura 3.19 - Representação das possíveis linhas de parafusos numa peça em T equivalente (NP EN 1993-1-8, 2010)

Tabela 3.2 – Comprimento efetivo para banzos de pilares sem reforços adjacentes (NP EN 1993-1-8, 2010)

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

Tabela 3.3 - Comprimento efetivo para banzos de pilares com reforços adjacentes (NP EN 1993-1-8, 2010)

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

Tabela 3.4 - Comprimento efetivo para chapas de extremidade (NP EN 1993-1-8, 2010)

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

O valor de α para banzos reforçados de pilares e para chapas de extremidade está representado na figura 3.20.

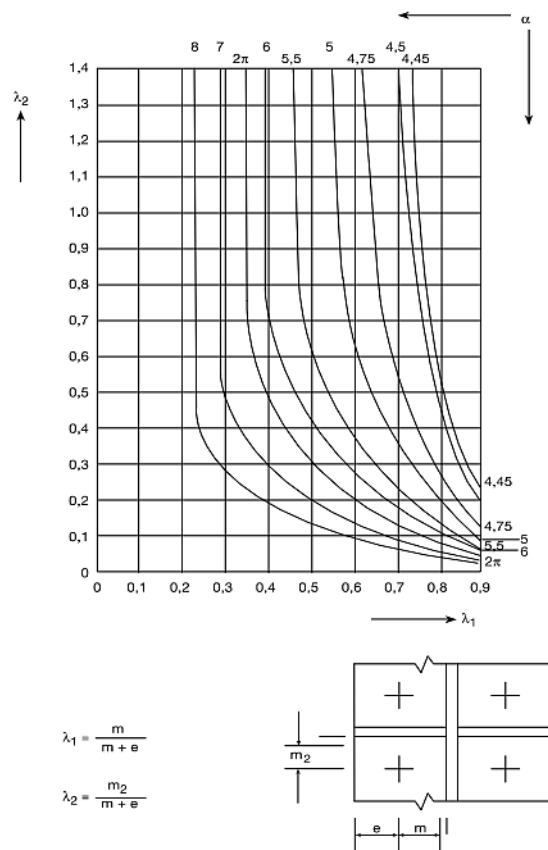


Figura 3.20 - Valor de α para banzos e chapas de extremidade (NP EN 1993-1-8, 2010)

3.1.5.5 Banzo e alma da viga em compressão transversal

O valor de cálculo da resistência à compressão do bazo e alma da viga é dado pela expressão 3.10.

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})} \quad (3.10)$$

Admite-se que a resistência à compressão atua ao nível do centro de compressão, que corresponde ao centro do banzo à compressão.

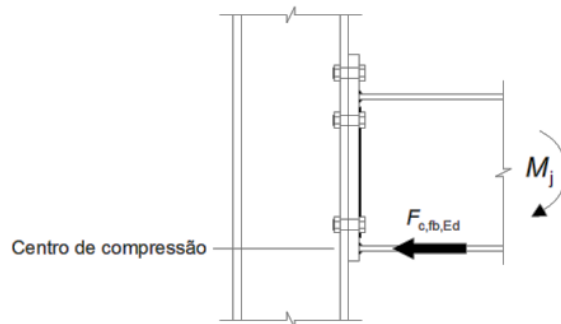


Figura 3.21 - Centro de compressão da viga (Vieito, 2015)

3.1.5.6 Alma da viga em tração transversal

O valor resistente da alma da viga à tração transversal, para ligações aparafusadas com chapa de extremidade, é dado pela expressão 3.11.

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb}}{\gamma_{M0}} \quad (3.11)$$

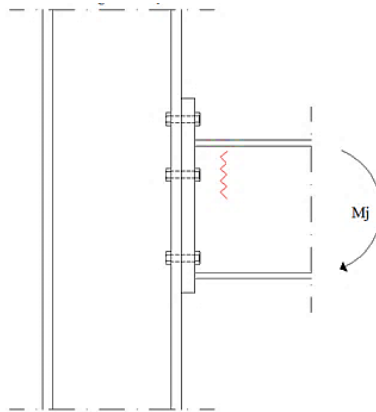


Figura 3.22 - Representação da alma da viga em tração (adaptado de Sousa, 2017)

3.1.5.7 Parafusos à tração

A resistência à tração dos parafusos como parte da peça em T equivalente, é dada pela expressão 3.12.

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (3.12)$$

A resistência de cálculo do banzo do pilar ou chapa de extremidade ao punçoamento é dada pela expressão 3.13.

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (3.13)$$

3.1.6 Verificação à flexão

A verificação da segurança à flexão de uma junta viga-pilar, deve satisfazer a seguinte condição:

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \leq 1.0 \quad (3.14)$$

Na eventualidade da coexistência de esforço axial na viga, superior a 5% do valor de cálculo da resistência plástica, $N_{pl,Rd}$, da secção transversal, deverá utilizar-se a expressão 3.15.

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{j,Ed}}{N_{j,Rd}} \leq 1.0 \quad (3.15)$$

Na tabela 3.23, são apresentadas as definições dos parâmetros como centro de compressão, braço do binário z e distribuição de esforços para a determinação do valor de cálculo do momento resistente para uma ligação com chapa de extremidade aparafusada com duas ou mais linhas de parafusos à tração.

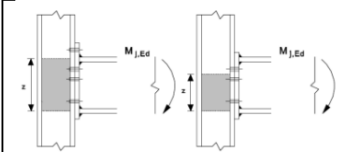
Tipo de ligação	Centro de compressão	Braço do binário	Distribuição dos esforços
	Alinhado com o plano situado a meio da espessura do banzo comprimido	Poderá obter-se um valor aproximado adotando a distância entre o centro de compressão e um plano situado a meia distância entre as duas fiadas mais afastadas de parafusos tracionados.	Poderá determinar-se um valor mais preciso considerando o braço do binário z igual a z_{eq} .

Figura 3.23 - Centro de compressão, braço do binário e distribuição dos esforços para determinação de momento resistente (Adaptado da NP EN 1993-1-8, 2010)

O valor do momento resistente, $M_{j,Rd}$, de uma junta viga-pilar com chapa de extremidade é dada pela seguinte expressão:

$$M_{j,Rd} = \sum_r h_r \cdot F_{t,Rd} \quad (3.16)$$

O valor de cálculo da resistência à tração efetiva da linha de parafusos r deverá ser considerado igual ao menor valor das resistências das componentes na zona de tração, nomeadamente:

- Alma do pilar à tração;
- Banzo do pilar à flexão;
- Chapa de extremidade à flexão;
- Alma da viga à tração.

3.1.7 Capacidade de rotação de uma junta

A secção 6.4.2 da NP EN 1993-1-8 estabelece os critérios para avaliar a capacidade de rotação das juntas viga-pilar com ligações aparafusadas, de modo a permitir a sua consideração em análises globais plásticas. Estabelece-se que uma junta cujo momento resistente seja condicionado pela resistência do painel de alma do pilar ao corte pode ser considerada como possuindo capacidade de rotação suficiente, desde que se verifique a expressão (3.3) apresentada no subcapítulo 3.1.5.1 desta dissertação.

No caso de juntas com chapas de extremidade aparafusadas, admite-se igualmente capacidade de rotação adequada, desde que sejam verificadas as seguintes condições:

- O momento resistente da junta, $M_{j,Rd}$, deve ser condicionado pela resistência à flexão do banzo do pilar ou pela flexão da chapa de extremidade.
- A espessura dos elementos tracionados, banzo do pilar ou chapa de extremidade deve verificar a condição 3.17:

$$t \leq 0.36 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_y}} \quad (3.17)$$

No caso da resistência da junta ser condicionada pela resistência dos parafusos sujeitos ao corte ou tração (Modo de rotura 3), a ligação não deve ser considerada com capacidade de rotação suficiente para análises plásticas globais, característica típica de juntas que possuem um comportamento próximo do rígido.

3.1.8 Verificação ao esforço transversal

A verificação da segurança ao esforço transversal de uma junta viga-pilar, deve satisfazer a seguinte condição:

$$\frac{V_{j,Ed}}{V_{j,Rd}} \leq 1.0 \quad (3.18)$$

A resistência ao esforço transversal de uma ligação aparafusada com chapa de extremidade, é dada pela resistência dos parafusos sujeitos unicamente ao corte e os que se encontram sujeitos a uma ação combinada de esforços de corte e tração. Assume-se que os parafusos que fazem parte da zona de tração possam contribuir em 28% para a resistência ao esforço transversal.

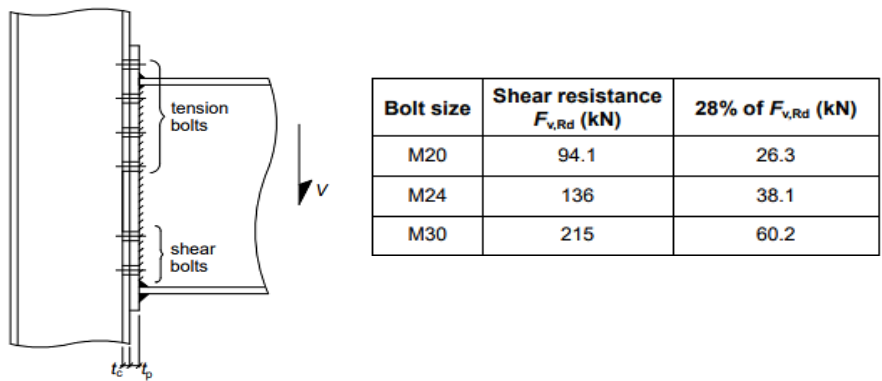


Figura 3.24 - Identificação dos parafusos sujeitos apenas ao corte e os à ação combinada (adaptado de SCI P398, 2013)

O valor de cálculo da resistência ao corte dos parafusos, $F_{v,Rd}$, é dada pelas expressões 3.19 e 3.20.

Resistência ao corte por plano:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (3.19)$$

α_v é considerado igual a 0.6 para classes de parafusos 4.6, 5.6 e 8.8 e igual a 0.5 para classes 4.8, 5.8, 6.8 e 10.9.

Resistência ao esmagamento:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (3.20)$$

α_b e k_1 são os coeficientes que têm em conta os espaçamentos entre os parafusos e as distâncias aos bordos.

3.1.9 Rigidez de Rotação

A determinação da rigidez de rotação de uma junta, segundo a NP EN 1993-1-8, deve basear-se na flexibilidade dos seus componentes básicos, sendo cada um representado por um coeficiente de rigidez elástico, k_i .

A expressão apresentada pela NP EN 1993-1-8 para a determinação da rigidez de rotação de uma junta, só é válida se, na existência de esforço axial, N_{Ed} , este não seja superior a 5% do valor de cálculo da resistência, $N_{pl,Rd}$, da secção transversal da viga.

Para uma junta viga-pilar aparafusada com chapa na extremidade, o cálculo da rigidez de rotação inicial, $S_{j,ini}$, pode ser obtido pela aplicação direta da expressão 3.21.

$$S_j = \frac{E \cdot z^2}{\mu \cdot \sum_i \frac{1}{k_i}} \quad (3.21)$$

A relação de rigidez μ é um fator de correção que reflete a distribuição não uniforme das deformações nas linhas de parafusos em função da progressão do momento atuante na junta. Deverá ser determinada da seguinte forma:

- Se $M_{j,Ed} \leq 2/3 M_{j,Rd}$:
 $\mu = 1$
- Se $2/3 M_{j,Rd} < M_{j,Ed} \leq M_{j,Rd}$:
 $\mu = (1,5 M_{j,Ed} / M_{j,Rd})^\Psi$

Tabela 3.5 - valores de Ψ (NP EN 1993-1-8, 2010)

Tipos de ligação	Ψ
Soldada	2,7
Chapa de extremidade aparafusada	2,7
Cantoneiras de ligação dos banzos aparafusada	3,1
Chapas de bases de pilares	2,7

Os coeficientes k_i a considerar para a determinação da rigidez de rotação dependem da configuração da junta viga-pilar aparafusada com chapa de extremidade. Na tabela 3.6 são indicados os coeficientes para cada caso. O valor de cálculo de cada coeficiente é apresentado no quadro 6.11 da NP EN 1993-1-8.

Tabela 3.6 - Coeficientes de rigidez a considerar numa junta aparafusada (NP EN 1993-1-8, 2010)

Junta viga-coluna com ligações aparafusadas e com chapa de extremidade	Número de linhas de parafusos traccionados	Coeficientes de rigidez k_i a considerar
Viga num só lado	Uma	$k_1; k_2; k_3; k_4; k_5; k_{10}$
	Duas ou mais	$k_1; k_2; k_{eq}$
Vigas em dois lados – Momentos iguais e com sentidos opostos	Uma	$k_2; k_3; k_4; k_5; k_{10}$
	Duas ou mais	$k_2; k_{eq}$
Vigas em dois lados – Momentos diferentes	Uma	$k_1; k_2; k_3; k_4; k_5; k_{10}$
	Duas ou mais	$k_1; k_2; k_{eq}$
Ligação de continuidade de viga com chapas de extremidade aparafusadas	Número de linhas de parafusos traccionados	Coeficientes de rigidez k_i a considerar
Vigas em dois lados – Momentos iguais e com sentidos opostos	Uma	k_5 [esquerdo]; k_5 [direito]; k_{10}
	Duas ou mais	k_{eq}

Para uma junta viga-pilar aparafusada com chapa de extremidade, viga num só lado e uma linha de parafusos traccionados, a expressão da rigidez de rotação tomaria a seguinte forma:

$$S_j = \frac{E \cdot z^2}{\mu \cdot \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_5} + \frac{1}{k_{10}} \right)} \quad (3.22)$$

Nos casos de juntas com mais do que uma linha de parafusos à tração, é preciso corrigir a expressão anterior, uma vez que o modelo mecânico da ligação é diferente e, como tal, os componentes básicos relativos a essas linhas passam a ser representados por um coeficiente de rigidez equivalente, k_{eq} . A expressão da rigidez rotacional passa a ter a seguinte forma:

$$S_j = \frac{E \cdot z^2}{\mu \cdot \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_{eq}} \right)} \quad (3.23)$$

O coeficiente de rigidez equivalente, k_{eq} , é determinado pela seguinte expressão:

$$k_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} \cdot h_r}{z_{eq}} \quad (3.24)$$

O coeficiente de rigidez efetiva da linha de parafusos r , é determinado a partir da seguinte expressão:

$$k_{eff,r} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{k_{i,r}}} \quad (3.25)$$

O braço do binário equivalente, z_{eq} , é determinado pela seguinte expressão:

$$z_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} \cdot h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} \cdot h_r} \quad (3.26)$$

3.2 Método alternativo e programa de cálculo (*IdeaStatica*)

O programa de cálculo escolhido para auxílio ao dimensionamento dos casos de estudo apresentados no capítulo 4 foi o *IdeaStatica*.

O *IdeaStatica* é um programa de cálculo estrutural amplamente utilizado no dimensionamento e verificação de ligações metálicas segundo os eurocódigos. A sua relevância resulta da capacidade de integrar o método das componentes com a análise por elementos Finitos, FEA, permitindo avaliar a segurança, a resistência, a rigidez e a ductilidade de soluções variadas soluções de ligações.

O motor de cálculo do *IdeaStatica* baseia-se no *Component-based Finite Element Method*, CSFM. O CSFM considera a ligação como um sistema composto por diferentes componentes estruturais: parafusos, soldaduras, chapas de extremidade, reforços, banzos e almas. Cada componente é representado no modelo através de elementos que traduzem o seu comportamento característico em termos de resistência e deformabilidade.

As chapas são discretizadas em elementos finitos planos, elementos tipo casca, *shell*, que permitem reproduzir os estados de tensão e deformação. Os parafusos são modelados por elementos tipo mola não lineares, incluindo os efeitos de tração, corte e contacto. As soldaduras são representadas por elementos de ligação contínua, com capacidade de transferência de esforços normais e tangenciais.

O Procedimento de análise segue a seguinte marcha:

1. Definição da geometria e carregamentos: introdução das dimensões da ligação, dos reforços e das combinações de ações.
2. Discretização: geração automática da malha de elementos finitos e atribuição das propriedades das componentes.
3. Análise incremental não linear: aplicação progressiva das ações, considerando o comportamento plástico do aço segundo o critério de von Mises.
4. Avaliação das deformações e plastificações locais: identificação de zonas críticas, contactos e eventuais destacamentos.
5. Determinação da resposta global: obtenção da curva momento–rotação e das grandezas globais de rigidez e resistência.
6. Verificação normativa: comparação automática dos resultados com os critérios estabelecidos nas normas aplicáveis (NP EN 1993-1-8 e, quando relevante, NP EN 1993-1-9 para fadiga).

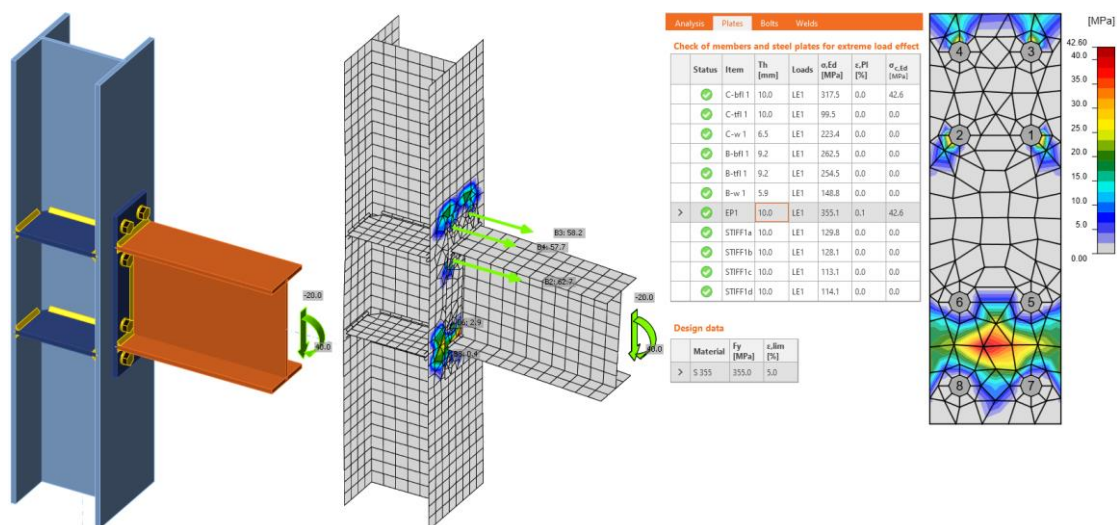


Figura 3.25 - Interface de visualização do IdeaStatica (IdeaStatica, 2025)

3.2.1 Vantagens

As principais vantagens da utilização do *IdeaStatica* incluem:

- Modelação de geometria de ligações mais complexas;
- Integração normativa;
- Rapidez no projeto
- Visualização clara com resultados gráficos
- Flexibilidade na modelação
- Comparação entre soluções de projeto

3.2.2 Desvantagens

Entre as principais limitações destacam-se as seguintes:

- Dependência da qualidade da modelação,
- Aproximações numéricas,
- Necessidade de experiência do utilizador para interpretar corretamente os resultados.

4 Caso de Estudo

4.1 Introdução

O presente capítulo tem como finalidade a aplicação do procedimento de cálculo apresentado no Capítulo 3, designadamente o método das componentes, no dimensionamento de ligações aparafusadas com chapas de extremidade. A análise incide sobre a influência da geometria da ligação, nomeadamente a variação da espessura da chapa de extremidade e do diâmetro dos parafusos, na capacidade resistente e na rigidez da junta, bem como sobre as implicações destes parâmetros na distribuição de momentos.

Para o efeito, foi desenvolvida uma folha de cálculo automático destinada a ligações com chapas de extremidade que integrem até três linhas de parafusos à tração. O pórtico de referência e a geometria da ligação são apresentados no Subcapítulo 4.2.

Procede-se igualmente à comparação entre os resultados obtidos através do método das componentes e os fornecidos pelo programa de cálculo automático *IdeaStatica*, baseado no método dos elementos finitos.

4.2 Enquadramento

4.2.1 Pórtico

Na figura 4.1, apresenta-se o pórtico definido para o caso de estudo. A estrutura é composta por pilares com 3,0 m de comprimento até ao eixo da viga, constituídos por perfis do tipo HE360M, em aço da classe S355. A viga, com um vão de 5,0 m, é formada por um perfil IPE500, igualmente em aço da classe S355.

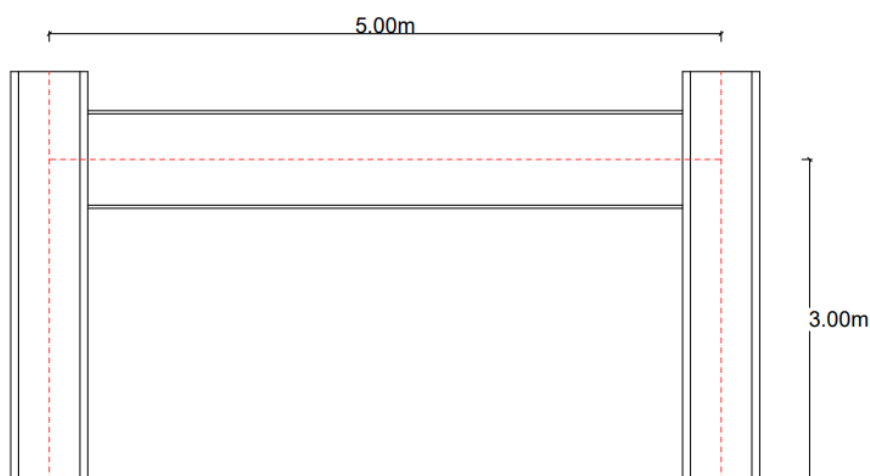


Figura 4.1 - Geometria do Pórtico

4.2.2 Geometria das ligações

As geometrias propostas para as ligações encontram-se representadas nas figuras 4.2 e 4.3.

Na primeira proposta, a chapa de extremidade possui 300 mm de largura e 530 mm de altura. A ligação é constituída por parafusos dispostos com espaçamento horizontal de 140 mm e quatro linhas de parafusos, afastadas entre si de 120 mm. A distância entre a primeira linha e o topo do banzo superior da viga é de 70 mm. As soldaduras que unem a viga à chapa de extremidade apresentam cateto de 12 mm na alma e 14 mm nos banzos, assegurando que os cordões correspondem a soldaduras de resistência total, com capacidade igual ou superior a 0,6 vezes a espessura do material de base.

Foram considerados para estudo parafusos de diâmetro 20 mm e 36 mm, todos de classe 10.9, bem como chapas de extremidade com espessuras de 20 mm e 50 mm.

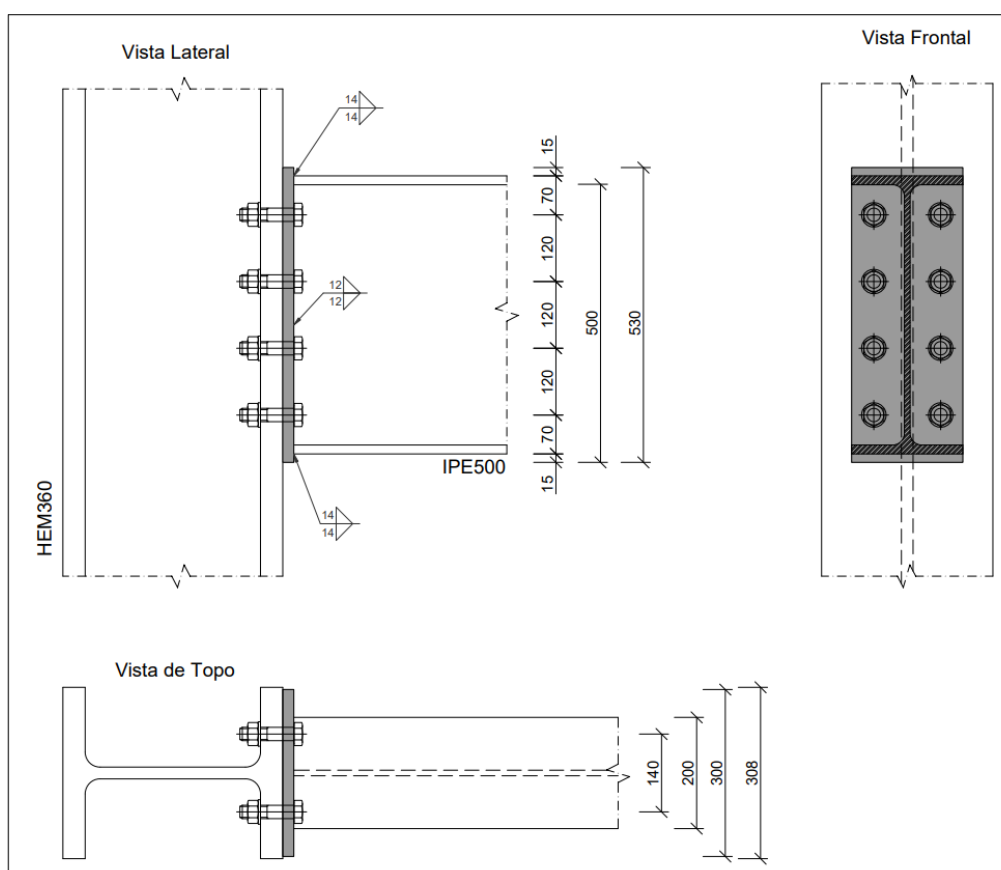


Figura 4.2 - Proposta de geometria 1

A segunda proposta mantém a configuração anterior, diferenciando-se apenas pela introdução de chapas de reforço no pilar e na viga segundo as disposições da NP EN 1993-1-8.

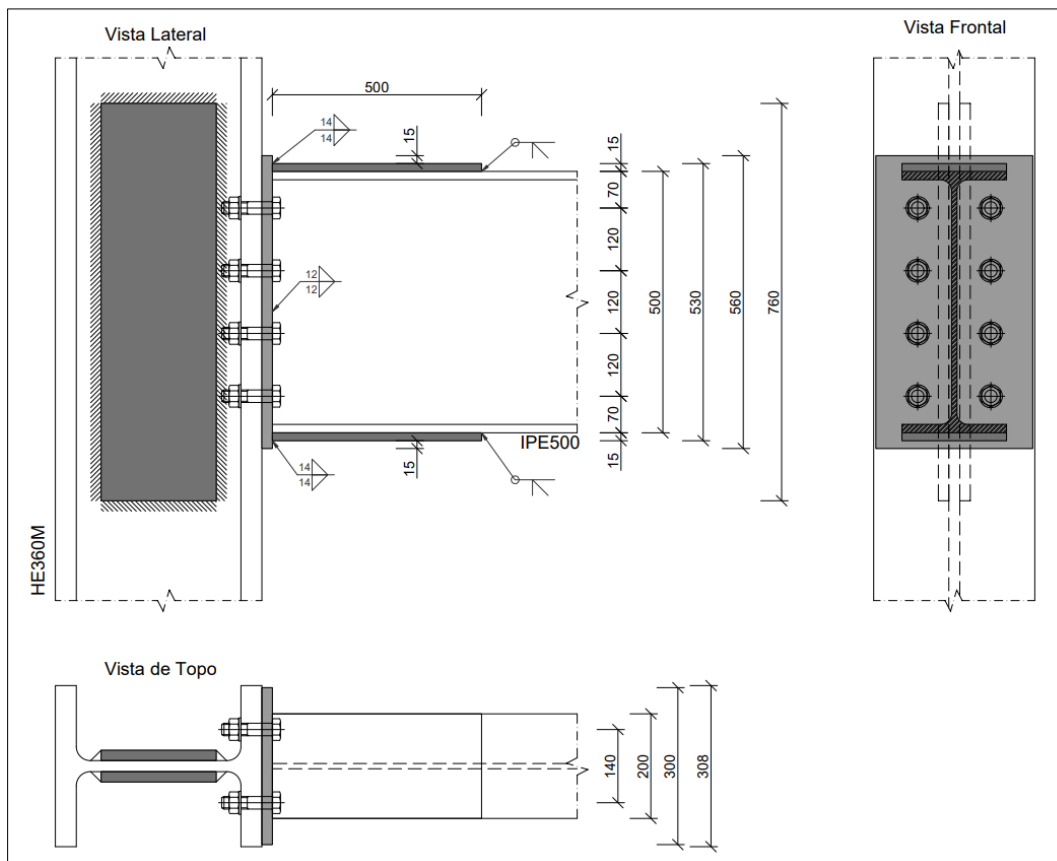


Figura 4.3 - Proposta de geometria 2

Tabela 4.1 – Resumo dos cenários de estudos para as propostas de geometria 1 e 2

Cenários de estudo			
	Espessura de chapa de extremidade	Parafusos	
Cenário 1	20mm	M20 Gr.10.9	M36 Gr.10.9
Cenário 2	50mm		

4.3 Cálculo da resistência e rigidez das ligações

4.3.1 Método das componentes para proposta de geometria 1

Definido o pórtico e as geometrias das ligações a estudar, procedeu-se avaliação da capacidade resistente e rigidez com base nas folhas de cálculo desenvolvidas para aplicação do método das componentes.

Considerando os cenários proposto, na tabela 4.2 são apresentados os resultados do cenário 1 com chapa de extremidade 20mm.

Tabela 4.2 - Resultados do cenário 1 para proposta de geometria 1

Cenário 1 – Chapa de extremidade 20mm		
	Parafusos	
	M20 Gr.10.9	M36 Gr.10.9
Ft,rd linha 1 [kN]	352.800 (Modo 3)	864.231 (Modo 2)
Ft,rd linha 2 [kN]	226.412 (Modo 2)	383.066 (Modo1)
Ft,rd linha 3 [kN]	113.231 (Modo 2)	221.261 (Modo 1)
Capacidade total à tração, Ft,rd [kN]	692.443	1468.557
Momento Resistente, Mj,rd [kNm]	237.866	520.661
Classificação segundo a resistência	Junta de resistência parcial	Junta de resistência parcial
Rigidez inicial da junta [MNm/rad]	91.477	111.794
Classificação segundo a rigidez	Semi-rígida	Semi-rígida

Na tabela 4.3 são apresentados os resultados para o cenário 2 com chapa de extremidade 50mm

Tabela 4.3 - Resultados do cenário 2 para proposta de geometria 1

Cenário 2 – Chapa de extremidade 50mm		
	Parafusos	
	M20 Gr.10.9	M36 Gr.10.9
Ft,rd linha 1 [kN]	352.800 (Modo 3)	1176.480 (Modo 3)
Ft,rd linha 2 [kN]	252.478 (Modo 3)	292.077 (Modo 3)
Ft,rd linha 3 [kN]	152.155 (Modo 3)	0.000
Capacidade total à tração, Ft,rd [kN]	757.433	1468.557
Momento Resistente, Mj,rd [kNm]	252.822	584.682
Classificação segundo a resistência	Junta de resistência parcial	Junta de resistência parcial
Rigidez inicial da junta [MNm/rad]	91.027	122.499
Classificação segundo a rigidez	Semi-rígida	Semi-rígida

4.3.2 Método das componentes para proposta de geometria 2

Procedeu-se ao mesmo exercício para a determinação da resistência e da rigidez da ligação. Para o cenário 1, os resultados são apresentados na tabela 4.4, e para o cenário 2, os resultados encontram-se na tabela 4.5.

Tabela 4.4 - Resultados do cenário 1 para proposta de geometria 2

Cenário 1 – Chapa de extremidade 20mm		
	Parafusos	
	M20 Gr.10.9	M36 Gr.10.9
Ft,rd linha 1 [kN]	352.800 (Modo 3)	864.231 (Modo 2)
Ft,rd linha 2 [kN]	227.983 (Modo 2)	383.066 (Modo 1)
Ft,rd linha 3 [kN]	115.838 (Modo 2)	299.458 (Modo 1)
Capacidade total à tração, Ft,rd [kN]	696.621	1546.754
Momento Resistente, Mj,rd [kNm]	244.040	546.493
Classificação segundo a resistência	Junta de resistência parcial	Junta de resistência parcial
Rigidez inicial da junta [MNm/rad]	219.064	374.112
Classificação segundo a rigidez	Semi-rígida	Semi-rígida

Tabela 4.5 - Resultados do cenário 2 para proposta de geometria 2

Cenário 2 – Chapa de extremidade 50mm		
	Parafusos	
	M20 Gr.10.9	M36 Gr.10.9
Ft,rd linha 1 [kN]	352.800 (Modo 3)	1176.480 (Modo 3)
Ft,rd linha 2 [kN]	254.230 (Modo 3)	456.415 (Modo 3)
Ft,rd linha 3 [kN]	155.659 (Modo 3)	191.715 (Modo 3)
Capacidade total à tração, Ft,rd [kN]	762.689	1824.610
Momento Resistente, Mj,rd [kNm]	259.709	682.889
Classificação segundo a resistência	Junta de resistência parcial	Junta de resistência parcial
Rigidez inicial da junta [MNm/rad]	211.306	491.693
Classificação segundo a rigidez	Semi-rígida	Semi-rígida

4.3.3 Modelo *IdeaStatica* para proposta de geometria 1

Seguindo os mesmos cenários de estudo, simulou-se as propostas de geometrias acima apresentadas. Tendo em conta que o *IdeaStatica* requer que se defina pelo menos um caso de cargas atuantes, considerou-se para o exercício a carga atuante de 100kNm de momento fletor para todos os cenários simulados. Os resultados obtidos para a proposta de geometria 1 são apresentados nas tabelas 4.6 e 4.7.

Tabela 4.6 - Resultados do cenário 1 para proposta de geometria 1

Chapa de 20mm		
	Parafusos	
	M20 Gr. 10.9	M36 Gr. 10.9
Momento Resistente, $M_{j,rd}$ [kNm]	254.700	524.700
Classificação segundo a resistência	Junta de resistência parcial	Junta de resistência parcial
Rigidez inicial da junta [MNm/rad]	77.100	110.000
Grau de Rotação [mrad]	5.000	26.2
Classificação segundo a rigidez	Semi-rígida	Semi-rígida

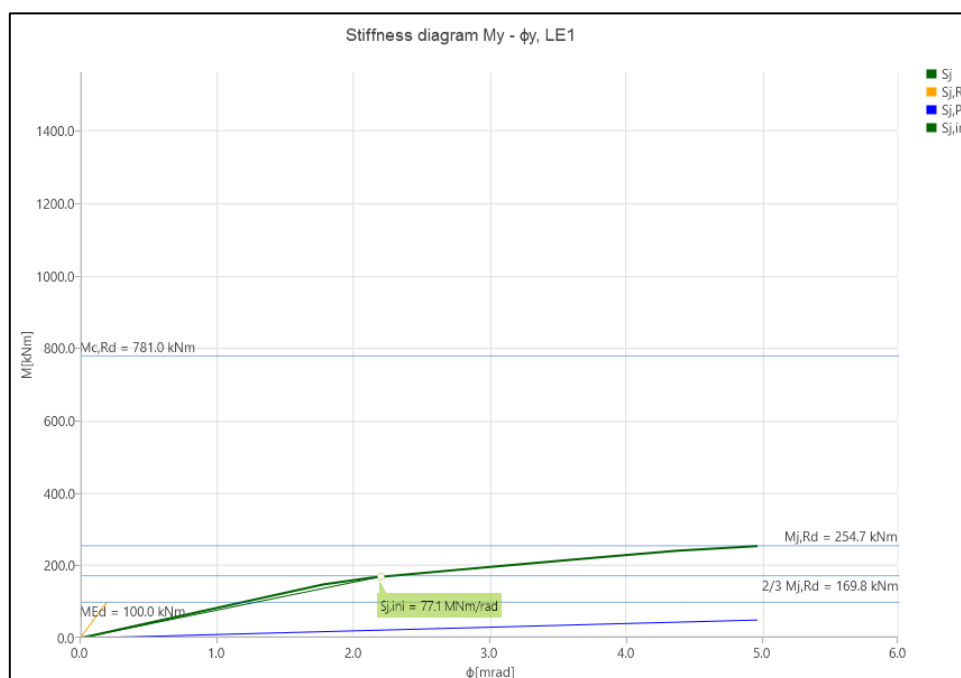


Figura 4.4 - Gráfico momento-rotação extraído do *IdeaStatica* para chapa de 20mm e parafusos M20

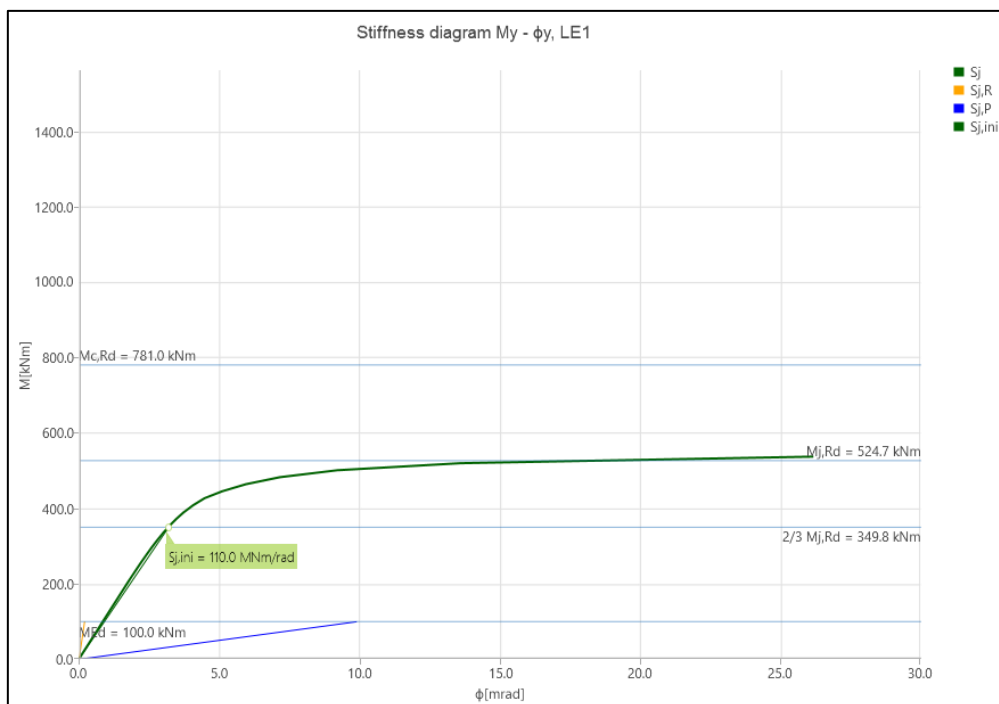


Figura 4.5 - Gráfico momento-rotação extraído do *IdeaStatica* para chapa de 20mm e parafusos M36

Tabela 4.7 - Resultados do cenário 2 para proposta de geometria 1

Chapa de 50mm		
	Parafusos	
	M20 Gr. 10.9	M36 Gr. 10.9
Momento Resistente, $M_{j,rd}$ [kNm]	289.800	623.900
Classificação segundo a resistência	Junta de resistência parcial	Junta de resistência parcial
Rigidez inicial da junta [MNm/rad]	95.400	168.300
Grau de Rotação [mrad]	5.100	12.100
Classificação segundo a rigidez	Semi-rígida	Semi-rígida

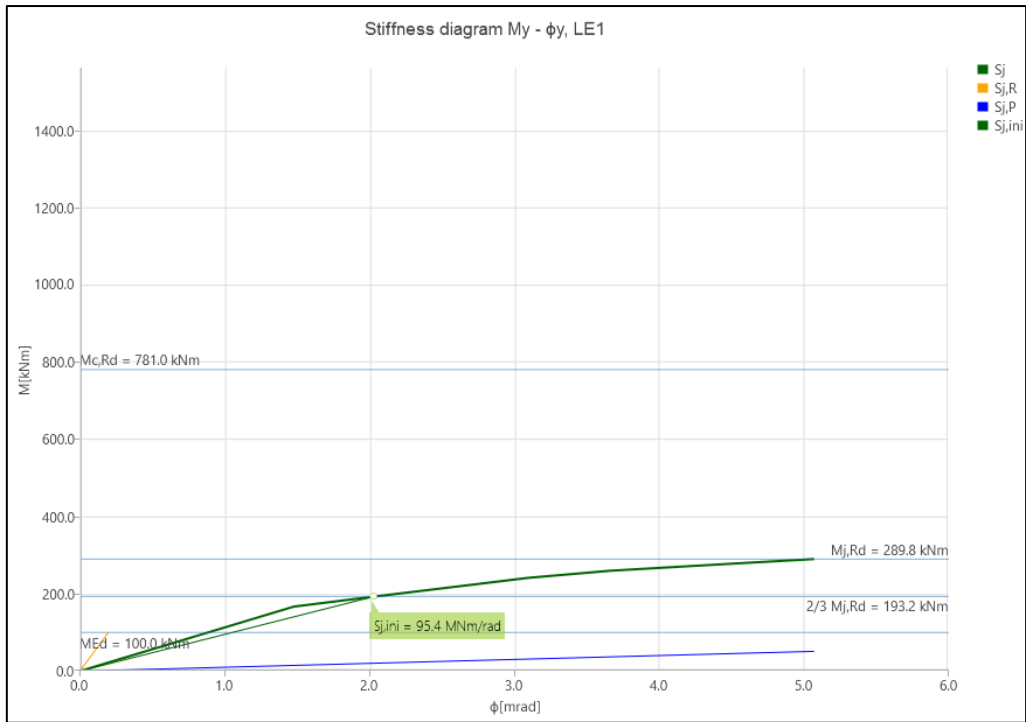


Figura 4.6 - Gráfico momento-rotação extraído do IdeaStatica para chapa de 50mm e parafusos M20

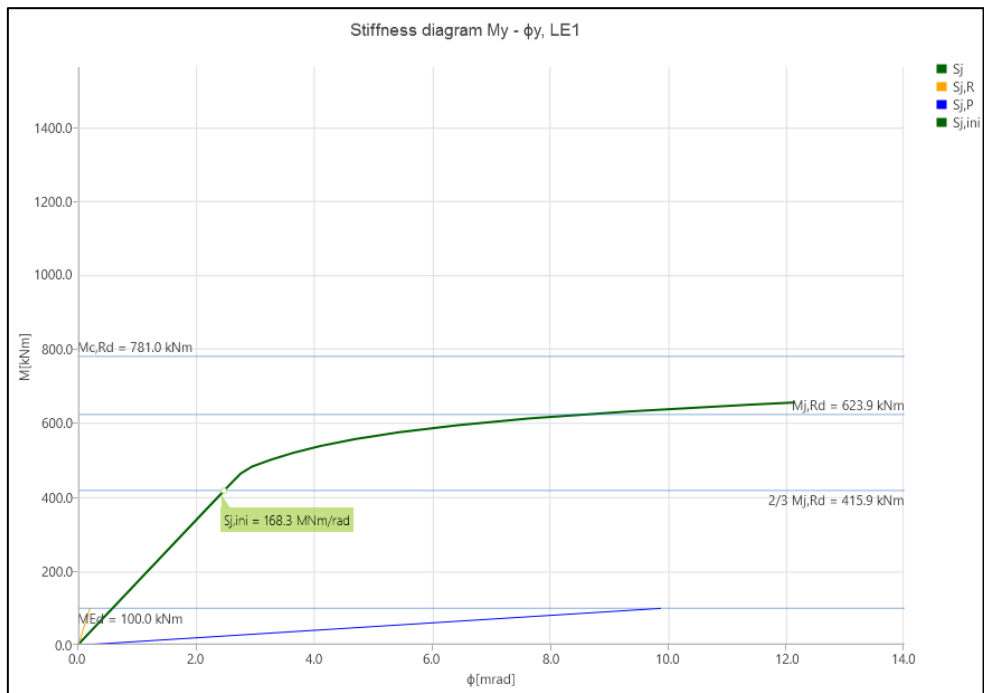


Figura 4.7 - Gráfico momento-rotação extraído do IdeaStatica para chapa de 50mm e parafusos M36

4.3.4 Modelo *IdeaStatica* para proposta de geometria 2

Para a segunda proposta procedeu-se ao mesmo exercício tendo-se chegado aos resultados apresentados nas tabelas 4.7 e 4.8.

Tabela 4.8 - Resultados do cenário 1 para proposta de geometria 2

Chapa de 20mm		
	Parafusos	
	M20 Gr. 10.9	M36 Gr. 10.9
Momento Resistente, $M_{j,Rd}$ [kNm]	268.500	524.700
Classificação segundo a resistência	Junta de resistência parcial	Junta de resistência parcial
Rigidez inicial da junta [MNm/rad]	117.700	189.400
Grau de Rotação [mrad]	3.900	15.900
Classificação segundo a rigidez	Semi-rígida	Semi-rígida



Figura 4.8 - Gráfico momento-rotação extraído do *IdeaStatica* para chapa de 20mm e parafusos M20

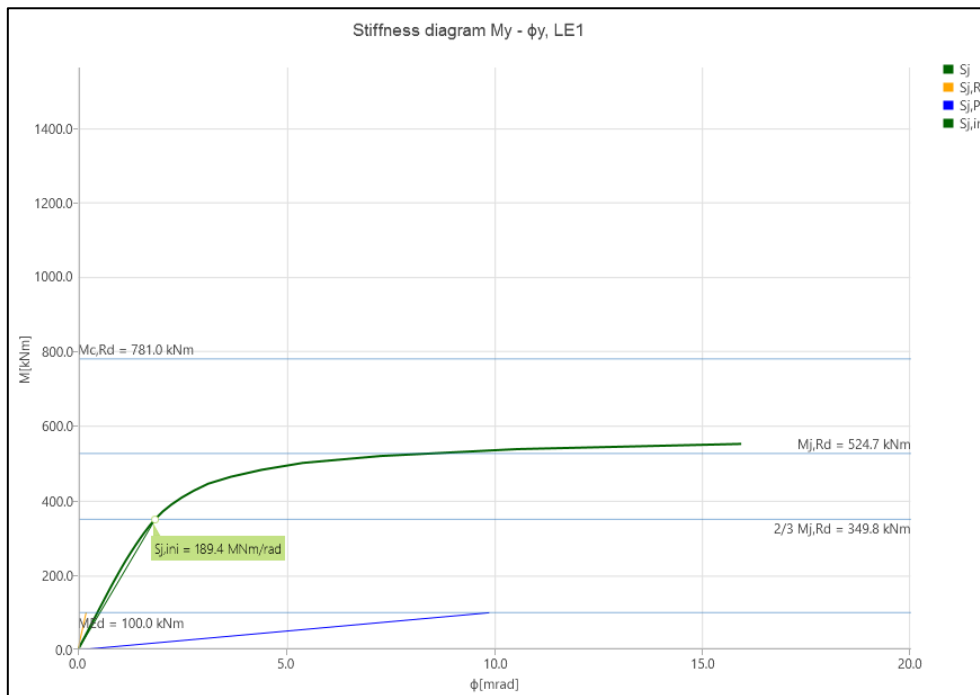


Figura 4.9 - Gráfico momento-rotação extraído do IdeaStatica para chapa de 20mm e parafusos M36

Tabela 4.9 - Resultados do cenário 2 para proposta de geometria 2

Chapa de 50mm		
	Parafusos	
	M20 Gr. 10.9	M36 Gr. 10.9
Momento Resistente, $M_{j,rd}$ [kNm]	308.100	620.800
Classificação segundo a resistência	Junta de resistência parcial	Junta de resistência parcial
Rigidez inicial da junta [MNm/rad]	156.800	441.100
Grau de Rotação [mrad]	3.900	9.400
Classificação segundo a rigidez	Semi-rígida	Semi-rígida

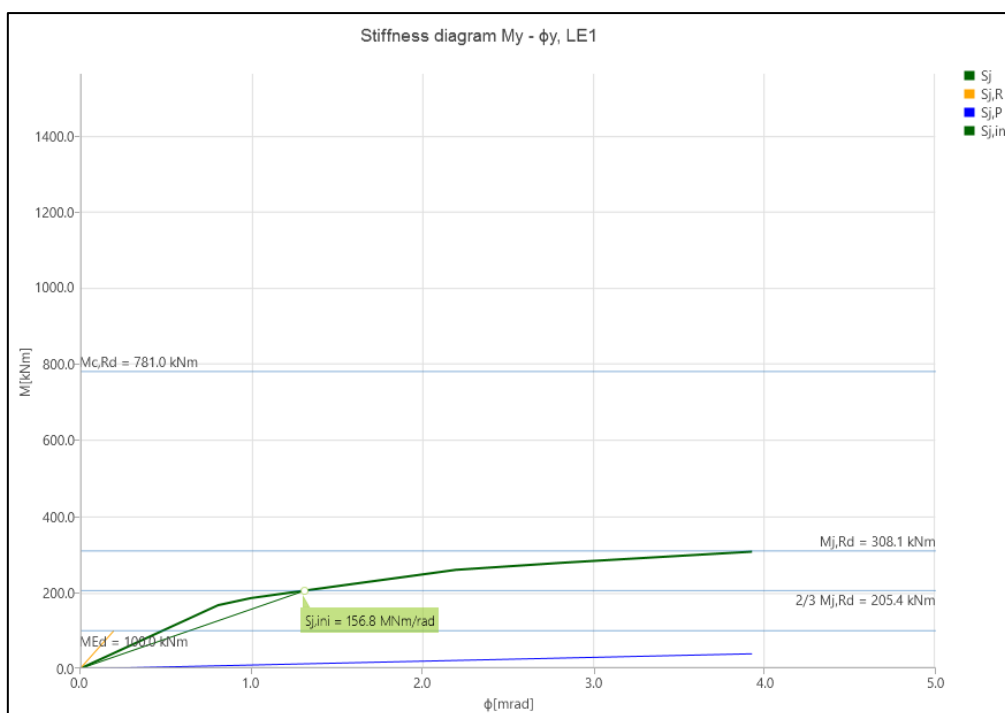


Figura 4.10 – Gráfico momento-rotação extraído do IdeaStatica para chapa de 50mm e parafusos M20

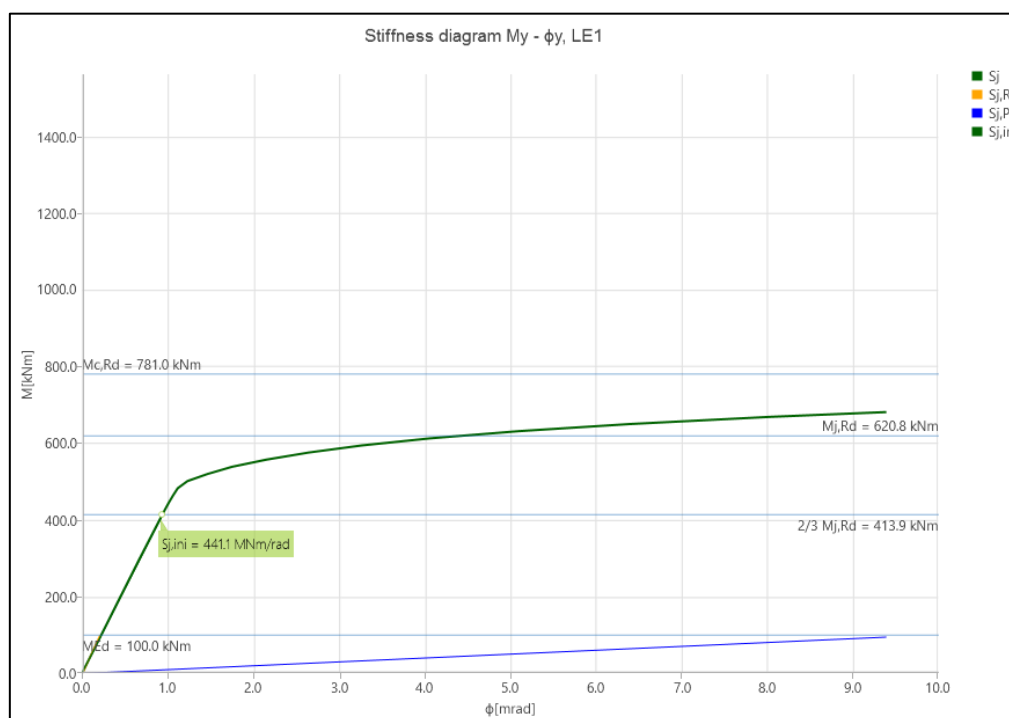


Figura 4.11 - Gráfico momento-rotação extraído do IdeaStatica para chapa de 50mm e parafusos M36

4.4 Discussão dos resultados

A comparação entre os resultados obtidos com recurso à folha de cálculo baseada no método das componentes e aqueles fornecidos pelo programa *IdeaStatica* permitiu identificar tendências consistentes, mas também discrepâncias relevantes. Embora o *IdeaStatica*, ao requerer que se defina pelo menos um caso de cargas atuantes, permitir que se avalie a rigidez secante em função do momento fletor atuante, a análise dos resultados focou-se apenas na capacidade resistente e rigidez inicial das juntas.

No cenário 1 da proposta de geometria 1, com chapa de extremidade de 20 mm e parafusos M20 Gr.10.9, a folha de cálculo estimou um momento resistente de 237,87 kNm, enquanto o *IdeaStatica* forneceu um valor de 254,70 kNm, o que corresponde a uma diferença da ordem dos 7%. Para parafusos M36 Gr.10.9 no mesmo cenário, os valores foram 520,66 kNm, método das componentes, contra 524,70 kNm do *IdeaStatica*, revelando uma discrepância inferior a 1%. Estes resultados confirmam que, no que respeita à capacidade resistente, ambos os métodos apresentam boa concordância. No entanto, ao nível da rigidez inicial da junta, as diferenças são mais significativas. Para a mesma configuração, chapa de 20 mm e parafusos M20 Gr.10.9, a folha de cálculo forneceu uma rigidez de 91,48 MNm/rad, enquanto o *IdeaStatica* indicou apenas 77,10 MNm/rad, o que representa uma diferença superior a 15%. Para os parafusos M36 Gr.10.9, a rigidez apresentada pela folha de cálculo foi de 111,79 MNm/rad e 110,00 MNm/rad pelo modelo numérico (*IdeaStatica*), evidenciando aqui maior proximidade. Os gráficos momento–rotação apresentados no *IdeaStatica* confirmam esta tendência, mostrando a maior rotação associada ao momento resistente.

A variação da espessura da chapa de extremidade também demonstrou impacto relevante. No cenário 2 da proposta de geometria 1, com chapa de 50 mm e parafusos M20 Gr.10.9, a folha de cálculo apresentou um momento resistente de 252,82 kNm, ao passo que o *IdeaStatica* apresentou 289,80 kNm, diferença de aproximadamente 15%. Para parafusos M36 Gr.10.9, os valores foram de 584,68 kNm (método das componentes) e 623,90 kNm (*IdeaStatica*), com discrepância de 6,7%. Neste caso, os gráficos não lineares extraídos do *IdeaStatica* evidenciam de forma clara o incremento de rigidez e resistência associado ao aumento da espessura da chapa.

No caso da proposta de geometria 2, que integra chapas de reforço, observa-se de modo consistente um incremento da resistência e da rigidez relativamente à proposta 1. Por exemplo, no cenário 1 com chapa de 20 mm e parafusos M20 Gr.10.9, o método das componentes apresentou um momento resistente de 244,04 kNm, valor inferior ao obtido no *IdeaStatica*, de 268,50 kNm, diferença de cerca de 10%. No que respeita à rigidez, a discrepância é mais acentuada: 219,06 MNm/rad pelo método das componentes contra 117,70 MNm/rad pelo *IdeaStatica*, diferença de aproximadamente 46%, ilustrando a tendência do método normativo para sobrestimar a rigidez quando existem reforços, uma vez que, segundo o quadro 6.11 da NP EN 1993-1-8, na eventualidade do reforço da alma do pilar com recurso a chapas adicionais, para o painel de alma do pilar solicitado ao corte e para a alma do pilar à compressão, os coeficientes de rigidez são considerados como iguais a infinito (∞). Situação similar se verifica para os parafusos M36 Gr.10.9, em que a rigidez obtida no *IdeaStatica* foi de 189,40 MNm/rad que é bastante inferior à da folha de cálculo que foi de 374,11 MNm/rad.

O aumento da espessura para 50 mm na proposta de geometria 2 reforça esta tendência. Para parafusos M36 Gr.10.9, o método das componentes forneceu uma rigidez de 491,69 MNm/rad, enquanto o *IdeaStatica* indicou 441,10 MNm/rad, diferença mais moderada de cerca de 10%. Já no caso dos parafusos M20 Gr.10.9, a discrepância foi superior a 30%.

Em síntese, a análise cruzada entre tabelas e gráficos mostra que:

- A capacidade resistente apresenta boa concordância entre os dois métodos, com discrepâncias geralmente inferiores a 15%;
- A rigidez inicial revela as maiores diferenças, com o método das componentes a tender para uma sobrestimação, em particular quando existem reforços, face ao *IdeaStatica*;
- O *IdeaStatica* fornece resultados mais conservativos ao considerar efeitos de redistribuição de tensões, não linearidade e interação tridimensional, aspetos não totalmente contemplados pelo método das componentes;
- O aumento significativo da espessura da chapa de extremidade, em relação ao diâmetro dos parafusos, conduz a soluções de juntas mais rígidas. Contudo, a partir de determinadas espessuras de chapa de extremidade, e para um mesmo diâmetro de parafusos, observa-se que o incremento da capacidade resistente se torna menos expressivo do que o acréscimo de rigidez, nomeadamente quando a ligação apresenta todas as suas linhas de parafusos à tração em modo 3.

Ambos os métodos classificam as juntas como de resistência parcial e semi-rígidas, confirmando coerência na interpretação normativa.

Tendo em conta os resultados obtidos para os momentos resistentes e, principalmente, para a rigidez das juntas, e considerando que o objetivo do estudo incidia sobre ligações rígidas destinadas a um pórtico, conclui-se que a rigidez real a adotar para os nós de ligação viga-pilar passaria, neste caso, a corresponder ao cenário mais crítico, isto é, ao menor valor entre os resultados obtidos pelo método das componentes e pelo programa *IdeaStatica*, conforme demonstrado, por exemplo, na figura 2.1 do capítulo 2.

Assim, pode concluir-se que o método das componentes é bastante sólido no que respeita a avaliação da capacidade resistente das juntas e que permite conhecer de forma adequada a rigidez da junta para casos mais comuns e sem muita complexidade, entretanto, o *IdeaStatica*, embora tenha mais dificuldades na parte da análise da rigidez, acrescenta valor significativo na avaliação detalhada do comportamento estrutural, compreensão da ductilidade e, de certa forma, a rotação disponível das ligações.

A seguir são apresentadas as tabelas e os gráficos comparativos dos resultados obtidos pela folha de cálculo baseada no método das componentes e o *IdeaStatica*.

Tabela 4.10 - Proposta de geometria 1, Cenário 1 (chapa de 20mm)

Parafusos	Mj,Rd (Método) [kNm]	Mj,Rd (IDEA) [kNm]	Rigidez (Método) [MNm/rad]	Rigidez (IDEA) [MNm/rad]	Δ Mj,Rd [%]	Δ Rigidez [%]
M20 Gr.10.9	237.870	254.700	91.480	77.100	7.1	15.7
M36 Gr.10.9	520.660	524.700	111.790	110.00	0.8	1.6

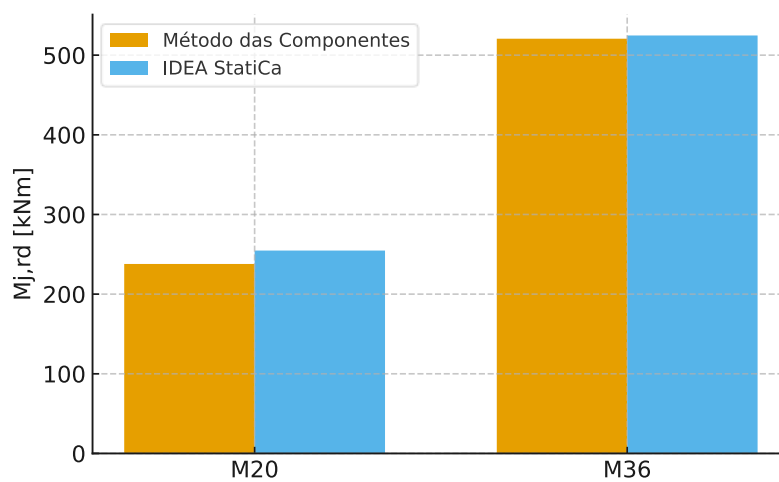


Figura 4.12 - Proposta 1 - Cenário 1: Momento resistente

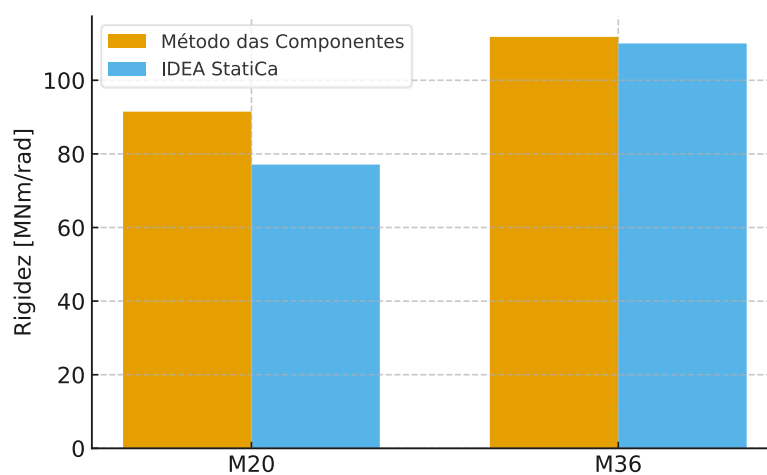


Figura 4.13 - Proposta 1 - Cenário 1: Rigidez inicial

Tabela 4.11 - Proposta de geometria 1, Cenário 2 (Chapa 50 mm)

Parafusos	Mj,Rd (Método) [kNm]	Mj,Rd (IDEA) [kNm]	Rigidez (Método) [MNm/rad]	Rigidez (IDEA) [MNm/rad]	Δ Mj,Rd [%]	Δ Rigidez [%]
M20 Gr.10.9	252.82	289.8	91.03	95.4	14.6	4.8
M36 Gr.10.9	584.68	623.9	122.5	168.3	6.7	37.4

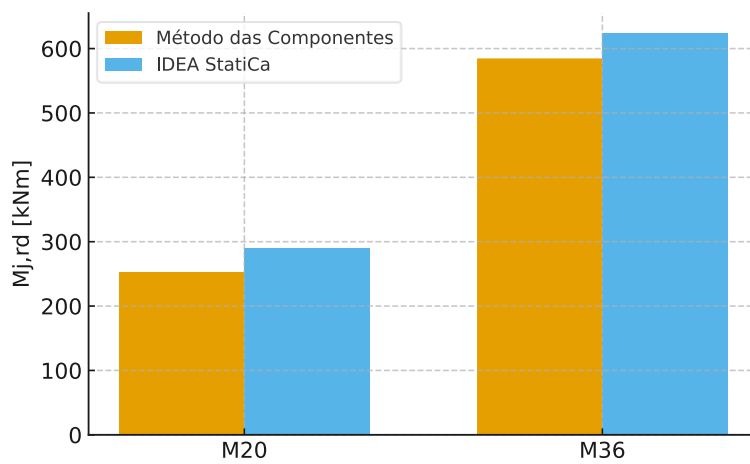


Figura 4.14 - Proposta 1 - Cenário 2: Momento resistente

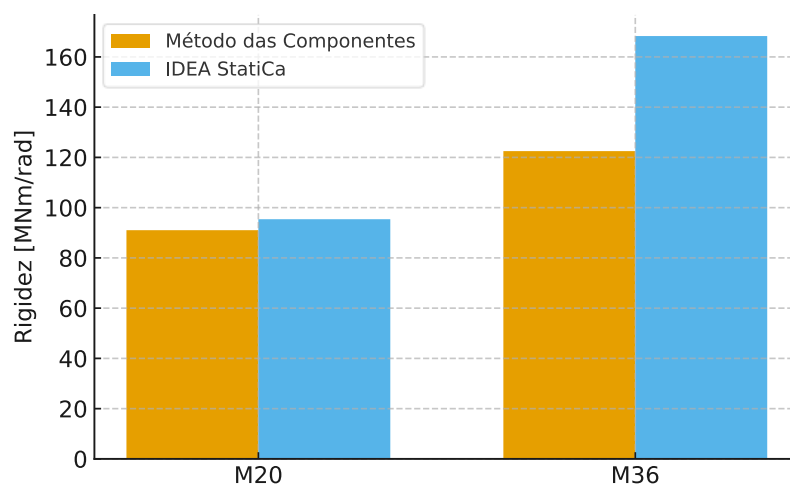


Figura 4.15 - Proposta 1 - Cenário 2: Rigidez inicial

Tabela 4.12 - Proposta de geometria 2, Cenário 1 (Chapa 20 mm)

Parafusos	Mj,Rd (Método) [kNm]	Mj,Rd (IDEA) [kNm]	Rigidez (Método) [MNm/rad]	Rigidez (IDEA) [MNm/rad]	Δ Mj,Rd [%]	Δ Rigidez [%]
M20 Gr.10.9	244.04	268.5	219.06	117.7	10.0	46.3
M36 Gr.10.9	546.49	524.7	374.11	189.4	4.0	49.4

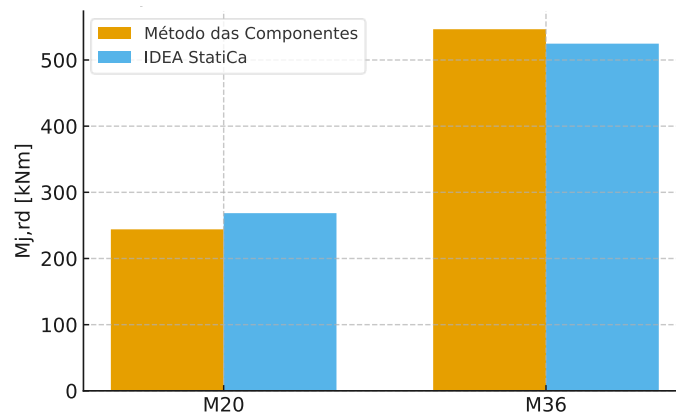


Figura 4.16 - Proposta 2 - Cenário 1: Momento resistente

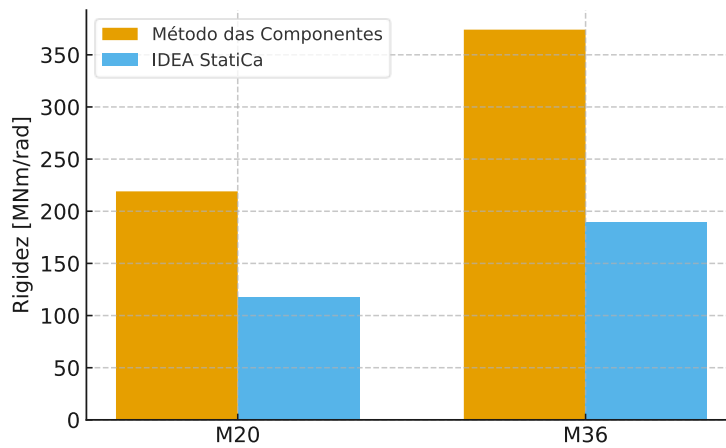


Figura 4.17 - Proposta 2 - Cenário 1: Rigidez inicial

Tabela 4.13 - Proposta de geometria 2, Cenário 2 (Chapa 50 mm)

Parafusos	Mj,Rd (Método) [kNm]	Mj,Rd (IDEA) [kNm]	Rigidez (Método) [MNm/rad]	Rigidez (IDEA) [MNm/rad]	Δ Mj,Rd [%]	Δ Rigidez [%]
M20 Gr.10.9	259.71	308.1	211.31	156.8	18.6	25.8
M36 Gr.10.9	682.89	620.8	491.69	441.1	9.1	10.3

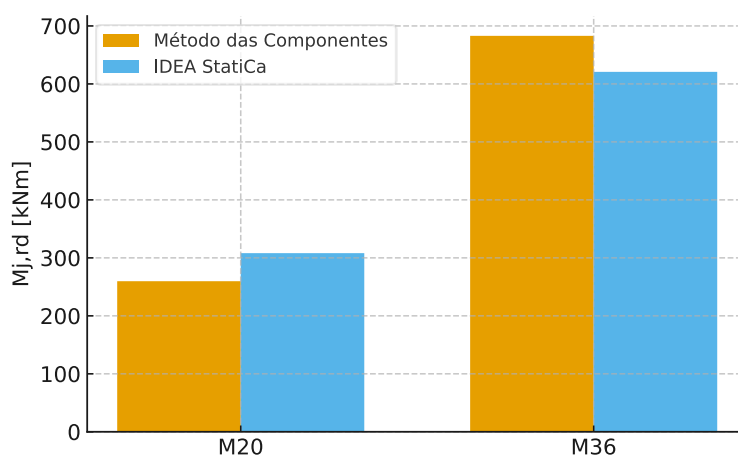


Figura 4.18 - Proposta 2 - Cenário 2: Momento resistente

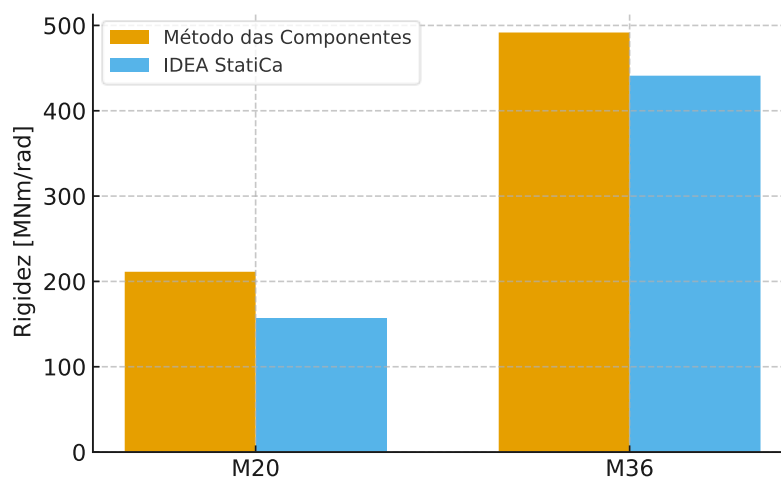


Figura 4.19 - Proposta 2 - Cenário 2: Rigidez inicial

5 Considerações finais

5.1 Conclusões

O trabalho desenvolvido evidenciou que o desempenho estrutural global depende de forma significativa do comportamento das ligações. A aplicação do método das componentes, conforme definido na NP EN 1993-1-8, permitiu caracterizar a resistência, rigidez e ductilidade das ligações viga-pilar com chapas de extremidade. Esta metodologia demonstrou ser eficaz e consistente na avaliação do comportamento momento-rotação e na classificação das juntas.

A análise paramétrica demonstrou que o aumento da espessura da chapa de extremidade e do diâmetro dos parafusos conduz, em regra, a ligações mais rígidas e resistentes. Contudo, verificou-se que, a partir de determinadas espessuras de chapa de extremidade, o incremento da capacidade resistente tende a ser menos significativo do que o aumento da rigidez, nomeadamente, quando a ligação tem todas as suas linhas de parafusos à tração em modo 3. A introdução de chapas de reforço revelou-se igualmente eficaz para controlar modos de falha localizados e melhorar o desempenho global da ligação.

As ligações analisadas foram classificadas como de resistência parcial e semi-rígidas, em conformidade com os critérios da NP EN 1993-1-8. Esta classificação reforça a importância de considerar o comportamento real das juntas na análise global da estrutura, sobretudo em pórticos metálicos, onde a interação entre rigidez da ligação e resposta estrutural pode ser determinante. Importa ainda salientar a dificuldade em se obterem juntas aparafusadas que sejam simultaneamente totalmente rígidas e resistentes.

5.2 Desenvolvimentos Futuros

Apesar dos resultados obtidos permitirem compreender de certa forma a influência da rigidez na transmissão de momentos em ligações do tipo viga-pilar, existem ainda diversos aspetos que podem ser aprofundados em trabalhos futuros. Uma direção de estudo relevante a explorar seria a de diferentes tipologias de ligações, como as soldadas ou as com reforços adicionais mais complexos, de modo a avaliar comparativamente o seu desempenho estrutural.

Outra vertente importante prende-se com a análise de efeitos dinâmicos e de fadiga, uma vez que as ações cíclicas podem condicionar significativamente a durabilidade e a ductilidade das juntas. A incorporação de análises não lineares mais avançadas, tanto materiais como geométricas, poderá também contribuir para uma previsão ainda mais realista do comportamento momento-rotação.

Do ponto de vista prático, seria relevante validar os resultados obtidos com ensaios laboratoriais, complementando a modelação teórica e numérica com evidência experimental. Por fim, recomenda-se o alargamento do estudo à escala global da estrutura, avaliando de que forma diferentes classificações de juntas influenciam a resposta global de pórticos em edifícios.

Referências bibliográficas

Gomes, F., Jaspart, J.-P., & Maquoi, R. (n.d.). Moment capacity of beam-to-column minor-axis joints.

Instituto Português da Qualidade. (2010). NP EN 1993-1-8 - Eurocódigo 3-Projecto de estruturas de aço Parte 1-8: Projecto de ligações. www.ipq.pt

Instituto Português da Qualidade. (2010). NP EN 1993-1-1 - Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas de aço Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios. www.ipq.pt

Instituto Português da Qualidade. (2010). NP EN 1993-1-9 - Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas de aço - Parte 1-9: Fadiga. www.ipq.pt

IDEA StatiCa. (2025). IDEA StatiCa Connection – Structural design of steel connections. www.ideastatica.com/pt/support-center/general-theoretical-background#Steel_joint_analysis_model

Jaspart, J.-P. (1991). Etude de la Semi-Rigidite Des Noeuds Poutre-Colonne et Son Influence Sur la resistance et la Stabilité des Ossatures en Acier. Université de Liege.

Kubicek, Jan. (2021). Moment connections – calc them all. IDEA StatiCa. <https://www.ideastatica.com/blog/moment-connections-calc-them-all>

MasterSeries. (2024). Steel Connections Optimisation with MasterSeries [Webinar Recording]. <https://www.masterseries.com/blog/connections-webinar-ms2023>

Rangel, J. V. S., Falcón, G. A. S., & Medeiros, C. A. (2017). Optimum Design of Steel Frames Considering Semi-Rigid Joints. Proceedings of the XXXVIII Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering. https://www.researchgate.net/publication/321510257_Optimum_Design_of_Steel_Frames_Considering_Semi-Rigid_Joints

Rebelo, L. P. O. (2023). CÁLCULO AUTOMÁTICO DE LIGAÇÕES TRACIONADAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS. Universidade do Porto. <http://www.fe.up.pt>

Resende, V. N. B. S. (2009). ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES METÁLICAS SEGUNDO O EUROCÓDIGO 3. Universidade do Porto. <http://www.fe.up.pt>

SCI. (2013). P398 - Joints in Steel Construction: Moment-Resisting Joints to Eurocode 3. The Steel Construction Institute. www.steel-sci.com

SCI. (2011). P391 - Structural Robustness of Steel Framed Buildings. The Steel Construction Institute. www.steel-sci.com

SCI. (2015). P399 - Design of steel Portal frame Buildings to Eurocode 3. The Steel Construction Institute. www.steel-sci.com

Simões da Silva, L., & Santiago, A. (2003). Manual de Ligações Metálicas. Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista (CMM). <http://www.cmm.pt>

Simões da Silva, L. (2008). Towards a consistent design approach for steel joints under generalized loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 64(9), 1059–1075. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2008.02.017>

Sousa, F. A. C. (2017). INFLUÊNCIA DA RIGIDEZ E RESISTÊNCIA DAS LIGAÇÕES NA QUANTIDADE TOTAL DE AÇO EM ESTRUTURAS METÁLICAS. Instituto Politécnico de Viana de Castelo. <http://www.estg.ipvvc.pt>

Trahair, N. S., Bradford, M. A., & Nethercot, D. A. (2001). *The-Behaviour-and-Design-of-Steel-Structures-to-BS5950* (3rd ed.).

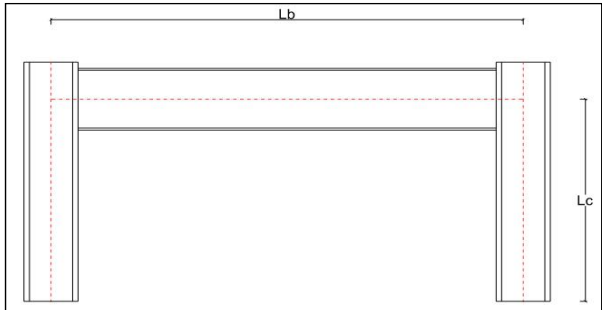
Vieito, Â. A. S. (2015). ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES VIGA-PILAR COM PLACA DE EXTREMIDADE - Influência das Ligações na Otimização das Secções da Estrutura. Instituto Politécnico de Viana de Castelo. <http://www.estg.ipvvc.pt>

Zoetemeijer, P. (1974). A DESIGN METHOD FOR THE TENSION SIDE STATICALLY LOADED, BOLTED BEAM-TO-COLUMN CONNECTION (Vol. 20).

Šabatka, L., Kolaja, D., Vild, M., Wald, F., Kabeláč, J., & Kuříková, M. Joint stiffness and its influence on design of steel structural elements. <https://www.ideastatica.com/support-center/connection-stiffness-and-its-use-in-global-analysis>

Anexos

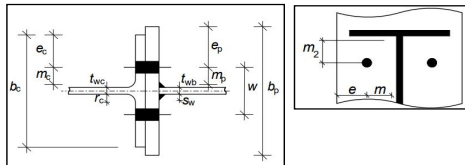
ISEP	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-



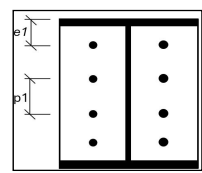
Lb [mm]	5000	ly, b [mm^4]	481900000	Wpl,y, b [mm^3]	2194000
Lc [mm]	3000	ly, c [mm^4]	848600000	Wpl,y, c [mm^3]	4989000
M, Rd, pl, b [kNm]		778.870	Altura viga [mm]		500

Peça em T equivalente (t-stub)

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
bp [mm]	300	bc [mm]	308
w [mm]	140	w [mm]	140
twb [mm]	10.2	twc [mm]	21
sw [mm]	12	r [mm]	27
mp [mm]	55.3	mc [mm]	37.9
ep [mm]	80	ec [mm]	84
tp [mm]	20	tfc [mm]	40
m2 [mm]	42.8	Avc [mm^2]	10240
tfb [mm]	16	dwc [mm]	261



e1 [mm]	70
p1 [mm]	120



Parafuso **M20**
Gr.10.9

ISEP	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 1
1. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (primeira linha isolada)

Com troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	347.460	Leff, cp [mm]	238.133

Sem troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	379.823	Leff, nc [mm]	256.600

"α" chapa de extremidade			
λ1	0.409	α	6.868
λ2	0.316		

Verificação forças de alavanca

Comprimento dos Parafusos Lb [mm]	75.250
--------------------------------------	--------

Chapa de extremidade Lb* [mm]	239.985
----------------------------------	---------

Com Forças de alavanca

Banzo pilar Lb* [mm]	15.403
-------------------------	--------

Sem Forças de alavanca

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	11987375	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		867.080	973.618

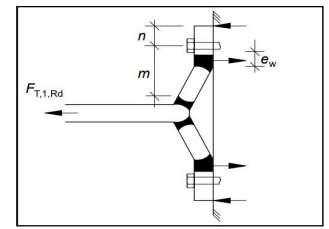
dw [mm]	33.530
ew [mm]	8.383
n,tp [mm]	69.125

Sem forças de alavanca
FT1, Rd [kN] **Não aplicável**

Banzo do pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	32862316	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

n, tf [mm]	47.375
------------	--------

Sem forças de alavanca
FT1, Rd [kN] **1734.159**



Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl2 [N*mm]	13103879	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	352.800	FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		406.631	Não aplicável

Banzo pilar à flexão

Mpl2 [N*mm]	35410800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	1734.159

Modo 3 - Rotura dos parafusos

FT3, Rd [kN]	352.800
--------------	---------

Resistência das Chapa / Banzo à flexão

Banzo do pilar

FT1, tf, Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd}	352.800
------------------	-----------------------------------	---------

Chapa de extremidade

FT1,tp,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd}	352.800
----------------	-----------------------------------	---------

Alma da viga à tração

Ft, wb, Rd [kN]	1258.153
-----------------	----------

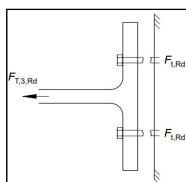
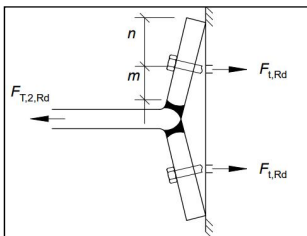
Alma do pilar à tração

β	1	Ft, wc, Rd [kN]	1507.353
ω	0.874		

Sumário Resistência do t-stub para Linha 1 tracionada

Banzo do pilar à flexão	352.800
Chapa de extremidade à flexão	352.800
Alma da viga à tração	1258.153
Alma do pilar à tração	1507.353

Logo, Ft1, Rd final [kN] **352.800**



Modo 3

Modo 3

Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 2

2. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade longe dos banzos da viga (segunda linha isolada)

Com troços circulares

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	347.4601	Leff, cp [mm]	238.133

Sem troços circulares

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	321.200	Leff, nc [mm]	256.600

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl1 [N*mm]	11081400	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		801.548	900.034

Sem forças de alavanca
 FT1, Rd [kN] Não aplicável

Banzo pilar à flexão

Mpl1 [N*mm]	32862316	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca
 FT1, Rd [kN] 1734.159

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl2 [N*mm]	11081400	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	352.800	FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		374.122	Não aplicável

Banzo pilar à flexão

Mpl2 [N*mm]	35410800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	1734.159

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
Nr. Estudante:	1191232		
Data:	-		

Modo 3 - Rotura dos parafusos	
FT3, Rd [kN]	352.800

Resistência das Chapa / Banzo à flexão	
Banzo do pilar	
FT2, tf, Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd} 352.800 Modo 3

Chapa de extremidade	
FT2, tp, Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd} 352.800 Modo 3

Alma da viga à tração	
Ft, wb, Rd [kN]	1163.065

Alma do pilar à tração	
ω 0.874	Ft, wc, Rd [kN] 1507.353

Sumário Resistência do t-stub para Linha 2 (isolada) tracionada	
Banzo do pilar à flexão	352.800
Chapa de extremidade à flexão	352.800
Alma da viga à tração	1163.065
Alma do pilar à tração	1507.353
Logo, Ft2, Rd [kN]	352.800

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linhas 1 & 2	
2. Linhas de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (Linha 1 & Linha 2)	

Com troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	587.4601	Leff, cp [mm]	478.133

Sem troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	499.823	Leff, nc [mm]	376.600

P [mm]	
120	

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa	
Chapa de extremidade à flexão	
Mpl1 [N*mm]	17243879
Método 1	Método 2
FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
1247.297	1400.552
Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	Não aplicável

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
Nr. Estudante:	1191232		
Data:	-		

Banzo pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	51970800	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	2742.522

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl2 [N*mm]	17243879	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		669.177	Não aplicável
Ft, Rd (4 parafusos) [kN]	705.600		

Banzo pilar à flexão			
Mpl2 [N*mm]	51970800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	2742.522

Modo 3 - Rotura dos parafusos	
FT3, Rd [kN]	705.600

Resistência das Chapa / Banzo à flexão	
Banzo do pilar	
FT1-2,tf,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd} 705.600 Modo 3

Chapa de extremidade	
FT1-2,tp,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd} 669.177 Modo 2

Alma da viga à tração	
Ft, wb, Rd [kN]	1809.858

Alma do pilar à tração	
ω 0.750	Ft, wc, Rd [kN] 2047.703

Sumário Resistência do t-stub para as Linhas 1 & 2 combinadas	
Banzo do pilar à flexão	705.600
Chapa de extremidade à flexão	669.177
Alma da viga à tração	1809.858
Alma do pilar à tração	2047.703
Logo, Ft 1-2, Rd [kN]	669.177

Valor de Ft2, Rd Linha 1 & linha 2 combinadas	
Ft 1-2, Rd - Ft1, Rd [kN]	316.377

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
		Nr. Estudante:	1191232
		Data:	-
Sumário Resistência final do t-stub para Linha 2			
Banzo do pilar à flexão	352.800	Logo, Ft2, Rd, final [kN]	316.377
Chapa de extremidade à flexão	352.800		
Alma da viga à tração	1163.065	Modo de rotura final chapa de extremidade	Modo 2
Alma do pilar à tração	1507.353		
Ft 1-2, Rd - Ft1, Rd [kN]	316.377	Modo de rotura final banzo de pilar	Modo 3
Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 3			
2. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade longe dos banzos da viga (terceira linha isolada)			
Com troços circulares		Sem troços circulares	
Chapa de extremidade	Banzo pilar	Chapa de extremidade	Banzo pilar
Leff, cp [mm]	347.4601	Leff, nc [mm]	321.200
		Leff, nc [mm]	256.600
Sumário Resistência do t-stub para Linha 3 (isolada) tracionada			
Banzo do pilar à flexão	352.800	Logo, Ft3, Rd [kN]	352.800
Chapa de extremidade à flexão	352.800	Modo de rotura chapa de extremidade	Modo 3
Alma da viga à tração	1163.065		
Alma do pilar à tração	1507.353	Modo de rotura banzo de pilar	Modo 3
Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linhas 1, 2 & 3			
2. Linhas de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (Linha 1, Linha 2 & Linha 3)			
Com troços circulares		Sem troços circulares	
Chapa de extremidade	Banzo pilar	Chapa de extremidade	Banzo pilar
Leff, cp [mm]	827.4601	Leff, nc [mm]	619.823
		Leff, nc [mm]	496.600

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
		Nr. Estudante:	1191232
		Data:	-
Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	21383879	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		1546.754	1736.804
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	Não aplicável
Banzo pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	68530800	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	3616.401
Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl2 [N*mm]	21383879	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		931.723	Não aplicável
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	1058.400		
Banzo pilar à flexão			
Mpl2 [N*mm]	68530800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	3616.401
Modo 3 - Rotura dos parafusos			
FT3, Rd [kN]	1058.400		
Resistência das Chapa / Banzo à flexão			
Banzo do pilar			
FT1-2-3,tf,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd}	1058.400	Modo 3
Chapa de extremidade			
FT1-2-3,tp,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd}	931.723	Modo 2
Alma da viga à tração			
Ft, wb, Rd [kN]	2244.378		
Alma do pilar à tração			
ω	0.653	Ft, wc, Rd [kN]	2700.184

<h1 style="background-color: #800000; color: white; padding: 5px;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Sumário Resistência do t-stub para as Linhas 1, 2& 3 combinadas

Banzo do pilar à flexão	1058.400	
Chapa de extremidade à flexão	931.723	
Alma da viga à tração	2244.378	Logo, Ft 1-2-3, Rd [kN] 931.723
Alma do pilar à tração	2700.184	

Sumário Resistência final do t-stub para Linha 3

Ft 1-2-3, Rd - Ft2, Rd [kN]	615.346	Modo de rotura final chapa de extremidade Modo 2
Ft 1-2-3, Rd - Ft1, Rd - Ft2, Rd [kN]	262.546	
Logo, Ft 1-2-3, Rd final [kN]	262.546	Modo de rotura final banzo de pilar Modo 3

Sumário Modos de Rotura do t-stub para as Linhas Tracionadas S/ modificações

Linha 1	Modo 3		Ft1, Rd	352.800
Linha 2	Modo 2		Ft2, Rd	316.377
Linha 3	Modo 2		Ft3, Rd	262.546

Limite da distribuição plástica

Ft1, Rd [kN]	352.800	≤	1.9 * Ft, Rd [kN]	335.160
			N/A	
tp [mm]	20	≤	(d/1.9) * vfub/fyp	16.0292
			N/A	
tfc [mm]	40	≤	(d/1.9) * vfub/fyp	16.0292
			N/A	

Sem distribuição plástica, assumir regime elástico

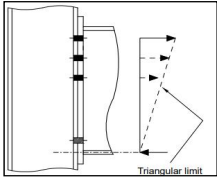
$$F_{t,x,Rd} \leq 1.9 F_{t,Rd}$$

or

$$t_p \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_{yp}}}$$

or

$$t_{fc} \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_{yc}}}$$



Triangular limit

$F_{t,x,Rd}$ is the effective design tension resistance of one of the previous (higher) bolt rows x
 $F_{t,Rd}$ is the design tension resistance of an individual bolt

<h1 style="background-color: #800000; color: white; padding: 5px;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Limite triangular (regime elástico)

Linha 1	
(Ft 1, Rd)*hr/hx	352.800
Linha 2	
(Ft 2, Rd)*hr/hx	226.412
Linha 3	
(Ft 3, Rd)*hr/hx	113.231

Potencial capacidade à tração

Sigma Ft, Rd [kN]	692.443
-------------------	---------

Alma do pilar à compressão transversal

Compressão transversal da alma do pilar

beff [mm]	395		Fc,wc,Rd [kN]	2102.285
Kwc	1			
ω	0.735			

Encurvadura da alma do pilar

λ	0.578		Fc,wc,Rd [kN]	2102.285
ρ	1			

Alma do pilar à compressão transversal

Compressão transversal da alma do pilar

Fc,wc,Rd, final [kN]	2102.285
----------------------	----------

Banzo e alma da viga à compressão

M, Rd, b	778.870		Fc,fb, Rd [kN]	1609.236
----------	---------	--	----------------	----------

Potencial capacidade à compressão

Fc, Rd, min [kN]	1609.236
------------------	----------

Painel de alma do pilar solicitado ao corte

Vwp, Rd [kN]	1468.557
--------------	----------

Valores de resistência à tração e compressão da junta

Sigma Ft, Rd [kN]	692.443			
Fc, Rd [kN]	1609.236		Sem reduções necessárias	0.000
Vwp, Rd [kN]	1468.557			

Valores finais de Ft, Rd por linha e Modos de Rotura

Linha 1	Modo 3		Ft1, Rd	352.800
Linha 2	Modo 2		Ft2, Rd	226.412
Linha 3	Modo 2		Ft3, Rd	113.231

$$F_{t,r,Rd} \leq F_{t,x,Rd} \frac{h_r}{h_x}$$

h_x is the distance of bolt row x (the bolt row furthest from the centre of compression that has a design tension resistance greater than 1.9 $F_{t,Rd}$)
 h_r is the distance of the bolt row r from the centre of compression

Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Momento resistente, Mj, Rd [kNm]	
Mj, Rd [kNm] linha 1	148.882
Mj, Rd [kNm] linha 2	68.376
Mj, Rd [kNm] linha 3	20.608
Mj, Rd final [kNm]	
	237.866

Classificação da Junta segundo a resistência
Junta de resistência parcial

M Rd, b [kNm]
778.870

Classificação da Junta segundo a rigidez
Coeficientes de Rigidez (<i>k_i</i>) dos componentes básicos

Painel de alma do pilar solicitado ao corte (k1)	
k1 [mm]	11.634

Alma do pilar comprimida (k2)	
k2 [mm]	22.247

Alma do pilar tracionada (k3)				
Linha 1		Linha 2		Linha 3
k3.1 [mm]	13.412	k3.2 [mm]	13.412	k3.3 [mm]
				13.412

Banzo do pilar solicitado à flexão (k4)				
Linha 1		Linha 2		Linha 3
k4.1 [mm]	251.956	k4.2 [mm]	251.956	k4.3 [mm]
				251.9556

Chapa de extremidade solicitado à flexão (k5)				
Linha 1		Linha 2		Linha 3
k5.1 [mm]	14.793	k5.2 [mm]	13.675	k5.3 [mm]
				13.675

Parafusos tracionados (k10)				
Linha 1		Linha 2		Linha 3
k10.1 [mm]	5.209	k10.2 [mm]	5.209	k10.3 [mm]
				5.209

Coeficientes de Rigidez efetivos (keff,r) por linhas				
Linha 1		Linha 2		Linha 3
keff 1 [mm]	2.958	keff 2 [mm]	2.910	keff 3 [mm]
				2.910

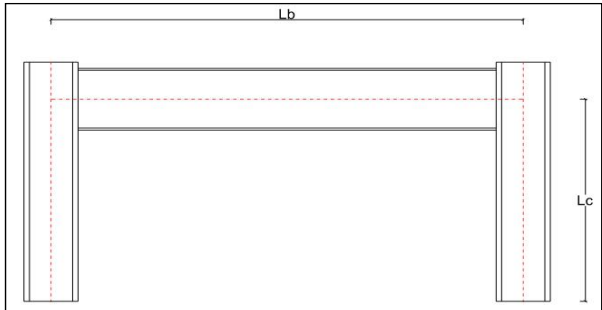
Ze _q [mm]	Coeficiente de Rigidez equivalente linhas 1,2 & 3
334.455	keq [mm]
	7.943

Rigidez de Rotação inicial (Sj, ini)		
μ	1.000	Sj, ini [MNm/rad]
		91.477

Sumário coeficientes de rigidez		
k1 [mm]	k2 [mm]	keq [mm]
11.634	22.247	7.943

Classificação da Junta segundo a rigidez rotacional
Junta semi-rígida

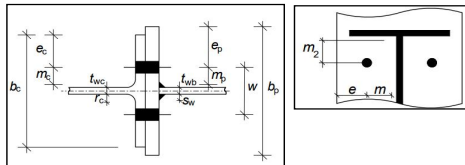
ISEP	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-



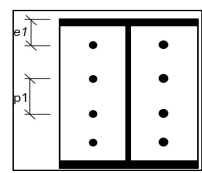
Lb [mm]	5000	ly, b [mm^4]	481900000	Wpl,y, b [mm^3]	2194000
Lc [mm]	3000	ly, c [mm^4]	848600000	Wpl,y, c [mm^3]	4989000
M, Rd, pl, b [kNm]		778.870	Altura viga [mm]		500

Peça em T equivalente (t-stub)

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
bp [mm]	300	bc [mm]	308
w [mm]	140	w [mm]	140
twb [mm]	10.2	twc [mm]	21
sw [mm]	12	r [mm]	27
mp [mm]	55.3	mc [mm]	37.9
ep [mm]	80	ec [mm]	84
tp [mm]	20	tfc [mm]	40
m2 [mm]	42.8	Avc [mm^2]	10240
tfb [mm]	16	dwc [mm]	261



e1 [mm]	70
p1 [mm]	120



Parafuso **M36**
Gr.10.9

ISEP	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 1
1. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (primeira linha isolada)

Com troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	347.460	Leff, cp [mm]	238.133

Sem troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	379.823	Leff, nc [mm]	256.600

"α" chapa de extremidade			
λ1	0.409	α	6.868
λ2	0.316		

Verificação forças de alavanca

Comprimento dos Parafusos Lb [mm]	86.750
-----------------------------------	--------

Chapa de extremidade Lb* [mm]	239.985
-------------------------------	---------

Com Forças de alavanca

Banzo pilar Lb* [mm]	15.403
----------------------	--------

Sem Forças de alavanca

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	11987375	Método 1	Método 2
FT1, Rd [kN]		867.080	1088.697

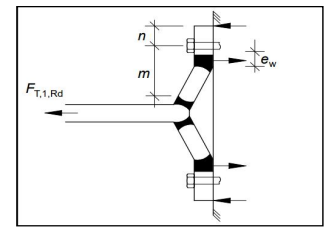
dw [mm]	60.790
ew [mm]	15.198
n,tp [mm]	69.125

Sem forças de alavanca
FT1, Rd [kN] **Não aplicável**

Banzo do pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	32862316	Método 1	Método 2
FT1, Rd [kN]		Não aplicável	Não aplicável

n, tf [mm]	47.375
------------	--------

Sem forças de alavanca
FT1, Rd [kN] **1734.159**



Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl2 [N*mm]	13103879	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	1176.480	FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		864.231	Não aplicável

Banzo pilar à flexão

Mpl2 [N*mm]	35410800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	1734.159

Modo 3 - Rotura dos parafusos

FT3, Rd [kN]	1176.480
--------------	----------

Resistência das Chapa / Banzo à flexão

Banzo do pilar

FT1, tf, Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd}	1176.480
------------------	-----------------------------------	----------

Chapa de extremidade

FT1,tp,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd}	864.231
----------------	-----------------------------------	---------

Alma da viga à tração

Ft, wb, Rd [kN]	1258.153
-----------------	----------

Alma do pilar à tração

β	1	Ft, wc, Rd [kN]	1507.353
ω	0.874		

Sumário Resistência do t-stub para Linha 1 tracionada

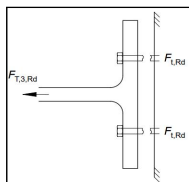
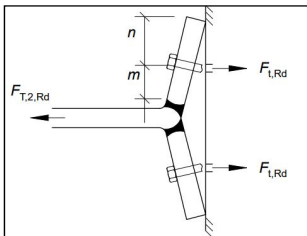
Banzo do pilar à flexão	1176.480
-------------------------	----------

Chapa de extremidade à flexão	864.231
-------------------------------	---------

Alma da viga à tração	1258.153
-----------------------	----------

Alma do pilar à tração	1507.353
------------------------	----------

Logo, Ft1, Rd final [kN] **864.231**



Modo 3

Modo 2

Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 2

2. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade longe dos banzos da viga (segunda linha isolada)

Com troços circulares

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	347.4601	Leff, cp [mm]	238.133

Sem troços circulares

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	321.200	Leff, nc [mm]	256.600

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl1 [N*mm]	11081400	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		801.548	1006.416

Sem forças de alavanca
 FT1, Rd [kN] Não aplicável

Banzo pilar à flexão

Mpl1 [N*mm]	32862316	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca
 FT1, Rd [kN] 1734.159

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl2 [N*mm]	11081400	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	1176.480	FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		831.722	Não aplicável

Banzo pilar à flexão

Mpl2 [N*mm]	35410800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	1734.159

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
Nr. Estudante:	1191232		
Data:	-		

Modo 3 - Rotura dos parafusos	
FT3, Rd [kN]	1176.480

Resistência das Chapa / Banzo à flexão	
Banzo do pilar	
FT2, tf, Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd} 1176.480

Chapa de extremidade	
FT2, tp, Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd} 801.548

Alma da viga à tração	
Ft, wb, Rd [kN]	1163.065

Alma do pilar à tração	
ω 0.874	Ft, wc, Rd [kN] 1507.353

Sumário Resistência do t-stub para Linha 2 (isolada) tracionada	
Banzo do pilar à flexão	1176.480
Chapa de extremidade à flexão	801.548
Alma da viga à tração	1163.065
Alma do pilar à tração	1507.353

Logo, Ft2, Rd [kN]	
	801.548

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linhas 1 & 2	
2. Linhas de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (Linha 1 & Linha 2)	

Com troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	587.4601	Leff, cp [mm]	478.133

Sem troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	499.823	Leff, nc [mm]	376.600

P [mm]	
	120

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa	
Chapa de extremidade à flexão	
Mpl1 [N*mm]	17243879
Método 1	Método 2
FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
1247.297	1566.094

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	Não aplicável

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
Nr. Estudante:	1191232		
Data:	-		

Banzo pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	51970800	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	2742.522

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl2 [N*mm]	17243879	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		1584.377	Não aplicável

Banzo pilar à flexão	
Mpl2 [N*mm]	51970800
Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
Não aplicável	2742.522

Modo 3 - Rotura dos parafusos	
FT3, Rd [kN]	2352.960

Resistência das Chapa / Banzo à flexão	
Banzo do pilar	
FT1-2,tf,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd} 2352.960

Chapa de extremidade	
FT1-2,tp,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd} 1247.297

Alma da viga à tração	
Ft, wb, Rd [kN]	1809.858

Alma do pilar à tração	
ω 0.750	Ft, wc, Rd [kN] 2047.703

Sumário Resistência do t-stub para as Linhas 1 & 2 combinadas	
Banzo do pilar à flexão	2352.960
Chapa de extremidade à flexão	1247.297
Alma da viga à tração	1809.858
Alma do pilar à tração	2047.703

Logo, Ft 1-2, Rd [kN]	
	1247.297

Valor de Ft2, Rd Linha 1 & linha 2 combinadas	
Ft 1-2, Rd - Ft1, Rd [kN]	383.066

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
		Nr. Estudante:	1191232
		Data:	-
Sumário Resistência final do t-stub para Linha 2			
Banzo do pilar à flexão	1176.480	Logo, Ft2, Rd, final [kN]	383.066
Chapa de extremidade à flexão	801.548		
Alma da viga à tração	1163.065	Modo de rotura final chapa de extremidade	Modo 1
Alma do pilar à tração	1507.353		
Ft 1-2, Rd - Ft1, Rd [kN]	383.066	Modo de rotura final banzo de pilar	Modo 3
Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 3			
2. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade longe dos banzos da viga (terceira linha isolada)			
Com troços circulares		Sem troços circulares	
Chapa de extremidade	Banzo pilar	Chapa de extremidade	Banzo pilar
Leff, cp [mm]	347.4601	Leff, nc [mm]	321.200
		Leff, nc [mm]	256.600
Sumário Resistência do t-stub para Linha 3 (isolada) tracionada			
Banzo do pilar à flexão	1176.480	Logo, Ft3, Rd [kN]	801.548
Chapa de extremidade à flexão	801.548	Modo de rotura chapa de extremidade	Modo 2
Alma da viga à tração	1163.065		
Alma do pilar à tração	1507.353	Modo de rotura banzo de pilar	Modo 3
Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linhas 1, 2 & 3			
2. Linhas de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (Linha 1, Linha 2 & Linha 3)			
Com troços circulares		Sem troços circulares	
Chapa de extremidade	Banzo pilar	Chapa de extremidade	Banzo pilar
Leff, cp [mm]	827.4601	Leff, nc [mm]	619.823
		Leff, nc [mm]	496.600

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
		Nr. Estudante:	1191232
		Data:	-
Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	21383879	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		1546.754	1942.090
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	Não aplicável
Banzo pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	68530800	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	3616.401
Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl2 [N*mm]	21383879	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		2304.523	Não aplicável
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	3529.440		
Banzo pilar à flexão			
Mpl2 [N*mm]	68530800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	3616.401
Modo 3 - Rotura dos parafusos			
FT3, Rd [kN]	3529.440		
Resistência das Chapa / Banzo à flexão			
Banzo do pilar			
FT1-2-3,tf,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd}	3529.440	Modo 3
Chapa de extremidade			
FT1-2-3,tp,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd}	1546.754	Modo 1
Alma da viga à tração			
Ft, wb, Rd [kN]	2244.378		
Alma do pilar à tração			
ω	0.653	Ft, wc, Rd [kN]	2700.184

<h1 style="background-color: #800000; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Sumário Resistência do t-stub para as Linhas 1, 2& 3 combinadas

Banzo do pilar à flexão	3529.440	
Chapa de extremidade à flexão	1546.754	
Logo, Ft 1-2-3, Rd [kN]	1546.754	
Alma da viga à tração	2244.378	
Alma do pilar à tração	2700.184	

Sumário Resistência final do t-stub para Linha 3

Ft 1-2-3, Rd - Ft2, Rd [kN]	1163.688	Modo de rotura final	Modo 1
Ft 1-2-3, Rd - Ft1, Rd - Ft2, Rd [kN]	299.458	Modo de rotura final	Modo 3
Logo, Ft 1-2-3, Rd final [kN]	299.458	Modo de rotura final	Modo 3

Sumário Modos de Rotura do t-stub para as Linhas Tracionadas S/ modificações

Linha 1	Modo 2	Ft1, Rd	864.231
Linha 2	Modo 1	Ft2, Rd	383.066
Linha 3	Modo 1	Ft3, Rd	299.458

Limite da distribuição plástica

Ft1, Rd [kN]	864.231	≤	1.9 * Ft, Rd [kN]	1117.656
OK				
tp [mm]	20	≤	(d/1.9) * vfub/fyp	28.8526
OK				
tfc [mm]	40	≤	(d/1.9) * vfub/fyp	28.8526
N/A				

Pode ocorrer distribuição plástica

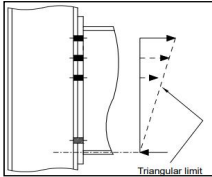
$$F_{t_x, Rd} \leq 1.9 F_{t, Rd}$$

or

$$t_p \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_{yp}}}$$

or

$$t_{fc} \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_{yc}}}$$



Triangular limit

$F_{t_x, Rd}$ is the effective design tension resistance of one of the previous (higher) bolt rows x
 $F_{t, Rd}$ is the design tension resistance of an individual bolt

<h1 style="background-color: #800000; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Sem Limite triangular

Linha 1	
(Ft 1, Rd)*hr/hx	864.231
Linha 2	
(Ft 2, Rd)*hr/hx	383.066
Linha 3	
(Ft 3, Rd)*hr/hx	299.458

Potencial capacidade à tração

Sigma Ft, Rd [Kn]	1546.754
-------------------	----------

Alma do pilar à compressão transversal

Compressão transversal da alma do pilar

beff [mm]	395	Fc,wc,Rd [kN]	2102.285
Kwc	1		
ω	0.735		

Encurvadura da alma do pilar

λ	0.578	Fc,wc,Rd [kN]	2102.285
ρ	1		

Alma do pilar à compressão transversal

Compressão transversal da alma do pilar

Fc,wc,Rd, final [kN]	2102.285
----------------------	----------

Banzo e alma da viga à compressão

M, Rd, b	778.870	Fc,fb, Rd [kN]	1609.236
----------	---------	----------------	----------

Potencial capacidade à compressão

Fc, Rd, min [kN]	1609.236
------------------	----------

Painel de alma do pilar solicitado ao corte

Vwp, Rd [kN]	1468.557
--------------	----------

Valores de resistência à tração e compressão da junta

Sigma Ft, Rd [kN]	1546.754	Reduzir Sigma Ft, Rd devido ao	78.197
Fc, Rd [kN]	1609.236	cutte no painel de alma máximo	
Vwp, Rd [kN]	1468.557		

Valores finais de Ft, Rd por linha e Modos de Rotura

Linha 1	Modo 2	Ft1, Rd	864.231
Linha 2	Modo 1	Ft2, Rd	383.066
Linha 3	Modo 1	Ft3, Rd	221.261

$F_{t_x, Rd} \leq F_{t_x, Rd} \frac{h_r}{h_x}$

h_x is the distance of bolt row x (the bolt row furthest from the centre of compression that has a design tension resistance greater than 1.9 $F_{t, Rd}$)
 h_r is the distance of the bolt row r from the centre of compression

Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Momento resistente, Mj, Rd [kNm]	
Mj, Rd [kNm] linha 1	364.705
Mj, Rd [kNm] linha 2	115.686
Mj, Rd [kNm] linha 3	40.269
Mj, Rd final [kNm]	
	520.661

Classificação da Junta segundo a resistência
Junta de resistência parcial

M Rd, b [kNm]
778.870

Classificação da Junta segundo a rigidez
Coeficientes de Rigidez (<i>k_i</i>) dos componentes básicos

Painel de alma do pilar solicitado ao corte (k1)	
k1 [mm]	11.621

Alma do pilar comprimida (k2)	
k2 [mm]	22.247

Alma do pilar tracionada (k3)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k3.1 [mm]	13.412	k3.2 [mm]	13.412	k3.3 [mm]	13.412

Banzo do pilar solicitado à flexão (k4)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k4.1 [mm]	251.956	k4.2 [mm]	251.956	k4.3 [mm]	251.9556

Chapa de extremidade solicitado à flexão (k5)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k5.1 [mm]	14.793	k5.2 [mm]	13.675	k5.3 [mm]	13.675

Parafusos tracionados (k10)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k10.1 [mm]	15.069	k10.2 [mm]	15.069	k10.3 [mm]	15.069

Coeficientes de Rigidez efetivos (keff,r) por linhas					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
keff 1 [mm]	4.706	keff 2 [mm]	4.587	keff 3 [mm]	4.587

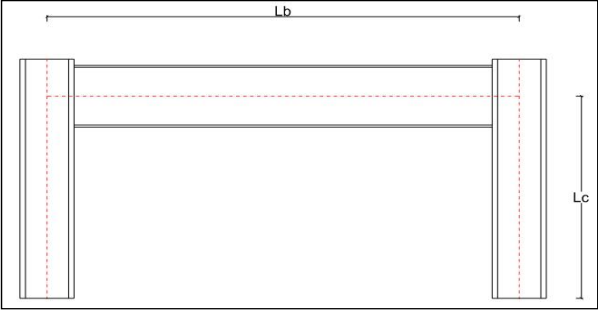
Ze _q [mm]	Coeficiente de Rigidez equivalente linhas 1,2 & 3
334.844	keq [mm] 12.561

Rigidez de Rotação inicial (Sj, ini)		
μ	1.000	Sj, ini [MNm/rad] 111.794

Sumário coeficientes de rigidez		
k1 [mm]	k2 [mm]	keq [mm]
11.621	22.247	12.561

Classificação da Junta segundo a rigidez rotacional
Junta semi-rígida

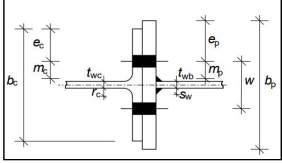
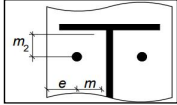
<h1 style="margin: 0;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-



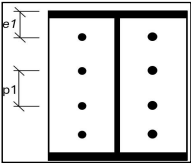
Lb [mm]	5000	ly, b [mm^4]	481900000	Wpl,y, b [mm^3]	2194000
Lc [mm]	3000	ly, c [mm^4]	848600000	Wpl,y, c [mm^3]	4989000
M, Rd, pl, b [kNm]		778.870	Altura viga [mm]		500

Peça em T equivalente (t-stub)

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
bp [mm]	300	bc [mm]	308
w [mm]	140	w [mm]	140
twb [mm]	10.2	twc [mm]	21
sw [mm]	12	r [mm]	27
mp [mm]	55.3	mc [mm]	37.9
ep [mm]	80	ec [mm]	84
tp [mm]	50	tfc [mm]	40
m2 [mm]	42.8	Avc [mm^2]	10240
tfb [mm]	16	dwc [mm]	261

e1 [mm]	70	Parafuso M20 Gr.10.9
p1 [mm]	120	



<h1 style="margin: 0;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 1
 1. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (primeira linha isolada)

Com troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	347.460	Leff, cp [mm]	238.133

Sem troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	379.823	Leff, nc [mm]	256.600

"α" chapa de extremidade			
λ1	0.409	α	6.868
λ2	0.316		

Verificação forças de alavanca

Comprimento dos Parafusos Lb [mm]	105.250	
--------------------------------------	---------	--

Chapa de extremidade Lb* [mm]	15.359	Sem Forças de alavanca
----------------------------------	--------	------------------------

Banzo pilar Lb* [mm]	15.403	Sem Forças de alavanca
-------------------------	--------	------------------------

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	74921094	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

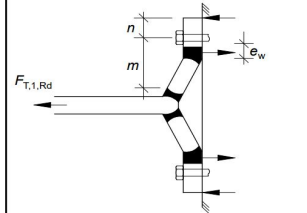
dw [mm]	33.530	Sem forças de alavanca
ew [mm]	8.383	
n, tp [mm]	69.125	

FT1, Rd [kN]	2709.624
--------------	----------

Banzo do pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	32862316	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

n, tf [mm]	47.375	Sem forças de alavanca

FT1, Rd [kN]	1734.159
--------------	----------

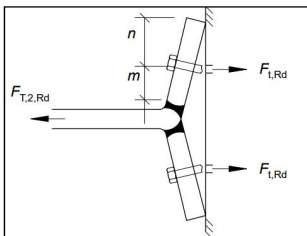


Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl2 [N*mm]	81899241	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	352.800	FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	2709.624

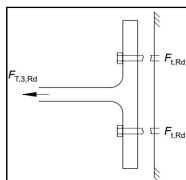


Banzo pilar à flexão

Mpl2 [N*mm]	35410800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	1734.159

Modo 3 - Rotura dos parafusos

FT3, Rd [kN]	352.800
--------------	---------



Resistência das Chapa / Banzo à flexão

Banzo do pilar

FT1, tf, Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd}	352.800
------------------	-----------------------------------	---------

Modo 3

Chapa de extremidade

FT1,tp,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd}	352.800
----------------	-----------------------------------	---------

Modo 3

Alma da viga à tração

Ft, wb, Rd [kN]	1258.153
-----------------	----------

Alma do pilar à tração

β	1	Ft, wc, Rd [kN]	1507.353
ω	0.874		

Sumário Resistência do t-stub para Linha 1 tracionada

Banzo do pilar à flexão	352.800
-------------------------	---------

Chapa de extremidade à flexão	352.800
-------------------------------	---------

Logo, Ft1, Rd final [kN] **352.800**

Alma da viga à tração	1258.153
-----------------------	----------

Alma do pilar à tração	1507.353
------------------------	----------

Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Comprimento efetivo (l_{eff}) do t-stub Linha 2

2. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade longe dos banzos da viga (segunda linha isolada)

Com troços circulares

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	347.4601	Leff, cp [mm]	238.133

Sem troços circulares

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	321.200	Leff, nc [mm]	256.600

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl1 [N*mm]	69258750	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	2504.837

Banzo pilar à flexão

Mpl1 [N*mm]	32862316	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	1734.159

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl2 [N*mm]	69258750	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	352.800	FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	2504.837

Banzo pilar à flexão

Mpl2 [N*mm]	35410800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	1734.159

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
Nr. Estudante:	1191232		
Data:	-		

Modo 3 - Rotura dos parafusos	
FT3, Rd [kN]	352.800

Resistência das Chapa / Banzo à flexão	
Banzo do pilar	
FT2, tf, Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd} 352.800 Modo 3

Chapa de extremidade	
FT2, tp, Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd} 352.800 Modo 3

Alma da viga à tração	
Ft, wb, Rd [kN]	1163.065

Alma do pilar à tração	
ω 0.874	Ft, wc, Rd [kN] 1507.353

Sumário Resistência do t-stub para Linha 2 (isolada) tracionada	
Banzo do pilar à flexão	352.800
Chapa de extremidade à flexão	352.800
Alma da viga à tração	1163.065
Alma do pilar à tração	1507.353
Logo, Ft2, Rd [kN]	352.800

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linhas 1 & 2	
2. Linhas de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (Linha 1 & Linha 2)	

Com troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	587.4601	Leff, cp [mm]	478.133

Sem troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	499.823	Leff, nc [mm]	376.600

P [mm]	
	120

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa	
Chapa de extremidade à flexão	
Mpl1 [N*mm]	1.08E+08
Método 1	Método 2
FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
Não aplicável	Não aplicável
Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	3897.803

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
Nr. Estudante:	1191232		
Data:	-		

Banzo pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	51970800	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	2742.522

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl2 [N*mm]	1.08E+08	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	3897.803
Ft, Rd (4 parafusos) [kN]	705.600		

Banzo pilar à flexão			
Mpl2 [N*mm]	51970800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	2742.522

Modo 3 - Rotura dos parafusos	
FT3, Rd [kN]	705.600

Resistência das Chapa / Banzo à flexão	
Banzo do pilar	
FT1-2,tf,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd} 705.600 Modo 3

Chapa de extremidade	
FT1-2,tp,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd} 705.600 Modo 3

Alma da viga à tração	
Ft, wb, Rd [kN]	1809.858

Alma do pilar à tração	
ω 0.750	Ft, wc, Rd [kN] 2047.703

Sumário Resistência do t-stub para as Linhas 1 & 2 combinadas	
Banzo do pilar à flexão	705.600
Chapa de extremidade à flexão	705.600
Alma da viga à tração	1809.858
Alma do pilar à tração	2047.703
Logo, Ft 1-2, Rd [kN]	705.600

Valor de Ft2, Rd Linha 1 & linha 2 combinadas	
Ft 1-2, Rd - Ft1, Rd [kN]	352.800

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
		Nr. Estudante:	1191232
		Data:	-
Sumário Resistência final do t-stub para Linha 2			
Banzo do pilar à flexão	352.800	Logo, Ft2, Rd, final [kN]	352.800
Chapa de extremidade à flexão	352.800		
Alma da viga à tração	1163.065	Modo de rotura final chapa de extremidade	Modo 3
Alma do pilar à tração	1507.353		
Ft 1-2, Rd - Ft1, Rd [kN]	352.800	Modo de rotura final banzo de pilar	Modo 3
Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 3			
2. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade longe dos banzos da viga (terceira linha isolada)			
Com troços circulares		Sem troços circulares	
Chapa de extremidade	Banzo pilar	Chapa de extremidade	Banzo pilar
Leff, cp [mm]	347.4601	Leff, nc [mm]	321.200
		Leff, nc [mm]	256.600
Sumário Resistência do t-stub para Linha 3 (isolada) tracionada			
Banzo do pilar à flexão	352.800	Logo, Ft3, Rd [kN]	352.800
Chapa de extremidade à flexão	352.800	Modo de rotura chapa de extremidade	Modo 3
Alma da viga à tração	1163.065		
Alma do pilar à tração	1507.353	Modo de rotura banzo de pilar	Modo 3
Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linhas 1, 2 & 3			
2. Linhas de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (Linha 1, Linha 2 & Linha 3)			
Com troços circulares		Sem troços circulares	
Chapa de extremidade	Banzo pilar	Chapa de extremidade	Banzo pilar
Leff, cp [mm]	827.4601	Leff, nc [mm]	619.823
		Leff, nc [mm]	496.600

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
		Nr. Estudante:	1191232
		Data:	-
Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	1.34E+08	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	4833.607
Banzo pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	68530800	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	3616.401
Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl2 [N*mm]	1.34E+08	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	4833.607
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	1058.400		
Banzo pilar à flexão			
Mpl2 [N*mm]	68530800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	3616.401
Modo 3 - Rotura dos parafusos			
FT3, Rd [kN]	1058.400		
Resistência das Chapa / Banzo à flexão			
Banzo do pilar			
FT1-2-3,tf,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd}	1058.400	Modo 3
Chapa de extremidade			
FT1-2-3,tp,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd}	1058.400	Modo 3
Alma da viga à tração			
Ft, wb, Rd [kN]	2244.378		
Alma do pilar à tração			
ω	0.653	Ft, wc, Rd [kN]	2700.184

<h1 style="background-color: #800000; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Sumário Resistência do t-stub para as Linhas 1, 2& 3 combinadas

Banzo do pilar à flexão	1058.400	
Chapa de extremidade à flexão	1058.400	
Logo, Ft 1-2-3, Rd [kN]	1058.400	
Alma da viga à tração	2244.378	
Alma do pilar à tração	2700.184	

Sumário Resistência final do t-stub para Linha 3

Ft 1-2-3, Rd - Ft2, Rd [kN]	705.600	Modo de rotura final	Modo 3
Ft 1-2-3, Rd - Ft1, Rd - Ft2, Rd [kN]	352.800	Modo de rotura final	Modo 3
Logo, Ft 1-2-3, Rd final [kN]	352.800	Modo de rotura final	Modo 3

Sumário Modos de Rotura do t-stub para as Linhas Tracionadas S/ modificações

Linha 1	Modo 3		Ft1, Rd	352.800
Linha 2	Modo 3		Ft2, Rd	352.800
Linha 3	Modo 3		Ft3, Rd	352.800

Limite da distribuição plástica

Ft1, Rd [kN]	352.800	≤	1.9*Ft, Rd [kN]	335.160
			N/A	
tp [mm]	50	≤	(d/1.9)*vfub/fyp	16.0292
			N/A	
tfc [mm]	40	≤	(d/1.9)*vfub/fyp	16.0292
			N/A	

Sem distribuição plástica, assumir regime elástico

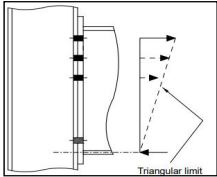
$$F_{t1,Rd} \leq 1.9 F_{t,Rd}$$

or

$$t_p \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_{yp}}}$$

or

$$t_{fc} \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_{yc}}}$$



Triangular limit

$F_{t1,Rd}$ is the effective design tension resistance of one of the previous (higher) bolt rows x
 $F_{t,Rd}$ is the design tension resistance of an individual bolt

<h1 style="background-color: #800000; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Limite triangular (regime elástico)

Linha 1	
(Ft 1, Rd)*hr/hx	352.800
Linha 2	
(Ft 2, Rd)*hr/hx	252.478
Linha 3	
(Ft 3, Rd)*hr/hx	152.155

Potencial capacidade à tração

Sigma Ft, Rd [Kn]	757.433
-------------------	---------

Alma do pilar à compressão transversal

Compressão transversal da alma do pilar

beff [mm]	425		Fc,wc,Rd [kN]	2184.078
Kwc	1			
ω	0.709			

Encurvadura da alma do pilar

λ	0.599		Fc,wc,Rd [kN]	2184.078
ρ	1			

Alma do pilar à compressão transversal

Compressão transversal da alma do pilar

Fc,wc,Rd, final [kN]	2184.078
----------------------	----------

Banzo e alma da viga à compressão

M, Rd, b	778.870		Fc,fb, Rd [kN]	1609.236
----------	---------	--	----------------	----------

Potencial capacidade à compressão

Fc, Rd, min [kN]	1609.236
------------------	----------

Painel de alma do pilar solicitado ao corte

Vwp, Rd [kN]	1468.557
--------------	----------

Valores de resistência à tração e compressão da junta

Sigma Ft, Rd [kN]	757.433			
Fc, Rd [kN]	1609.236		Sem reduções necessárias	0.000
Vwp, Rd [kN]	1468.557			

Valores finais de Ft, Rd por linha e Modos de Rotura

Linha 1	Modo 3		Ft1, Rd	352.800
Linha 2	Modo 3		Ft2, Rd	252.478
Linha 3	Modo 3		Ft3, Rd	152.155

$$F_{t1,Rd} \leq F_{t1,Rd} \frac{h_r}{h_x}$$

h_x is the distance of bolt row x (the bolt row furthest from the centre of compression that has a design tension resistance greater than 1.9 $F_{t,Rd}$)
 h_r is the distance of the bolt row r from the centre of compression

Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Momento resistente, Mj, Rd [kNm]	
Mj, Rd [kNm] linha 1	148.882
Mj, Rd [kNm] linha 2	76.248
Mj, Rd [kNm] linha 3	27.692
Mj, Rd final [kNm]	
	252.822

Classificação da Junta segundo a resistência
Junta de resistência parcial

M Rd, b [kNm]
778.870

Classificação da Junta segundo a rigidez
Coeficientes de Rigidez (<i>ki</i>) dos componentes básicos

Painel de alma do pilar solicitado ao corte (k1)	
k1 [mm]	11.656

Alma do pilar comprimida (k2)	
k2 [mm]	23.937

Alma do pilar tracionada (k3)				
Linha 1		Linha 2		Linha 3
k3.1 [mm]	13.412	k3.2 [mm]	13.412	k3.3 [mm]
				13.412

Banzo do pilar solicitado à flexão (k4)				
Linha 1		Linha 2		Linha 3
k4.1 [mm]	251.956	k4.2 [mm]	251.956	k4.3 [mm]
				251.9556

Chapa de extremidade solicitado à flexão (k5)				
Linha 1		Linha 2		Linha 3
k5.1 [mm]	231.144	k5.2 [mm]	213.674	k5.3 [mm]
				213.674

Parafusos tracionados (k10)				
Linha 1		Linha 2		Linha 3
k10.1 [mm]	3.724	k10.2 [mm]	3.724	k10.3 [mm]
				3.724

Coeficientes de Rigidez efetivos (keff,r) por linhas				
Linha 1		Linha 2		Linha 3
keff 1 [mm]	2.846	keff 2 [mm]	2.843	keff 3 [mm]
				2.843

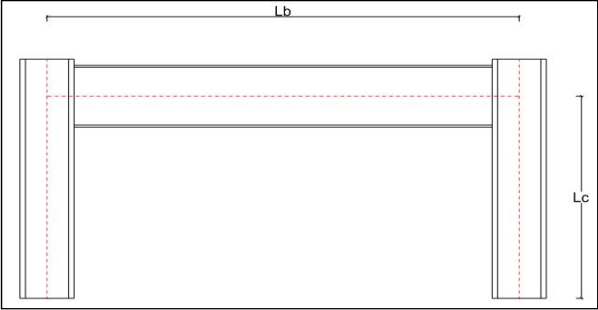
Ze _q [mm]	Coeficiente de Rigidez equivalente linhas 1,2 & 3
333.829	keq [mm] 7.720

Rigidez de Rotação inicial (Sj, ini)		
μ	1.000	Sj, ini [MNm/rad] 91.027

Sumário coeficientes de rigidez		
k1 [mm]	k2 [mm]	keq [mm]
11.656	23.937	7.720

Classificação da Junta segundo a rigidez rotacional
Junta semi-rígida

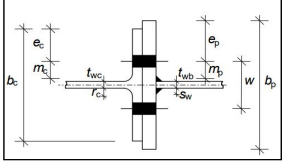
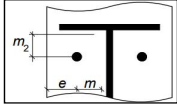
<h1 style="margin: 0;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-



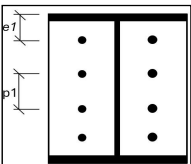
Lb [mm]	5000	ly, b [mm^4]	481900000	Wpl,y, b [mm^3]	2194000
Lc [mm]	3000	ly, c [mm^4]	848600000	Wpl,y, c [mm^3]	4989000
M, Rd, pl, b [kNm]		778.870	Altura viga [mm]		500

Peça em T equivalente (t-stub)

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
bp [mm]	300	bc [mm]	308
w [mm]	140	w [mm]	140
twb [mm]	10.2	twc [mm]	21
sw [mm]	12	r [mm]	27
mp [mm]	55.3	mc [mm]	37.9
ep [mm]	80	ec [mm]	84
tp [mm]	50	tfc [mm]	40
m2 [mm]	42.8	Avc [mm^2]	10240
tfb [mm]	16	dwc [mm]	261

e1 [mm]	70	Parafuso M36 Gr.10.9
p1 [mm]	120	



<h1 style="margin: 0;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 1

1. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (primeira linha isolada)

Com troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	347.460	Leff, cp [mm]	238.133

Sem troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	379.823	Leff, nc [mm]	256.600

"α" chapa de extremidade			
λ1	0.409	α	6.868
λ2	0.316		

Verificação forças de alavanca

Comprimento dos Parafusos		
Lb [mm]		116.750

Chapa de extremidade		Sem Forças de alavanca
Lb* [mm]		15.359

Banzo pilar		Sem Forças de alavanca
Lb* [mm]		15.403

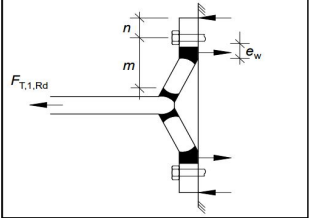
Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	74921094	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

dw [mm]	60.790	Sem forças de alavanca	
ew [mm]	15.198	FT1, Rd [kN] 2709.624	
n, tp [mm]	69.125		

Banzo do pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	32862316	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

n, tf [mm]	47.375	Sem forças de alavanca	
		FT1, Rd [kN] 1734.159	

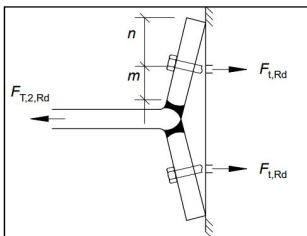


Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl2 [N*mm]	81899241	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	1176.480	FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	2709.624

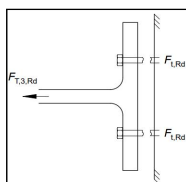


Banzo pilar à flexão

Mpl2 [N*mm]	35410800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	1734.159

Modo 3 - Rotura dos parafusos

FT3, Rd [kN]	1176.480
--------------	----------



Resistência das Chapa / Banzo à flexão

Banzo do pilar

FT1, tf, Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd}	1176.480
------------------	-----------------------------------	----------

Modo 3

Chapa de extremidade

FT1,tp,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd}	1176.480
----------------	-----------------------------------	----------

Modo 3

Alma da viga à tração

Ft, wb, Rd [kN]	1258.153
-----------------	----------

Alma do pilar à tração

β	1	Ft, wc, Rd [kN]	1507.353
ω	0.874		

Sumário Resistência do t-stub para Linha 1 tracionada

Banzo do pilar à flexão	1176.480
-------------------------	----------

Chapa de extremidade à flexão	1176.480
-------------------------------	----------

Logo, Ft1, Rd final [kN] **1176.480**

Alma da viga à tração	1258.153
-----------------------	----------

Alma do pilar à tração	1507.353
------------------------	----------

Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Comprimento efetivo (l_{eff}) do t-stub Linha 2

2. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade longe dos banzos da viga (segunda linha isolada)

Com troços circulares

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	347.4601	Leff, cp [mm]	238.133

Sem troços circulares

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	321.200	Leff, nc [mm]	256.600

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl1 [N*mm]	69258750	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	2504.837

Banzo pilar à flexão

Mpl1 [N*mm]	32862316	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	1734.159

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl2 [N*mm]	69258750	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	1176.480	FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	2504.837

Banzo pilar à flexão

Mpl2 [N*mm]	35410800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	1734.159

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
Nr. Estudante:	1191232		
Data:	-		

Modo 3 - Rotura dos parafusos	
FT3, Rd [kN]	1176.480

Resistência das Chapa / Banzo à flexão	
Banzo do pilar	
FT2, tf, Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd} 1176.480

Chapa de extremidade	
FT2, tp, Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd} 1176.480

Alma da viga à tração	
Ft, wb, Rd [kN]	1163.065

Alma do pilar à tração	
ω 0.874	Ft, wc, Rd [kN] 1507.353

Sumário Resistência do t-stub para Linha 2 (isolada) tracionada	
Banzo do pilar à flexão	1176.480
Chapa de extremidade à flexão	1176.480
Alma da viga à tração	1163.065
Alma do pilar à tração	1507.353

Logo, Ft2, Rd [kN]	
	1163.065

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linhas 1 & 2	
2. Linhas de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (Linha 1 & Linha 2)	

Com troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	587.4601	Leff, cp [mm]	478.133

Sem troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	499.823	Leff, nc [mm]	376.600

P [mm]	
	120

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	1.08E+08	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	3897.803

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
Nr. Estudante:	1191232		
Data:	-		

Banzo pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	51970800	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	2742.522

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl2 [N*mm]	1.08E+08	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	3897.803

Banzo pilar à flexão	
Mpl2 [N*mm]	51970800

Com forças de alavanca	
FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
Não aplicável	2742.522

Modo 3 - Rotura dos parafusos	
FT3, Rd [kN]	2352.960

Resistência das Chapa / Banzo à flexão	
Banzo do pilar	
FT1-2,tf,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd} 2352.960

Chapa de extremidade	
FT1-2,tp,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd} 2352.960

Alma da viga à tração	
Ft, wb, Rd [kN]	1809.858

Alma do pilar à tração	
ω 0.750	Ft, wc, Rd [kN] 2047.703

Sumário Resistência do t-stub para as Linhas 1 & 2 combinadas	
Banzo do pilar à flexão	2352.960
Chapa de extremidade à flexão	2352.960
Alma da viga à tração	1809.858
Alma do pilar à tração	2047.703

Logo, Ft 1-2, Rd [kN]	
	1809.858

Valor de Ft2, Rd Linha 1 & linha 2 combinadas	
Ft 1-2, Rd - Ft1, Rd [kN]	633.378

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
		Nr. Estudante:	1191232
		Data:	-
Sumário Resistência final do t-stub para Linha 2			
Banzo do pilar à flexão	1176.480	Logo, Ft2, Rd, final [kN]	633.378
Chapa de extremidade à flexão	1176.480		
Alma da viga à tração	1163.065	Modo de rotura final chapa de extremidade	Modo 3
Alma do pilar à tração	1507.353		
Ft 1-2, Rd - Ft1, Rd [kN]	633.378	Modo de rotura final banzo de pilar	Modo 3
Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 3			
2. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade longe dos banzos da viga (terceira linha isolada)			
Com troços circulares		Sem troços circulares	
Chapa de extremidade	Banzo pilar	Chapa de extremidade	Banzo pilar
Leff, cp [mm]	347.4601	Leff, nc [mm]	321.200
		Leff, nc [mm]	256.600
Sumário Resistência do t-stub para Linha 3 (isolada) tracionada			
Banzo do pilar à flexão	1176.480	Logo, Ft3, Rd [kN]	1163.065
Chapa de extremidade à flexão	1176.480	Modo de rotura chapa de extremidade	Modo 3
Alma da viga à tração	1163.065		
Alma do pilar à tração	1507.353	Modo de rotura banzo de pilar	Modo 3
Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linhas 1, 2 & 3			
2. Linhas de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (Linha 1, Linha 2 & Linha 3)			
Com troços circulares		Sem troços circulares	
Chapa de extremidade	Banzo pilar	Chapa de extremidade	Banzo pilar
Leff, cp [mm]	827.4601	Leff, nc [mm]	619.823
		Leff, nc [mm]	496.600

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
		Nr. Estudante:	1191232
		Data:	-
Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	1.34E+08	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	4833.607
Banzo pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	68530800	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	3616.401
Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl2 [N*mm]	1.34E+08	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	4833.607
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	3529.440		
Banzo pilar à flexão			
Mpl2 [N*mm]	68530800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	3616.401
Modo 3 - Rotura dos parafusos			
FT3, Rd [kN]	3529.440		
Resistência das Chapa / Banzo à flexão			
Banzo do pilar			
FT1-2-3,tf,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd}	3529.440	Modo 3
Chapa de extremidade			
FT1-2-3,tp,Rd [kN]	min {FT1, Rd ; FT2, Rd ; FT3, Rd}	3529.440	Modo 3
Alma da viga à tração			
Ft, wb, Rd [kN]	2244.378		
Alma do pilar à tração			
ω	0.653	Ft, wc, Rd [kN]	2700.184

<h1 style="background-color: #800000; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Sumário Resistência do t-stub para as Linhas 1, 2& 3 combinadas

Banzo do pilar à flexão	3529.440	
Chapa de extremidade à flexão	3529.440	
Alma da viga à tração	2244.378	Logo, Ft 1-2-3, Rd [kN] 2244.378
Alma do pilar à tração	2700.184	

Sumário Resistência final do t-stub para Linha 3

Ft 1-2-3, Rd - Ft2, Rd [kN]	1611.000	Modo de rotura final chapa de extremidade Modo 3
Ft 1-2-3, Rd - Ft1, Rd - Ft2, Rd [kN]	434.520	
Logo, Ft 1-2-3, Rd final [kN]	434.520	Modo de rotura final banzo de pilar Modo 3

Sumário Modos de Rotura do t-stub para as Linhas Tracionadas S/ modificações

Linha 1	Modo 3	Ft1, Rd	1176.480
Linha 2	Modo 3	Ft2, Rd	633.378
Linha 3	Modo 3	Ft3, Rd	434.520

Limite da distribuição plástica

Ft1, Rd [kN]	1176.480	≤	1.9*Ft, Rd [kN]	1117.656
			N/A	
tp [mm]	50	≤	(d/1.9)*vfub/fyp	28.8526
			N/A	
tfc [mm]	40	≤	(d/1.9)*vfub/fyp	28.8526
			N/A	

Sem distribuição plástica, assumir regime elástico

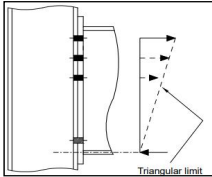
$$F_{t,x,Rd} \leq 1.9 F_{t,Rd}$$

or

$$t_{fp} \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_{yp}}}$$

or

$$t_{fc} \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_{yc}}}$$



Triangular limit

$F_{t,x,Rd}$ is the effective design tension resistance of one of the previous (higher) bolt rows x

$F_{t,Rd}$ is the design tension resistance of an individual bolt

<h1 style="background-color: #800000; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Limite triangular (regime elástico)

Linha 1	
(Ft 1, Rd)*hr/hx	1176.480
Linha 2	
(Ft 2, Rd)*hr/hx	453.270
Linha 3	
(Ft 3, Rd)*hr/hx	187.400

Potencial capacidade à tração

Sigma Ft, Rd [kN]	1817.150
-------------------	----------

Alma do pilar à compressão transversal

Compressão transversal da alma do pilar

beff [mm]	425	Fc,wc,Rd [kN]	2184.078
Kwc	1		
ω	0.709		

Encurvadura da alma do pilar

λ	0.599	Fc,wc,Rd [kN]	2184.078
ρ	1		

Alma do pilar à compressão transversal

Compressão transversal da alma do pilar

Fc,wc,Rd, final [kN]	2184.078
----------------------	----------

Banzo e alma da viga à compressão

M, Rd, b	778.870	Fc,fb, Rd [kN]	1609.236
----------	---------	----------------	----------

Potencial capacidade à compressão

Fc, Rd, min [kN]	1609.236
------------------	----------

Painel de alma do pilar solicitado ao corte

Vwp, Rd [kN]	1468.557
--------------	----------

Valores de resistência à tração e compressão da junta

Sigma Ft, Rd [kN]	1817.150	Reduzir Sigma Ft, Rd devido ao corte no painel de alma máximo	348.592
Fc, Rd [kN]	1609.236		
Vwp, Rd [kN]	1468.557		

Valores finais de Ft, Rd por linha e Modos de Rotura

Linha 1	Modo 3	Ft1, Rd	1176.480
Linha 2	Modo 3	Ft2, Rd	292.077
Linha 3	Modo 3	Ft3, Rd	0.000

$$F_{t,r,Rd} \leq F_{t,x,Rd} \frac{h_r}{h_x}$$

h_x is the distance of bolt row x (the bolt row furthest from the centre of compression that has a design tension resistance greater than 1.9 $F_{t,Rd}$)
 h_r is the distance of the bolt row r from the centre of compression

Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Momento resistente, Mj, Rd [kNm]	
Mj, Rd [kNm] linha 1	496.475
Mj, Rd [kNm] linha 2	88.207
Mj, Rd [kNm] linha 3	0.000
Mj, Rd final [kNm]	
	584.682

Classificação da Junta segundo a resistência
Junta de resistência parcial

M Rd, b [kNm]
778.870

Classificação da Junta segundo a rigidez
Coeficientes de Rigidez (<i>k_i</i>) dos componentes básicos

Painel de alma do pilar solicitado ao corte (k1)	
k1 [mm]	11.655

Alma do pilar comprimida (k2)	
k2 [mm]	23.937

Alma do pilar tracionada (k3)				
Linha 1		Linha 2		Linha 3
k3.1 [mm]	13.412	k3.2 [mm]	13.412	k3.3 [mm]
				13.412

Banzo do pilar solicitado à flexão (k4)				
Linha 1		Linha 2		Linha 3
k4.1 [mm]	251.956	k4.2 [mm]	251.956	k4.3 [mm]
				251.9556

Chapa de extremidade solicitado à flexão (k5)				
Linha 1		Linha 2		Linha 3
k5.1 [mm]	231.144	k5.2 [mm]	213.674	k5.3 [mm]
				213.674

Parafusos tracionados (k10)				
Linha 1		Linha 2		Linha 3
k10.1 [mm]	11.197	k10.2 [mm]	11.197	k10.3 [mm]
				11.197

Coeficientes de Rigidez efetivos (keff,r) por linhas				
Linha 1		Linha 2		Linha 3
keff 1 [mm]	5.808	keff 2 [mm]	5.796	keff 3 [mm]
				5.796

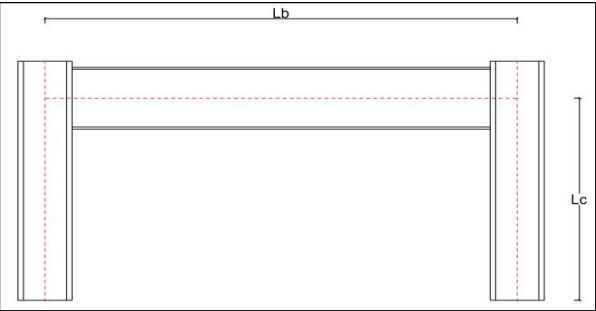
Ze _q [mm]	Coeficiente de Rigidez equivalente <i>linhas 1,2 & 3</i>
333.872	keq [mm] 15.744

Rigidez de Rotação inicial (Sj, ini)		
μ	1.000	Sj, ini [MNm/rad] 122.499

Sumário coeficientes de rigidez		
k1 [mm]	k2 [mm]	keq [mm]
11.655	23.937	15.744

Classificação da Junta segundo a rigidez rotacional
Junta semi-rígida

<h1 style="margin: 0;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-



Lb [mm]	5000	ly, b [mm^4]	481900000	Wpl,y, b [mm^3]	2194000
Lc [mm]	3000	ly, c [mm^4]	848600000	Wpl,y, c [mm^3]	4989000

M Rd, pl, b [kNm]	778.870	Altura viga reforçada na zona da junta [mm]	530
M Rd, pl, b [kNm] na zona da junta	1290.000		

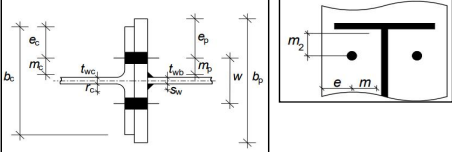
Peça em T equivalente (t-stub)

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
bp [mm]	300	bc [mm]	308
w [mm]	140	w [mm]	140
twb [mm]	10.2	twc [mm]	42
sw [mm]	12	r [mm]	27
mp [mm]	55.3	mc [mm]	37.9
ep [mm]	80	ec [mm]	84
tp [mm]	20	tfc [mm]	40
m2 [mm]	42.8	Avc [mm^2]	14881
tfb [mm]	31	dwc [mm]	261

e1 [mm]	85
---------	----

p1 [mm]	120
---------	-----

Parafuso	M20 Gr.10.9
----------	----------------



Alma do pilar reforçada

<h1 style="margin: 0;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 1

1. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (primeira linha isolada)

Com troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	347.460	Leff, cp [mm]	238.133

Sem troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	379.823	Leff, nc [mm]	256.600

"α" chapa de extremidade			
λ1	0.409	α	6.868
λ2	0.316		

Verificação forças de alavanca

Comprimento dos Parafusos Lb [mm]	75.250		
-----------------------------------	--------	--	--

Chapa de extremidade		Com Forças de alavanca
Lb* [mm]	239.985	

Banzo pilar		Sem Forças de alavanca
Lb* [mm]	15.403	

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	11987375	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		867.080	973.618

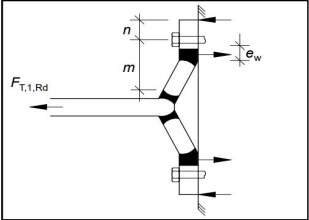
dw [mm]	33.530		
ew [mm]	8.383		
n, tp [mm]	69.125		

		Sem forças de alavanca	
		FT1, Rd [kN]	Não aplicável

Banzo do pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	32862316	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

n, tf [mm]	47.375		
------------	--------	--	--

		Sem forças de alavanca	
		FT1, Rd [kN]	1734.159

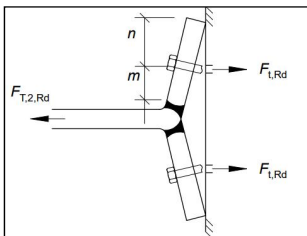


Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Modo 2 - Ruptura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl2 [N*mm]	13103879	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	352.800	FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		406.631	Não aplicável

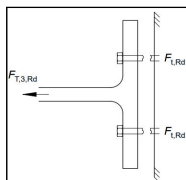


Banzo pilar à flexão

Mpl2 [N*mm]	35410800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	1734.159

Modo 3 - Ruptura dos parafusos

Ft3, rd [kN]	352.800
--------------	---------



Resistência das Chapa / Banzo à flexão

Banzo do pilar

FT1,tf,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	352.800
----------------	--------------------------------	---------

Modo 3

Chapa de extremidade

FT1,tp,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	352.800
----------------	--------------------------------	---------

Modo 3

Alma da viga à tração

Ft,wb,Rd [kN]	1258.153
---------------	----------

Alma do pilar à tração

β	1	Ft,wc,Rd [kN]	2738.837
ω	0.794		

Sumário Resistência do t-stub para Linha 1 tracionada

Banzo do pilar à flexão	352.800
Chapa de extremidade à flexão	352.800
Alma da viga à tração	1258.153
Alma do pilar à tração	2738.837

Logo, Ft1, Rd final [kN] **352.800**

Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Comprimento efetivo (l_{eff}) do t-stub Linha 2

2. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade longe dos banzos da viga (segunda linha isolada)

Com troços circulares

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	347.4601	Leff, cp [mm]	238.133

Sem troços circulares

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	321.200	Leff, nc [mm]	256.600

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl1 [N*mm]	11081400	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		801.548	900.034

Sem forças de alavanca
 FT1, Rd [kN] Não aplicável

Banzo pilar à flexão

Mpl1 [N*mm]	32862316	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca
 FT1, Rd [kN] 1734.159

Modo 2 - Ruptura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl2 [N*mm]	11081400	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	352.800	FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		374.122	Não aplicável

Banzo pilar à flexão

Mpl2 [N*mm]	35410800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	1734.159

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
Nr. Estudante:	1191232		
Data:	-		

Modo 3 - Rotura dos parafusos	
FT3, Rd [kN]	352.800

Resistência das Chapa / Banzo à flexão		
Banzo do pilar		
FT2,tf,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	352.800
		Modo 3

Chapa de extremidade		
FT2,tp,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	352.800
		Modo 3

Alma da viga à tração	
Ft,wb,Rd [kN]	1163.065

Alma do pilar à tração		
ω	0.794	Ft,wc,Rd [kN]
		2738.837

Sumário Resistência do t-stub para Linha 2 (isolada) tracionada			
Banzo do pilar à flexão		352.800	
Chapa de extremidade à flexão		352.800	
Alma da viga à tração		1163.065	
Alma do pilar à tração		2738.837	
Logo, Ft2, Rd [kN]			352.800

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linhas 1 & 2	
2. Linhas de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (Linha 1 & Linha 2)	

Com troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	587.4601	Leff, cp [mm]	478.133

Sem troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	499.823	Leff, nc [mm]	376.600

P [mm]	
	120

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	17243879	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		1247.297	1400.552

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	Não aplicável

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
Nr. Estudante:	1191232		
Data:	-		

Banzo pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	51970800	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	2742.522

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl2 [N*mm]	17243879	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		669.177	Não aplicável

Ft, Rd (4 parafusos) [kN]	
	705.600

Banzo pilar à flexão			
Mpl2 [N*mm]	51970800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	2742.522

Modo 3 - Rotura dos parafusos	
FT3, Rd [kN]	705.600

Resistência das Chapa / Banzo à flexão		
Banzo do pilar		
FT1-2,tf,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	705.600
		Modo 3

Chapa de extremidade		
FT1-2,tp,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	669.177
		Modo 2

Alma da viga à tração	
Ft,wb,Rd [kN]	1809.858

Alma do pilar à tração		
ω	0.636	Ft,wc,Rd [kN]
		3473.066

Sumário Resistência do t-stub para as Linhas 1 & 2 combinadas			
Banzo do pilar à flexão		705.600	
Chapa de extremidade à flexão		669.177	
Alma da viga à tração		1809.858	
Alma do pilar à tração		3473.066	
Logo, Ft 1-2, Rd [kN]			669.177

Valor de Ft2,Rd Linha 1 & linha 2 combinadas	
Ft 1-2,Rd - Ft1,Rd [kN]	316.377

<h1 style="background-color: red; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Sumário Resistência do t-stub para as Linhas 1, 2& 3 combinadas

Banzo do pilar à flexão	1058.400	
Chapa de extremidade à flexão	931.723	
Alma da viga à tração	2244.378	Logo, Ft 1-2-3, Rd [kN] 931.723
Alma do pilar à tração	4579.725	

Sumário Resistência final do t-stub para Linha 3

Ft 1-2-3,Rd - Ft2,Rd [kN]	615.346	Modo de rotura final chapa de extremidade Modo 2
Ft 1-2-3,Rd - Ft1,Rd - Ft2,Rd [kN]	262.546	
Logo, Ft 1-2-3, Rd final [kN]	262.546	Modo de rotura final banzo de pilar Modo 3

Sumário Modos de Rotura do t-stub para as Linhas Tracionadas S/ modificações

Linha 1	Modo 3	Ft1, Rd	352.800
Linha 2	Modo 2	Ft2, Rd	316.377
Linha 3	Modo 2	Ft3, Rd	262.546

Limite da distribuição plástica

Ft1,Rd [kN]	352.800	≤	1.9*Ft,Rd [kN]	335.160
			N/A	
tp [mm]	20	≤	(d/1.9)*vfub/fyp	16.0292
			N/A	
tfc [mm]	40	≤	(d/1.9)*vfub/fyp	16.0292
			N/A	

Sem distribuição plástica, assumir regime elástico

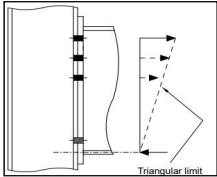
$$F_{tx,Rd} \leq 1.9 F_{t,Rd}$$

or

$$t_p \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_{tb}}{f_{yp}}}$$

or

$$t_{fc} \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_{tb}}{f_{yc}}}$$



$F_{tx,Rd}$ is the effective design tension resistance of one of the previous (higher) bolt rows x
 $F_{t,Rd}$ is the design tension resistance of an individual bolt

<h1 style="background-color: red; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Limite triangular (regime elástico)

Linha 1	
(Ft 1, Rd)*hr/hx	352.800
Linha 2	
(Ft 2, Rd)*hr/hx	227.983
Linha 3	
(Ft 3, Rd)*hr/hx	115.838

Potencial capacidade à tração

Sigma Ft, Rd [kN]	696.621
-------------------	---------

Alma do pilar à compressão transversal

Compressão transversal da alma do pilar

beff [mm]	410	Fc,wc,Rd [kN]	3588.514
Kwc	1		
ω	0.604		

Encurvadura da alma do pilar

λ	0.294	Fc,wc,Rd [kN]	3588.514
ρ	1		

Alma do pilar à compressão transversal

Compressão transversal da alma do pilar

Fc,wc,Rd, final [kN]	3588.514
----------------------	----------

Banzo e alma da viga à compressão

M Rd, b	1290.000	Fc,fb, Rd [kN]	2585.170
---------	----------	----------------	----------

Potencial capacidade à compressão

Fc, Rd, min [kN]	2585.170
------------------	----------

Painel de alma do pilar solicitado ao corte

Vwp,Rd [kN]	2134.141
-------------	----------

Valores de resistência à tração e compressão da junta

Sigma Ft, Rd [kN]	696.621		
Fc, Rd [kN]	2585.170	Sem reduções necessárias	0.000
Vwp,Rd [kN]	2134.141		

Valores finais de Ft, Rd por linha e Modos de Rotura

Linha 1	Modo 3	Ft1, Rd	352.800
Linha 2	Modo 2	Ft2, Rd	227.983
Linha 3	Modo 2	Ft3, Rd	115.838

$$F_{tr,Rd} \leq F_{tx,Rd} \frac{h_r}{h_x}$$

h_x is the distance of bolt row x (the bolt row furthest from the centre of compression that has a design tension resistance greater than $1.9 F_{t,Rd}$)
 h_r is the distance of the bolt row r from the centre of compression

Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Momento resistente, Mj, Rd [kNm]	
Mj, Rd [kNm] linha 1	151.528
Mj, Rd [kNm] linha 2	70.561
Mj, Rd [kNm] linha 3	21.951
Mj,Rd final [kNm]	244.040

Classificação da Junta segundo a resistência
Junta de resistência parcial

M Rd, b [kNm]
778.870

Classificação da Junta segundo a rigidez
Coeficientes de Rigidez (<i>ki</i>) dos componentes básicos

Painel de alma do pilar solicitado ao corte (k1)	
k1 [mm]	#####

Alma do pilar comprimida (k2)	
k2 [mm]	#####

Alma do pilar tracionada (k3)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k3.1 [mm]	26.824	k3.2 [mm]	26.824	k3.3 [mm]	26.824

Banzo do pilar solicitado à flexão (k4)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k4.1 [mm]	251.956	k4.2 [mm]	251.956	k4.3 [mm]	251.956

Chapa de extremidade solicitado à flexão (k5)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k5.1 [mm]	14.793	k5.2 [mm]	13.675	k5.3 [mm]	13.675

Parafusos tracionados (k10)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k10.1 [mm]	5.209	k10.2 [mm]	5.209	k10.3 [mm]	5.209

Coeficientes de Rigidez efetivos (keff,r) por linhas					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
keff 1 [mm]	3.324	keff 2 [mm]	3.264	keff 3 [mm]	3.264

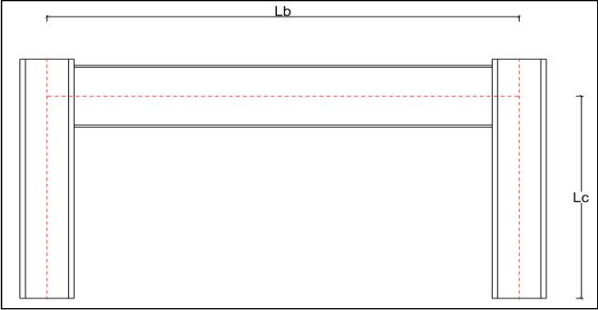
Ze _q [mm]	Coeficiente de Rigidez equivalente <i>linhas 1,2 & 3</i>
341.268	keq [mm] 8.957

Rigidez de Rotação inicial (Sj, ini)			
μ	1.000	Sj, ini [MNm/rad]	219.064

Sumário coeficientes de rigidez		
k1 [mm]	k2 [mm]	keq [mm]
#####	#####	8.957

Classificação da Junta segundo a rigidez rotacional
Junta semi-rígida

<h1 style="margin: 0;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-



Lb [mm]	5000	ly, b [mm^4]	481900000	Wpl,y, b [mm^3]	2194000
Lc [mm]	3000	ly, c [mm^4]	848600000	Wpl,y, c [mm^3]	4989000

M Rd, pl, b [kNm]	778.870	Altura viga reforçada na zona da junta [mm]	530
M Rd, pl, b [kNm] na zona da junta	1290.000		

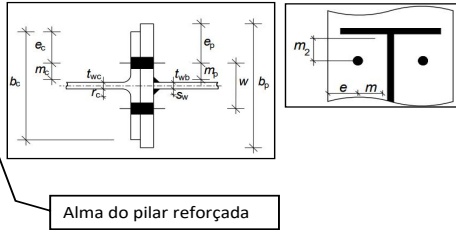
Peça em T equivalente (t-stub)

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
bp [mm]	300	bc [mm]	308
w [mm]	140	w [mm]	140
twb [mm]	10.2	twc [mm]	42
sw [mm]	12	r [mm]	27
mp [mm]	55.3	mc [mm]	37.9
ep [mm]	80	ec [mm]	84
tp [mm]	20	tfc [mm]	40
m2 [mm]	42.8	Avc [mm^2]	14881
tfb [mm]	31	dwc [mm]	261

e1 [mm]	85
---------	----

p1 [mm]	120
---------	-----

Parafuso	M36 Gr.10.9
----------	----------------



Alma do pilar reforçada

<h1 style="margin: 0;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 1

1. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (primeira linha isolada)

Com troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	347.460	Leff, cp [mm]	238.133

Sem troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	379.823	Leff, nc [mm]	256.600

"α" chapa de extremidade			
λ1	0.409	α	6.868
λ2	0.316		

Verificação forças de alavanca

Comprimento dos Parafusos Lb [mm]	86.750		
-----------------------------------	--------	--	--

Chapa de extremidade		Com Forças de alavanca
Lb* [mm]	239.985	

Banzo pilar		Sem Forças de alavanca
Lb* [mm]	15.403	

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	11987375	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		867.080	1088.697

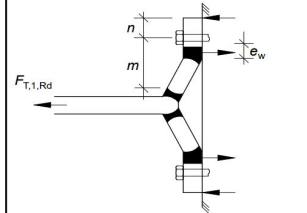
dw [mm]	60.790		
ew [mm]	15.198		
n, tp [mm]	69.125		

		Sem forças de alavanca
		FT1, Rd [kN] Não aplicável

Banzo do pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	32862316	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

n, tf [mm]	47.375		
------------	--------	--	--

		Sem forças de alavanca
		FT1, Rd [kN] 1734.159

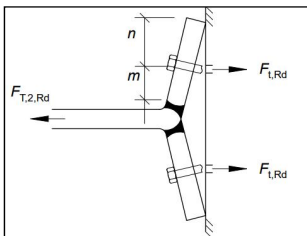


Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Modo 2 - Ruptura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl2 [N*mm]	13103879	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	1176.480	FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		864.231	Não aplicável

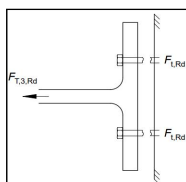


Banzo pilar à flexão

Mpl2 [N*mm]	35410800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	1734.159

Modo 3 - Ruptura dos parafusos

Ft3, rd [kN]	1176.480
--------------	----------



Resistência das Chapa / Banzo à flexão

Banzo do pilar

FT1,tf,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	1176.480
----------------	--------------------------------	----------

Modo 3

Chapa de extremidade

FT1,tp,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	864.231
----------------	--------------------------------	---------

Modo 2

Alma da viga à tração

Ft,wb,Rd [kN]	1258.153
---------------	----------

Alma do pilar à tração

β	1	Ft,wc,Rd [kN]	2738.837
ω	0.794		

Sumário Resistência do t-stub para Linha 1 tracionada

Banzo do pilar à flexão	1176.480
-------------------------	----------

Chapa de extremidade à flexão	864.231
-------------------------------	---------

Logo, Ft1, Rd final [kN] **864.231**

Alma da viga à tração	1258.153
-----------------------	----------

Alma do pilar à tração	2738.837
------------------------	----------

Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Comprimento efetivo (l_{eff}) do t-stub Linha 2

2. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade longe dos banzos da viga (segunda linha isolada)

Com troços circulares

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	347.4601	Leff, cp [mm]	238.133

Sem troços circulares

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	321.200	Leff, nc [mm]	256.600

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl1 [N*mm]	11081400	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		801.548	1006.416

Sem forças de alavanca
 FT1, Rd [kN] Não aplicável

Banzo pilar à flexão

Mpl1 [N*mm]	32862316	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca
 FT1, Rd [kN] 1734.159

Modo 2 - Ruptura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl2 [N*mm]	11081400	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	1176.480	FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		831.722	Não aplicável

Banzo pilar à flexão

Mpl2 [N*mm]	35410800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	1734.159

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
Nr. Estudante:	1191232		
Data:	-		

Modo 3 - Rotura dos parafusos		
FT3, Rd [kN]	1176.480	

Resistência das Chapa / Banzo à flexão		
Banzo do pilar		
FT2,tf,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	1176.480

Chapa de extremidade		
FT2,tp,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	801.548

Alma da viga à tração	
Ft,wb,Rd [kN]	1163.065

Alma do pilar à tração		
ω	0.794	Ft,wc,Rd [kN]
		2738.837

Sumário Resistência do t-stub para Linha 2 (isolada) tracionada		
Banzo do pilar à flexão	1176.480	
Chapa de extremidade à flexão	801.548	
Alma da viga à tração	1163.065	
Alma do pilar à tração	2738.837	

Logo, Ft ₂ , Rd [kN]	
801.548	

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linhas 1 & 2	
2. Linhas de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (Linha 1 & Linha 2)	

Com troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	587.4601	Leff, cp [mm]	478.133

Sem troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	499.823	Leff, nc [mm]	376.600

P [mm]	
120	

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	17243879	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		1247.297	1566.094

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	Não aplicável

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
Nr. Estudante:	1191232		
Data:	-		

Banzo pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	51970800	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	2742.522

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl2 [N*mm]	17243879	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		1584.377	Não aplicável

Banzo pilar à flexão			
Mpl2 [N*mm]	51970800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	2742.522

Modo 3 - Rotura dos parafusos	
FT3, Rd [kN]	2352.960

Resistência das Chapa / Banzo à flexão		
Banzo do pilar		
FT1-2,tf,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	2352.960

Chapa de extremidade		
FT1-2,tp,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	1247.297

Alma da viga à tração	
Ft,wb,Rd [kN]	1809.858

Alma do pilar à tração		
ω	0.636	Ft,wc,Rd [kN]
		3473.066

Sumário Resistência do t-stub para as Linhas 1 & 2 combinadas		
Banzo do pilar à flexão	2352.960	
Chapa de extremidade à flexão	1247.297	
Alma da viga à tração	1809.858	
Alma do pilar à tração	3473.066	

Logo, Ft ₁₋₂ , Rd [kN]	
1247.297	

Valor de Ft ₂ ,Rd Linha 1 & linha 2 combinadas	
Ft ₁₋₂ ,Rd - Ft ₁ ,Rd [kN]	383.066

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
		Nr. Estudante:	1191232
		Data:	-
Sumário Resistência final do t-stub para Linha 2			
Banzo do pilar à flexão	1176.480	Logo, Ft2, Rd, final [kN]	383.066
Chapa de extremidade à flexão	801.548		
Alma da viga à tração	1163.065	Modo de rotura final chapa de extremidade	Modo 1
Alma do pilar à tração	2738.837		
Ft 1-2,Rd - Ft1,Rd [kN]	383.066	Modo de rotura final banzo de pilar	Modo 3
Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 3			
2. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade longe dos banzos da viga (terceira linha isolada)			
Com troços circulares		Sem troços circulares	
Chapa de extremidade	Banzo pilar	Chapa de extremidade	Banzo pilar
Leff, cp [mm]	347.4601	Leff, nc [mm]	321.200
		Leff, nc [mm]	256.600
Sumário Resistência do t-stub para Linha 3 (isolada) tracionada			
Banzo do pilar à flexão	1176.480	Logo, Ft3, Rd [kN]	801.548
Chapa de extremidade à flexão	801.548	Modo de rotura chapa de extremidade	Modo 2
Alma da viga à tração	1163.065		
Alma do pilar à tração	2738.837	Modo de rotura banzo de pilar	Modo 3
Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linhas 1, 2 & 3			
2. Linhas de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (Linha 1, Linha 2 & Linha 3)			
Com troços circulares		Sem troços circulares	
Chapa de extremidade	Banzo pilar	Chapa de extremidade	Banzo pilar
Leff, cp [mm]	827.4601	Leff, nc [mm]	619.823
		Leff, nc [mm]	496.600

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
		Nr. Estudante:	1191232
		Data:	-
Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	21383879	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		1546.754	1942.090
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	Não aplicável
Banzo pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	68530800	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	3616.401
Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl2 [N*mm]	21383879	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		2304.523	Não aplicável
Ft,Rd (2 parafusos) [kN]	3529.440		
Banzo pilar à flexão			
Mpl2 [N*mm]	68530800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	3616.401
Modo 3 - Rotura dos parafusos			
FT3, Rd [kN]	3529.440		
Resistência das Chapa / Banzo à flexão			
Banzo do pilar			
FT1-2-3,tf,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	3529.440	Modo 3
Chapa de extremidade			
FT1-2-3,tp,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	1546.754	Modo 1
Alma da viga à tração			
Ft,wb,Rd [kN]	2244.378		
Alma do pilar à tração			
ω	0.530	Ft,wc,Rd [kN]	4579.725

<h1 style="background-color: #800000; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Sumário Resistência do t-stub para as Linhas 1, 2& 3 combinadas

Banzo do pilar à flexão	3529.440	
Chapa de extremidade à flexão	1546.754	
Alma da viga à tração	2244.378	Logo, Ft 1-2-3, Rd [kN] 1546.754
Alma do pilar à tração	4579.725	

Sumário Resistência final do t-stub para Linha 3

Ft 1-2-3,Rd - Ft2,Rd [kN]	1163.688	Modo de rotura final chapa de extremidade Modo 1
Ft 1-2-3,Rd - Ft1,Rd - Ft2,Rd [kN]	299.458	
Logo, Ft 1-2-3, Rd final [kN]	299.458	Modo de rotura final banzo de pilar Modo 3

Sumário Modos de Rotura do t-stub para as Linhas Tracionadas S/ modificações

Linha 1	Modo 2	Ft1, Rd	864.231
Linha 2	Modo 1	Ft2, Rd	383.066
Linha 3	Modo 1	Ft3, Rd	299.458

Limite da distribuição plástica

Ft1,Rd [kN]	864.231	≤	1.9*Ft,Rd [kN]	1117.656	OK
tp [mm]	20	≤	(d/1.9)*vfub/fyp	28.8526	OK
tfc [mm]	40	≤	(d/1.9)*vfub/fyp	28.8526	N/A

Pode ocorrer distribuição plástica

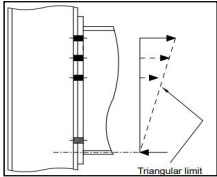
$F_{t_x,Rd} \leq 1.9 F_{t,Rd}$

or

$t_{fp} \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_{yp}}}$

or

$t_{fc} \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_{yc}}}$



Triangular limit

$F_{t_x,Rd}$ is the effective design tension resistance of one of the previous (higher) bolt rows x
 $F_{t,Rd}$ is the design tension resistance of an individual bolt

<h1 style="background-color: #800000; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Sem Limite triangular

Linha 1	
(Ft 1, Rd)*hr/hx	864.231
Linha 2	
(Ft 2, Rd)*hr/hx	383.066
Linha 3	
(Ft 3, Rd)*hr/hx	299.458

Potencial capacidade à tração

Sigma Ft, Rd [kN]	1546.754
-------------------	----------

Alma do pilar à compressão transversal

Compressão transversal da alma do pilar

beff [mm]	410	Fc,wc,Rd [kN]	3588.514
Kwc	1		
ω	0.604		

Encurvadura da alma do pilar

λ	0.294	Fc,wc,Rd [kN]	3588.514
ρ	1		

Alma do pilar à compressão transversal

Compressão transversal da alma do pilar

Fc,wc,Rd, final [kN]	3588.514
----------------------	----------

Banzo e alma da viga à compressão

M Rd, b	1290.000	Fc,fb, Rd [kN]	2585.170
---------	----------	----------------	----------

Potencial capacidade à compressão

Fc, Rd, min [kN]	2585.170
------------------	----------

Painel de alma do pilar solicitado ao corte

Vwp,Rd [kN]	2134.141
-------------	----------

Valores de resistência à tração e compressão da junta

Sigma Ft, Rd [kN]	1546.754		
Fc, Rd [kN]	2585.170	Sem reduções necessárias	0.000
Vwp,Rd [kN]	2134.141		

Valores finais de Ft, Rd por linha e Modos de Rotura

Linha 1	Modo 2	Ft1, Rd	864.231
Linha 2	Modo 1	Ft2, Rd	383.066
Linha 3	Modo 1	Ft3, Rd	299.458

$$F_{t_x,Rd} \leq F_{t_x,Rd} \frac{h_r}{h_x}$$

h_x is the distance of bolt row x (the bolt row furthest from the centre of compression that has a design tension resistance greater than $1.9 F_{t,Rd}$)
 h_r is the distance of the bolt row r from the centre of compression

Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Momento resistente, Mj, Rd [kNm]	
Mj, Rd [kNm] linha 1	371.187
Mj, Rd [kNm] linha 2	118.559
Mj, Rd [kNm] linha 3	56.747
Mj,Rd final [kNm]	546.493

Classificação da Junta segundo a resistência
Junta de resistência parcial

M Rd, b [kNm]
778.870

Classificação da Junta segundo a rigidez
Coeficientes de Rigidez (<i>ki</i>) dos componentes básicos

Painel de alma do pilar solicitado ao corte (k1)	
k1 [mm]	#####

Alma do pilar comprimida (k2)	
k2 [mm]	#####

Alma do pilar tracionada (k3)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k3.1 [mm]	26.824	k3.2 [mm]	26.824	k3.3 [mm]	26.824

Banzo do pilar solicitado à flexão (k4)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k4.1 [mm]	251.956	k4.2 [mm]	251.956	k4.3 [mm]	251.956

Chapa de extremidade solicitado à flexão (k5)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k5.1 [mm]	14.793	k5.2 [mm]	13.675	k5.3 [mm]	13.675

Parafusos tracionados (k10)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k10.1 [mm]	15.069	k10.2 [mm]	15.069	k10.3 [mm]	15.069

Coeficientes de Rigidez efetivos (keff,r) por linhas					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
keff 1 [mm]	5.707	keff 2 [mm]	5.533	keff 3 [mm]	5.533

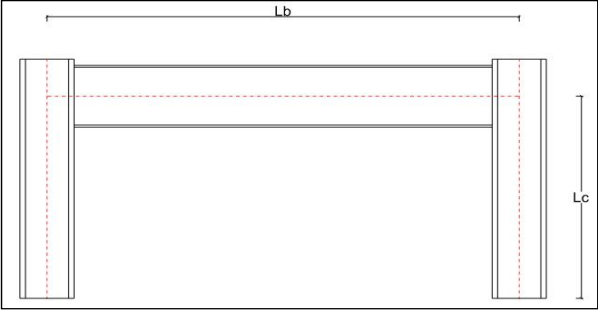
Ze _q [mm]	Coeficiente de Rigidez equivalente <i>linhas 1,2 & 3</i>
341.797	keq [mm] 15.250

Rigidez de Rotação inicial (Sj, ini)			
μ	1.000	Sj, ini [MNm/rad]	374.122

Sumário coeficientes de rigidez		
k1 [mm]	k2 [mm]	keq [mm]
#####	#####	15.250

Classificação da Junta segundo a rigidez rotacional
Junta semi-rígida

<h1 style="margin: 0;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-



Lb [mm]	5000	ly, b [mm^4]	481900000	Wpl,y, b [mm^3]	2194000
Lc [mm]	3000	ly, c [mm^4]	848600000	Wpl,y, c [mm^3]	4989000

M Rd, pl, b [kNm]	778.870	Altura viga reforçada na zona da junta [mm]	530
M Rd, pl, b [kNm] na zona da junta	1290.000		

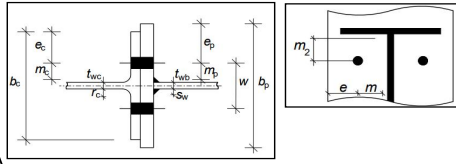
Peça em T equivalente (t-stub)

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
bp [mm]	300	bc [mm]	308
w [mm]	140	w [mm]	140
twb [mm]	10.2	twc [mm]	42
sw [mm]	12	r [mm]	27
mp [mm]	55.3	mc [mm]	37.9
ep [mm]	80	ec [mm]	84
tp [mm]	50	tfc [mm]	40
m2 [mm]	42.8	Avc [mm^2]	14881
tfb [mm]	31	dwc [mm]	261

e1 [mm]	85
---------	----

p1 [mm]	120
---------	-----

Parafuso	M20 Gr.10.9
----------	----------------



Alma do pilar reforçada

<h1 style="margin: 0;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 1

1. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (primeira linha isolada)

Com troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	347.460	Leff, cp [mm]	238.133

Sem troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	379.823	Leff, nc [mm]	256.600

"α" chapa de extremidade			
λ1	0.409	α	6.868
λ2	0.316		

Verificação forças de alavanca

Comprimento dos Parafusos Lb [mm]	105.250		
-----------------------------------	---------	--	--

Chapa de extremidade		Sem Forças de alavanca
Lb* [mm]	15.359	

Banzo pilar		Sem Forças de alavanca
Lb* [mm]	15.403	

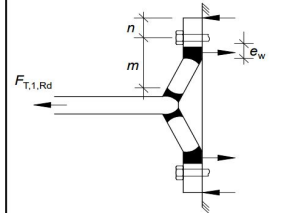
Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	74921094	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

dw [mm]	33.530		
ew [mm]	8.383		
n, tp [mm]	69.125	Sem forças de alavanca	
		FT1, Rd [kN]	2709.624

Banzo do pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	32862316	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

n, tf [mm]	47.375		
		Sem forças de alavanca	
		FT1, Rd [kN]	1734.159

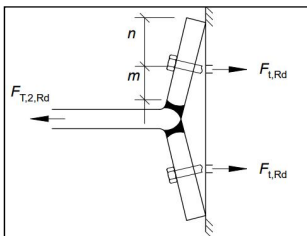


Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Modo 2 - Ruptura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl2 [N*mm]	81899241	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	352.800	FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	2709.624

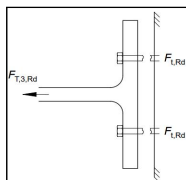


Banzo pilar à flexão

Mpl2 [N*mm]	35410800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	1734.159

Modo 3 - Ruptura dos parafusos

Ft3, rd [kN]	352.800
--------------	---------



Resistência das Chapa / Banzo à flexão

Banzo do pilar

FT1,tf,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	352.800
----------------	--------------------------------	---------

Modo 3

Chapa de extremidade

FT1,tp,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	352.800
----------------	--------------------------------	---------

Modo 3

Alma da viga à tração

Ft,wb,Rd [kN]	1258.153
---------------	----------

Alma do pilar à tração

β	1	Ft,wc,Rd [kN]	2738.837
ω	0.794		

Sumário Resistência do t-stub para Linha 1 tracionada

Banzo do pilar à flexão	352.800
Chapa de extremidade à flexão	352.800
Alma da viga à tração	1258.153
Alma do pilar à tração	2738.837

Logo, Ft1, Rd final [kN] **352.800**

Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Comprimento efetivo (l_{eff}) do t-stub Linha 2

2. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade longe dos banzos da viga (segunda linha isolada)

Com troços circulares

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	347.4601	Leff, cp [mm]	238.133

Sem troços circulares

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	321.200	Leff, nc [mm]	256.600

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl1 [N*mm]	69258750	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	2504.837

Banzo pilar à flexão

Mpl1 [N*mm]	32862316	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	1734.159

Modo 2 - Ruptura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl2 [N*mm]	69258750	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	352.800	FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	2504.837

Banzo pilar à flexão

Mpl2 [N*mm]	35410800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	1734.159

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
Nr. Estudante:	1191232		
Data:	-		

Modo 3 - Rotura dos parafusos	
FT3, Rd [kN]	352.800

Resistência das Chapa / Banzo à flexão		
Banzo do pilar		
FT2,tf,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	352.800
Modo 3		

Chapa de extremidade		
FT2,tp,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	352.800
Modo 3		

Alma da viga à tração	
Ft,wb,Rd [kN]	1163.065

Alma do pilar à tração		
ω	0.794	Ft,wc,Rd [kN]
		2738.837

Sumário Resistência do t-stub para Linha 2 (isolada) tracionada			
Banzo do pilar à flexão		352.800	
Chapa de extremidade à flexão		352.800	
Alma da viga à tração		1163.065	
Alma do pilar à tração		2738.837	
Logo, Ft ₂ , Rd [kN]			352.800

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linhas 1 & 2	
2. Linhas de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (Linha 1 & Linha 2)	

Com troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	587.4601	Leff, cp [mm]	478.133

Sem troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	499.823	Leff, nc [mm]	376.600

P [mm]	
	120

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	1.08E+08	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	3897.803

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
Nr. Estudante:	1191232		
Data:	-		

Banzo pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	51970800	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	2742.522

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl2 [N*mm]	1.08E+08	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	3897.803
Ft, Rd (4 parafusos) [kN]	705.600		

Banzo pilar à flexão			
Mpl2 [N*mm]	51970800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	2742.522

Modo 3 - Rotura dos parafusos	
FT3, Rd [kN]	705.600

Resistência das Chapa / Banzo à flexão		
Banzo do pilar		
FT1-2,tf,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	705.600
Modo 3		

Chapa de extremidade		
FT1-2,tp,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	705.600
Modo 3		

Alma da viga à tração	
Ft,wb,Rd [kN]	1809.858

Alma do pilar à tração		
ω	0.636	Ft,wc,Rd [kN]
		3473.066

Sumário Resistência do t-stub para as Linhas 1 & 2 combinadas			
Banzo do pilar à flexão		705.600	
Chapa de extremidade à flexão		705.600	
Alma da viga à tração		1809.858	
Alma do pilar à tração		3473.066	
Logo, Ft ₁₋₂ , Rd [kN]			705.600

Valor de Ft ₂ ,Rd Linha 1 & linha 2 combinadas	
Ft ₁₋₂ ,Rd - Ft ₁ ,Rd [kN]	352.800

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
		Nr. Estudante:	1191232
		Data:	-
Sumário Resistência final do t-stub para Linha 2			
Banzo do pilar à flexão	352.800	Logo, Ft2, Rd, final [kN]	352.800
Chapa de extremidade à flexão	352.800		
Alma da viga à tração	1163.065	Modo de rotura final chapa de extremidade	Modo 3
Alma do pilar à tração	2738.837		
Ft 1-2,Rd - Ft1,Rd [kN]	352.800	Modo de rotura final banzo de pilar	Modo 3
Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 3			
2. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade longe dos banzos da viga (terceira linha isolada)			
Com troços circulares		Sem troços circulares	
Chapa de extremidade	Banzo pilar	Chapa de extremidade	Banzo pilar
Leff, cp [mm]	347.4601	Leff, nc [mm]	321.200
		Leff, nc [mm]	256.600
Sumário Resistência do t-stub para Linha 3 (isolada) tracionada			
Banzo do pilar à flexão	352.800	Logo, Ft3, Rd [kN]	352.800
Chapa de extremidade à flexão	352.800	Modo de rotura chapa de extremidade	Modo 3
Alma da viga à tração	1163.065		
Alma do pilar à tração	2738.837	Modo de rotura banzo de pilar	Modo 3
Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linhas 1, 2 & 3			
2. Linhas de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (Linha 1, Linha 2 & Linha 3)			
Com troços circulares		Sem troços circulares	
Chapa de extremidade	Banzo pilar	Chapa de extremidade	Banzo pilar
Leff, cp [mm]	827.4601	Leff, nc [mm]	619.823
		Leff, nc [mm]	496.600

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
		Nr. Estudante:	1191232
		Data:	-
Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	1.34E+08	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	4833.607
Banzo pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	68530800	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	3616.401
Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl2 [N*mm]	1.34E+08	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	4833.607
Ft,Rd (2 parafusos) [kN]	1058.400		
Banzo pilar à flexão			
Mpl2 [N*mm]	68530800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	3616.401
Modo 3 - Rotura dos parafusos			
FT3, Rd [kN]	1058.400		
Resistência das Chapa / Banzo à flexão			
Banzo do pilar			
FT1-2-3,tf,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	1058.400	Modo 3
Chapa de extremidade			
FT1-2-3,tp,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	1058.400	Modo 3
Alma da viga à tração			
Ft,wb,Rd [kN]	2244.378		
Alma do pilar à tração			
ω	0.530	Ft,wc,Rd [kN]	4579.725

<h1 style="background-color: #800000; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Sumário Resistência do t-stub para as Linhas 1, 2& 3 combinadas

Banzo do pilar à flexão	1058.400	
Chapa de extremidade à flexão	1058.400	
Logo, Ft 1-2-3, Rd [kN]	1058.400	
Alma da viga à tração	2244.378	
Alma do pilar à tração	4579.725	

Sumário Resistência final do t-stub para Linha 3

Ft 1-2-3,Rd - Ft2,Rd [kN]	705.600	Modo de rotura final chapa de extremidade	Modo 3
Ft 1-2-3,Rd - Ft1,Rd - Ft2,Rd [kN]	352.800		
Logo, Ft 1-2-3, Rd final [kN]	352.800	Modo de rotura final banzo de pilar	Modo 3

Sumário Modos de Rotura do t-stub para as Linhas Tracionadas S/ modificações

Linha 1	Modo 3		Ft1, Rd	352.800
Linha 2	Modo 3		Ft2, Rd	352.800
Linha 3	Modo 3		Ft3, Rd	352.800

Limite da distribuição plástica

Ft1,Rd [kN]	352.800	≤	1.9*Ft,Rd [kN]	335.160
			N/A	
tp [mm]	50	≤	(d/1.9)*vfub/fyp	16.0292
			N/A	
tfc [mm]	40	≤	(d/1.9)*vfub/fyp	16.0292
			N/A	

Sem distribuição plástica, assumir regime elástico

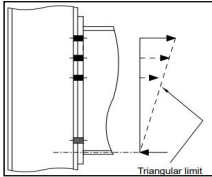
$$F_{tx,Rd} \leq 1.9 F_{t,Rd}$$

or

$$t_p \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_{tb}}{f_{yp}}}$$

or

$$t_{fc} \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_{tb}}{f_{yc}}}$$



Triangular limit

$F_{tx,Rd}$ is the effective design tension resistance of one of the previous (higher) bolt rows x
 $F_{t,Rd}$ is the design tension resistance of an individual bolt

<h1 style="background-color: #800000; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Limite triangular (regime elástico)

Linha 1	
(Ft 1, Rd)*hr/hx	352.800
Linha 2	
(Ft 2, Rd)*hr/hx	254.230
Linha 3	
(Ft 3, Rd)*hr/hx	155.659

Potencial capacidade à tração

Sigma Ft, Rd [kN]	762.689
-------------------	---------

Alma do pilar à compressão transversal

Compressão transversal da alma do pilar

beff [mm]	440		Fc,wc,Rd [kN]	3677.979
Kwc	1			
ω	0.577			

Encurvadura da alma do pilar

λ	0.305		Fc,wc,Rd [kN]	3677.979
ρ	1			

Alma do pilar à compressão transversal

Compressão transversal da alma do pilar

Fc,wc,Rd, final [kN]	3677.979
----------------------	----------

Banzo e alma da viga à compressão

M Rd, b	1290.000		Fc,fb, Rd [kN]	2585.170
---------	----------	--	----------------	----------

Potencial capacidade à compressão

Fc, Rd, min [kN]	2585.170
------------------	----------

Painel de alma do pilar solicitado ao corte

Vwp,Rd [kN]	2134.141
-------------	----------

Valores de resistência à tração e compressão da junta

Sigma Ft, Rd [kN]	762.689			
Fc, Rd [kN]	2585.170		Sem reduções necessárias	0.000
Vwp,Rd [kN]	2134.141			

Valores finais de Ft, Rd por linha e Modos de Rotura

Linha 1	Modo 3		Ft1, Rd	352.800
Linha 2	Modo 3		Ft2, Rd	254.230
Linha 3	Modo 3		Ft3, Rd	155.659

$$F_{tr,Rd} \leq F_{tx,Rd} \frac{h_r}{h_x}$$

h_x is the distance of bolt row x (the bolt row furthest from the centre of compression that has a design tension resistance greater than 1.9 $F_{t,Rd}$)
 h_r is the distance of the bolt row r from the centre of compression

Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Momento resistente, Mj, Rd [kNm]	
Mj, Rd [kNm] linha 1	151.528
Mj, Rd [kNm] linha 2	78.684
Mj, Rd [kNm] linha 3	29.497
Mj,Rd final [kNm]	259.709

Classificação da Junta segundo a resistência
Junta de resistência parcial

M Rd, b [kNm]
778.870

Classificação da Junta segundo a rigidez
Coeficientes de Rigidez (ki) dos componentes básicos

Painel de alma do pilar solicitado ao corte (k1)	
k1 [mm]	#####

Alma do pilar comprimida (k2)	
k2 [mm]	#####

Alma do pilar tracionada (k3)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k3.1 [mm]	26.824	k3.2 [mm]	26.824	k3.3 [mm]	26.824

Banzo do pilar solicitado à flexão (k4)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k4.1 [mm]	251.956	k4.2 [mm]	251.956	k4.3 [mm]	251.956

Chapa de extremidade solicitado à flexão (k5)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k5.1 [mm]	231.144	k5.2 [mm]	213.674	k5.3 [mm]	213.674

Parafusos tracionados (k10)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k10.1 [mm]	3.724	k10.2 [mm]	3.724	k10.3 [mm]	3.724

Coeficientes de Rigidez efetivos (keff,r) por linhas					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
keff 1 [mm]	3.184	keff 2 [mm]	3.180	keff 3 [mm]	3.180

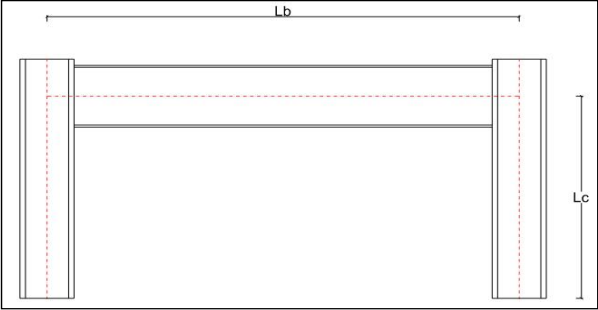
Ze _q [mm]	Coeficiente de Rigidez equivalente linhas 1,2 & 3
340.564	keq [mm] 8.675

Rigidez de Rotação inicial (Sj, ini)			
μ	1.000	Sj, ini [MNm/rad]	211.306

Sumário coeficientes de rigidez		
k1 [mm]	k2 [mm]	keq [mm]
#####	#####	8.675

Classificação da Junta segundo a rigidez rotacional
Junta semi-rígida

<h1 style="margin: 0;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-



Lb [mm]	5000	ly, b [mm^4]	481900000	Wpl,y, b [mm^3]	2194000
Lc [mm]	3000	ly, c [mm^4]	848600000	Wpl,y, c [mm^3]	4989000

M Rd, pl, b [kNm]	778.870	Altura viga reforçada na zona da junta [mm]	530
M Rd, pl, b [kNm] na zona da junta	1290.000		

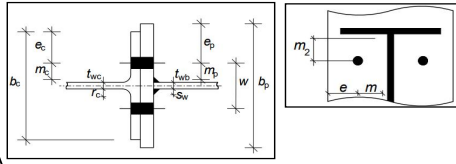
Peça em T equivalente (t-stub)

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
bp [mm]	300	bc [mm]	308
w [mm]	140	w [mm]	140
twb [mm]	10.2	twc [mm]	42
sw [mm]	12	r [mm]	27
mp [mm]	55.3	mc [mm]	37.9
ep [mm]	80	ec [mm]	84
tp [mm]	50	tfc [mm]	40
m2 [mm]	42.8	Avc [mm^2]	14881
tfb [mm]	31	dwc [mm]	261

e1 [mm]	85
---------	----

p1 [mm]	120
---------	-----

Parafuso	M36 Gr.10.9
----------	----------------



Alma do pilar reforçada

<h1 style="margin: 0;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 1

1. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (primeira linha isolada)

Com troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	347.460	Leff, cp [mm]	238.133

Sem troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	379.823	Leff, nc [mm]	256.600

"α" chapa de extremidade			
λ1	0.409	α	6.868
λ2	0.316		

Verificação forças de alavanca

Comprimento dos Parafusos Lb [mm]	116.750		
-----------------------------------	---------	--	--

Chapa de extremidade		Sem Forças de alavanca
Lb* [mm]	15.359	

Banzo pilar		Sem Forças de alavanca
Lb* [mm]	15.403	

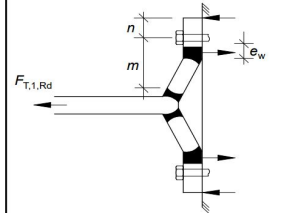
Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	74921094	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

dw [mm]	60.790		
ew [mm]	15.198		
n, tp [mm]	69.125	Sem forças de alavanca	
		FT1, Rd [kN]	2709.624

Banzo do pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	32862316	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

n, tf [mm]	47.375	Sem forças de alavanca	
		FT1, Rd [kN]	1734.159

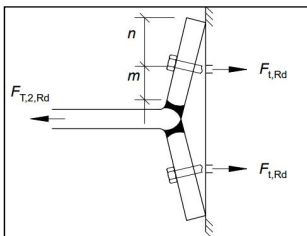


Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl2 [N*mm]	81899241	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	1176.480	FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	2709.624

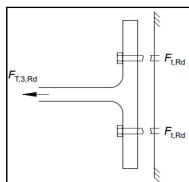


Banzo pilar à flexão

Mpl2 [N*mm]	35410800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	1734.159

Modo 3 - Rotura dos parafusos

Ft3, rd [kN]	1176.480
--------------	----------



Resistência das Chapa / Banzo à flexão

Banzo do pilar

FT1,tf,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	1176.480
----------------	--------------------------------	----------

Modo 3

Chapa de extremidade

FT1,tp,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	1176.480
----------------	--------------------------------	----------

Modo 3

Alma da viga à tração

Ft,wb,Rd [kN]	1258.153
---------------	----------

Alma do pilar à tração

β	1	Ft,wc,Rd [kN]	2738.837
ω	0.794		

Sumário Resistência do t-stub para Linha 1 tracionada

Banzo do pilar à flexão	1176.480
-------------------------	----------

Chapa de extremidade à flexão	1176.480
-------------------------------	----------

Logo, Ft1, Rd final [kN] **1176.480**

Alma da viga à tração	1258.153
-----------------------	----------

Alma do pilar à tração	2738.837
------------------------	----------

Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 2

2. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade longe dos banzos da viga (segunda linha isolada)

Com troços circulares

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	347.4601	Leff, cp [mm]	238.133

Sem troços circulares

Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	321.200	Leff, nc [mm]	256.600

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl1 [N*mm]	69258750	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	2504.837

Banzo pilar à flexão

Mpl1 [N*mm]	32862316	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	1734.159

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa

Chapa de extremidade à flexão

Mpl2 [N*mm]	69258750	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
Ft, Rd (2 parafusos) [kN]	1176.480	FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	2504.837

Banzo pilar à flexão

Mpl2 [N*mm]	35410800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	1734.159

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
Nr. Estudante:	1191232		
Data:	-		

Modo 3 - Rotura dos parafusos			
FT3, Rd [kN]	1176.480		

Resistência das Chapa / Banzo à flexão			
Banzo do pilar			
FT2,tf,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	1176.480	
Modo 3			

Chapa de extremidade			
FT2,tp,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	1176.480	
Modo 3			

Alma da viga à tração	
Ft,wb,Rd [kN]	1163.065

Alma do pilar à tração			
ω	0.794	Ft,wc,Rd [kN]	2738.837

Sumário Resistência do t-stub para Linha 2 (isolada) tracionada			
Banzo do pilar à flexão	1176.480		Logo, Ft2, Rd [kN] 1163.065
Chapa de extremidade à flexão	1176.480		
Alma da viga à tração	1163.065		
Alma do pilar à tração	2738.837		

Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linhas 1 & 2	
2. Linhas de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (Linha 1 & Linha 2)	

Com troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, cp [mm]	587.4601	Leff, cp [mm]	478.133

Sem troços circulares			
Chapa de extremidade		Banzo pilar	
Leff, nc [mm]	499.823	Leff, nc [mm]	376.600

Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	1.08E+08	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	3897.803

P [mm]	
120	

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
Nr. Estudante:	1191232		
Data:	-		

Banzo pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	51970800	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável

Sem forças de alavanca	
FT1, Rd [kN]	2742.522

Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl2 [N*mm]	1.08E+08	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	3897.803

Banzo pilar à flexão			
Mpl2 [N*mm]	51970800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	2742.522

Modo 3 - Rotura dos parafusos	
FT3, Rd [kN]	2352.960

Resistência das Chapa / Banzo à flexão			
Banzo do pilar			
FT1-2,tf,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	2352.960	
Modo 3			

Chapa de extremidade			
FT1-2,tp,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	2352.960	
Modo 3			

Alma da viga à tração	
Ft,wb,Rd [kN]	1809.858

Alma do pilar à tração			
ω	0.636	Ft,wc,Rd [kN]	3473.066

Sumário Resistência do t-stub para as Linhas 1 & 2 combinadas			
Banzo do pilar à flexão	2352.960		Logo, Ft 1-2, Rd [kN] 1809.858
Chapa de extremidade à flexão	2352.960		
Alma da viga à tração	1809.858		
Alma do pilar à tração	3473.066		

Valor de Ft2,Rd Linha 1 & linha 2 combinadas	
Ft 1-2,Rd - Ft1,Rd [kN]	633.378

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
		Nr. Estudante:	1191232
		Data:	-
Sumário Resistência final do t-stub para Linha 2			
Banzo do pilar à flexão	1176.480	Logo, Ft2, Rd, final [kN]	633.378
Chapa de extremidade à flexão	1176.480		
Alma da viga à tração	1163.065	Modo de rotura final chapa de extremidade	Modo 3
Alma do pilar à tração	2738.837		
Ft 1-2,Rd - Ft1,Rd [kN]	633.378	Modo de rotura final banzo de pilar	Modo 3
Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linha 3			
2. Linha de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade longe dos banzos da viga (terceira linha isolada)			
Com troços circulares		Sem troços circulares	
Chapa de extremidade	Banzo pilar	Chapa de extremidade	Banzo pilar
Leff, cp [mm]	347.4601	Leff, nc [mm]	321.200
		Leff, nc [mm]	256.600
Sumário Resistência do t-stub para Linha 3 (isolada) tracionada			
Banzo do pilar à flexão	1176.480	Logo, Ft3, Rd [kN]	1163.065
Chapa de extremidade à flexão	1176.480	Modo de rotura chapa de extremidade	Modo 3
Alma da viga à tração	1163.065		
Alma do pilar à tração	2738.837	Modo de rotura banzo de pilar	Modo 3
Comprimento efetivo (Leff) do t-stub Linhas 1, 2 & 3			
2. Linhas de parafusos num banzo de pilar não reforçado & numa chapa de extremidade por baixo do banzo da viga (Linha 1, Linha 2 & Linha 3)			
Com troços circulares		Sem troços circulares	
Chapa de extremidade	Banzo pilar	Chapa de extremidade	Banzo pilar
Leff, cp [mm]	827.4601	Leff, nc [mm]	619.823
		Leff, nc [mm]	496.600

ISEP		DIPRE	
		Aluno:	Dénzel Correia
		Nr. Estudante:	1191232
		Data:	-
Modo 1 - Plastificação total do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl1 [N*mm]	1.34E+08	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	4833.607
Banzo pilar à flexão			
Mpl1 [N*mm]	68530800	Método 1	Método 2
		FT1, Rd [kN]	FT1, Rd [kN]
		Não aplicável	Não aplicável
Sem forças de alavanca			
		FT1, Rd [kN]	3616.401
Modo 2 - Rotura dos parafusos com plastificação do banzo/chapa			
Chapa de extremidade à flexão			
Mpl2 [N*mm]	1.34E+08	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	4833.607
Ft,Rd (2 parafusos) [kN]	3529.440		
Banzo pilar à flexão			
Mpl2 [N*mm]	68530800	Com forças de alavanca	Sem forças de alavanca
		FT2, Rd [kN]	FT2, Rd [kN]
		Não aplicável	3616.401
Modo 3 - Rotura dos parafusos			
FT3, Rd [kN]	3529.440		
Resistência das Chapa / Banzo à flexão			
Banzo do pilar			
FT1-2-3,tf,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	3529.440	Modo 3
Chapa de extremidade			
FT1-2-3,tp,Rd [kN]	min {FT1,Rd ; FT2,Rd ; FT3,Rd}	3529.440	Modo 3
Alma da viga à tração			
Ft,wb,Rd [kN]	2244.378		
Alma do pilar à tração			
ω	0.530	Ft,wc,Rd [kN]	4579.725

<h1 style="background-color: #800000; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Sumário Resistência do t-stub para as Linhas 1, 2& 3 combinadas

Banzo do pilar à flexão	3529.440	
Chapa de extremidade à flexão	3529.440	
Alma da viga à tração	2244.378	Logo, Ft 1-2-3, Rd [kN] 2244.378
Alma do pilar à tração	4579.725	

Sumário Resistência final do t-stub para Linha 3

Ft 1-2-3,Rd - Ft2,Rd [kN]	1611.000	Modo de rotura final chapa de extremidade Modo 3
Ft 1-2-3,Rd - Ft1,Rd - Ft2,Rd [kN]	434.520	
Logo, Ft 1-2-3, Rd final [kN]	434.520	Modo de rotura final banzo de pilar Modo 3

Sumário Modos de Rotura do t-stub para as Linhas Tracionadas S/ modificações

Linha 1	Modo 3	Ft1, Rd	1176.480
Linha 2	Modo 3	Ft2, Rd	633.378
Linha 3	Modo 3	Ft3, Rd	434.520

Limite da distribuição plástica

Ft1,Rd [kN]	1176.480	≤	1.9*Ft,Rd [kN]	1117.656
N/A				
tp [mm]	50	≤	(d/1.9)*vfub/fyp	28.8526
N/A				
tfc [mm]	40	≤	(d/1.9)*vfub/fyp	28.8526
N/A				

Sem distribuição plástica, assumir regime elástico

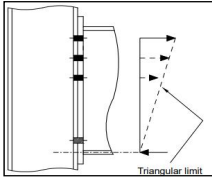
$$F_{tx,Rd} \leq 1.9 F_{t,Rd}$$

or

$$t_p \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_{yp}}}$$

or

$$t_{fc} \leq \frac{d}{1.9} \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_{yc}}}$$



Triangular limit

$F_{tx,Rd}$ is the effective design tension resistance of one of the previous (higher) bolt rows x
 $F_{t,Rd}$ is the design tension resistance of an individual bolt

<h1 style="background-color: #800000; color: white; padding: 5px; display: inline-block;">ISEP</h1>	DIPRE	
	Aluno:	Dénzel Correia
	Nr. Estudante:	1191232
	Data:	-

Limite triangular (regime elástico)

Linha 1	
(Ft 1, Rd)*hr/hx	1176.480
Linha 2	
(Ft 2, Rd)*hr/hx	456.415
Linha 3	
(Ft 3, Rd)*hr/hx	191.715

Potencial capacidade à tração

Sigma Ft, Rd [kN]	1824.610
-------------------	----------

Alma do pilar à compressão transversal

Compressão transversal da alma do pilar

beff [mm]	440	Fc,wc,Rd [kN]	3677.979
Kwc	1		
ω	0.577		

Encurvadura da alma do pilar

λ	0.305	Fc,wc,Rd [kN]	3677.979
ρ	1		

Alma do pilar à compressão transversal

Compressão transversal da alma do pilar

Fc,wc,Rd, final [kN]	3677.979
----------------------	----------

Banzo e alma da viga à compressão

M Rd, b	1290.000	Fc,fb, Rd [kN]	2585.170
---------	----------	----------------	----------

Potencial capacidade à compressão

Fc, Rd, min [kN]	2585.170
------------------	----------

Painel de alma do pilar solicitado ao corte

Vwp,Rd [kN]	2134.141
-------------	----------

Valores de resistência à tração e compressão da junta

Sigma Ft, Rd [kN]	1824.610		
Fc, Rd [kN]	2585.170	Sem reduções necessárias	0.000
Vwp,Rd [kN]	2134.141		

Valores finais de Ft, Rd por linha e Modos de Rotura

Linha 1	Modo 3	Ft1, Rd	1176.480
Linha 2	Modo 3	Ft2, Rd	456.415
Linha 3	Modo 3	Ft3, Rd	191.715

$$F_{tr,Rd} \leq F_{tx,Rd} \frac{h_r}{h_x}$$

h_x is the distance of bolt row x (the bolt row furthest from the centre of compression that has a design tension resistance greater than $1.9 F_{t,Rd}$)
 h_r is the distance of the bolt row r from the centre of compression

Aluno: Dénzel Correia
 Nr. Estudante: 1191232
 Data: -

Momento resistente, Mj, Rd [kNm]	
Mj, Rd [kNm] linha 1	505.298
Mj, Rd [kNm] linha 2	141.261
Mj, Rd [kNm] linha 3	36.330
Mj,Rd final [kNm]	682.889

Classificação da Junta segundo a resistência
Junta de resistência parcial

M Rd, b [kNm]
778.870

Classificação da Junta segundo a rigidez
Coeficientes de Rigidez (<i>ki</i>) dos componentes básicos

Painel de alma do pilar solicitado ao corte (k1)	
k1 [mm]	#####

Alma do pilar comprimida (k2)	
k2 [mm]	#####

Alma do pilar tracionada (k3)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k3.1 [mm]	26.824	k3.2 [mm]	26.824	k3.3 [mm]	26.824

Banzo do pilar solicitado à flexão (k4)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k4.1 [mm]	251.956	k4.2 [mm]	251.956	k4.3 [mm]	251.956

Chapa de extremidade solicitado à flexão (k5)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k5.1 [mm]	231.144	k5.2 [mm]	213.674	k5.3 [mm]	213.674

Parafusos tracionados (k10)					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
k10.1 [mm]	11.197	k10.2 [mm]	11.197	k10.3 [mm]	11.197

Coeficientes de Rigidez efetivos (keff,r) por linhas					
Linha 1		Linha 2		Linha 3	
keff 1 [mm]	7.414	keff 2 [mm]	7.394	keff 3 [mm]	7.394

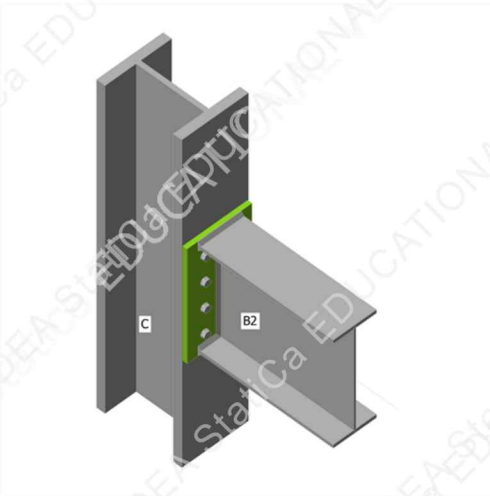
Ze _q [mm]	Coeficiente de Rigidez equivalente <i>linhas 1,2 & 3</i>
340.626	keq [mm] 20.180

Rigidez de Rotação inicial (Sj, ini)			
μ	1.000	Sj, ini [MNm/rad]	491.693

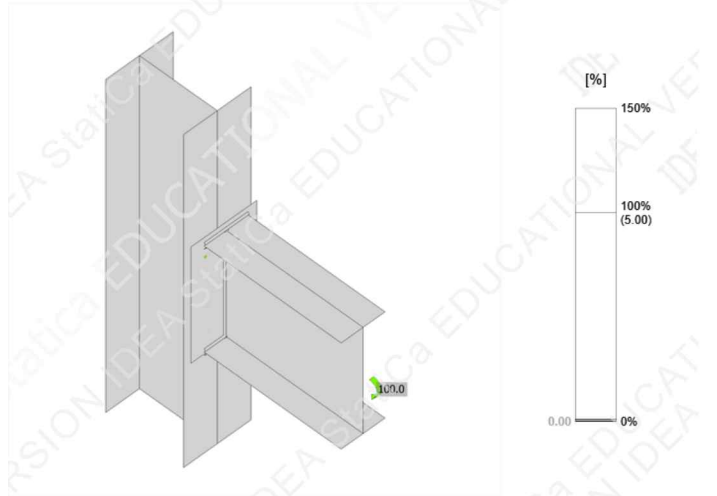
Sumário coeficientes de rigidez		
k1 [mm]	k2 [mm]	keq [mm]
#####	#####	20.180

Classificação da Junta segundo a rigidez rotacional
Junta semi-rígida

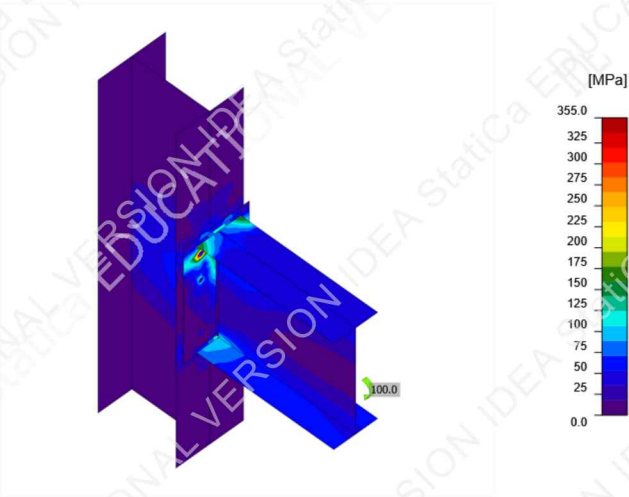
Check



Overall check, LE1



Strain check, LE1



Equivalent stress, LE1

Rotational stiffness

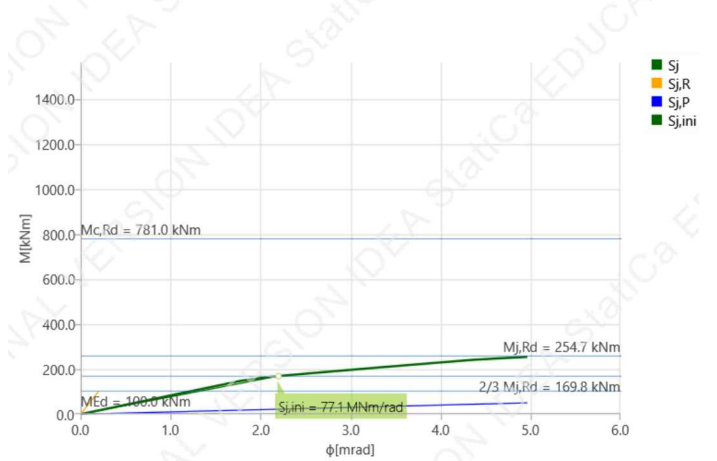
Name	Comp.	Loads	$M_{j,Rd}$ [kNm]	$S_{j,ini}$ [MNm/rad]	Φ_c [mrad]	L [m]	$S_{j,R}$ [MNm/rad]	$S_{j,P}$ [MNm/rad]	Class.
B2	My	LE1	254.7	77.1	5.0	5.00	506.1	10.1	Semi-rigid

Secant rotational stiffness

Name	Comp.	Loads	M [kNm]	$S_{j,s}$ [MNm/rad]	Φ [mrad]
B2	My	LE1	100.0	83.3	1.2

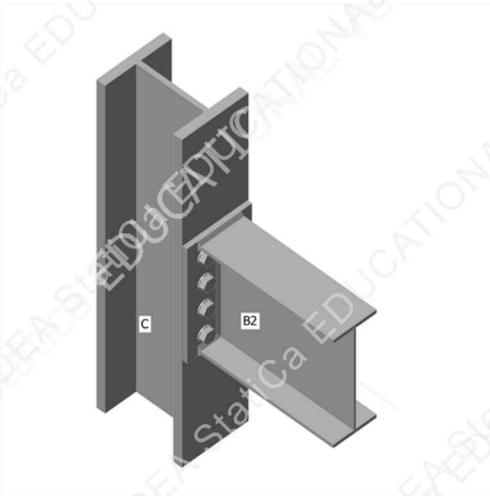
Symbol explanation

$M_{j,Rd}$	Bending resistance
$S_{j,ini}$	Initial rotational stiffness
Φ_c	Rotational capacity
$S_{j,R}$	Limit value - rigid joint
$S_{j,P}$	Limit value - pinned joint
$S_{j,s}$	Secant rotational stiffness
Φ	Rotational deformation

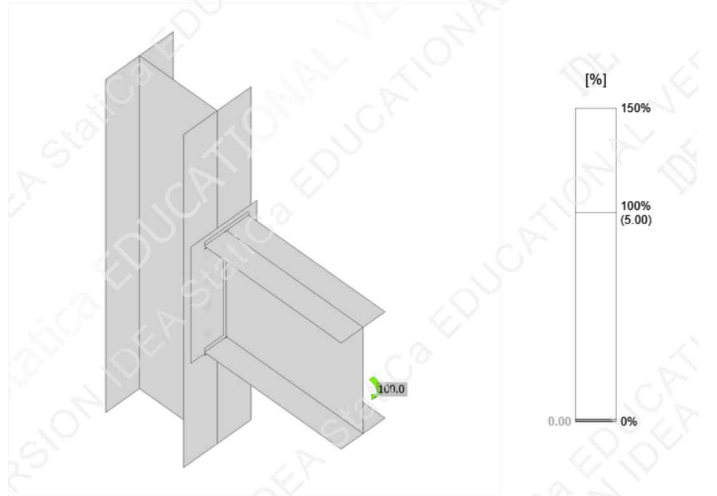


Stiffness diagram My - ϕ , LE1

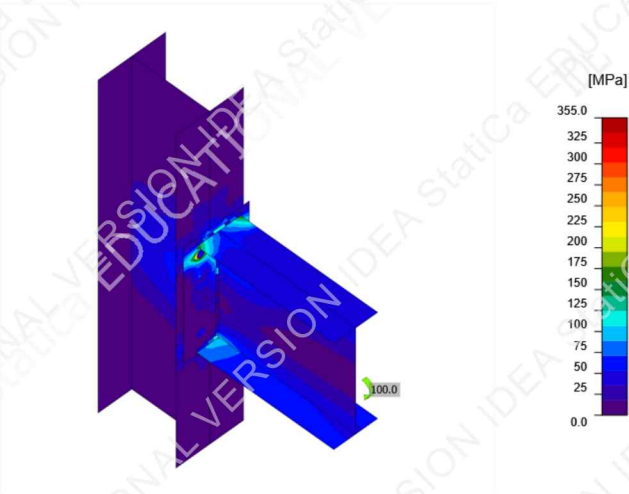
Check



Overall check, LE1



Strain check, LE1



Equivalent stress, LE1

Rotational stiffness

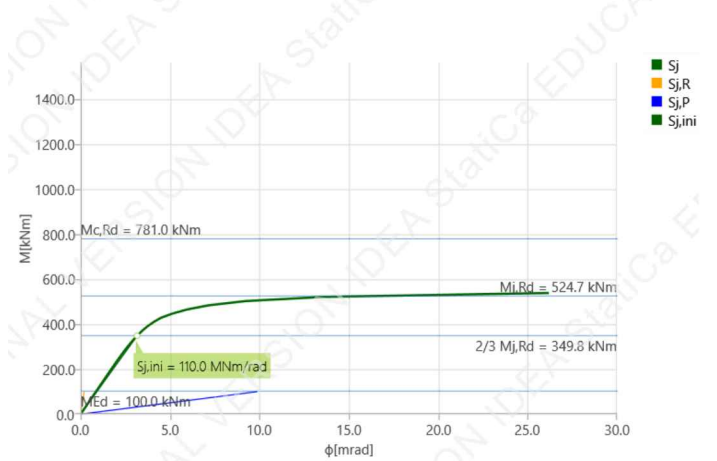
Name	Comp.	Loads	$M_{j,Rd}$ [kNm]	$S_{j,ini}$ [MNm/rad]	Φ_c [mrad]	L [m]	$S_{j,R}$ [MNm/rad]	$S_{j,P}$ [MNm/rad]	Class.
B2	My	LE1	524.7	110.0	26.2	5.00	506.1	10.1	Semi-rigid

Secant rotational stiffness

Name	Comp.	Loads	M [kNm]	$S_{j,s}$ [MNm/rad]	Φ [mrad]
B2	My	LE1	100.0	116.8	0.9

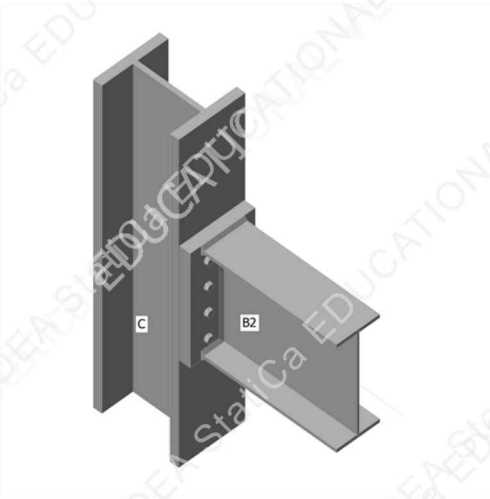
Symbol explanation

$M_{j,Rd}$	Bending resistance
$S_{j,ini}$	Initial rotational stiffness
Φ_c	Rotational capacity
$S_{j,R}$	Limit value - rigid joint
$S_{j,P}$	Limit value - pinned joint
$S_{j,s}$	Secant rotational stiffness
Φ	Rotational deformation

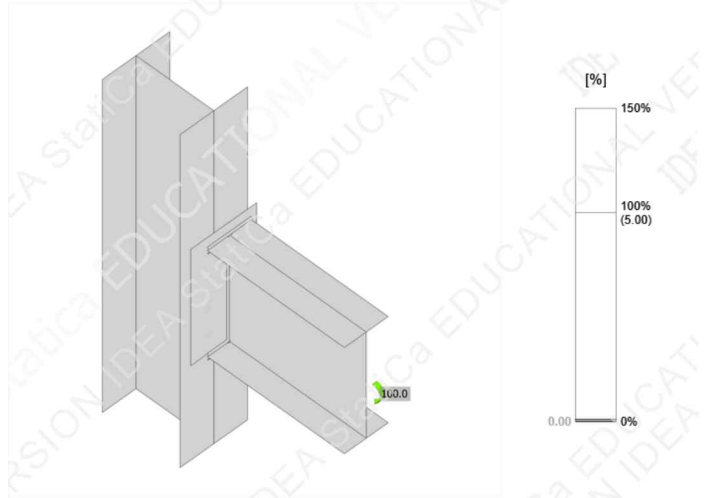


Stiffness diagram My - ϕ , LE1

Check



Overall check, LE1



Strain check, LE1



Equivalent stress, LE1

Rotational stiffness

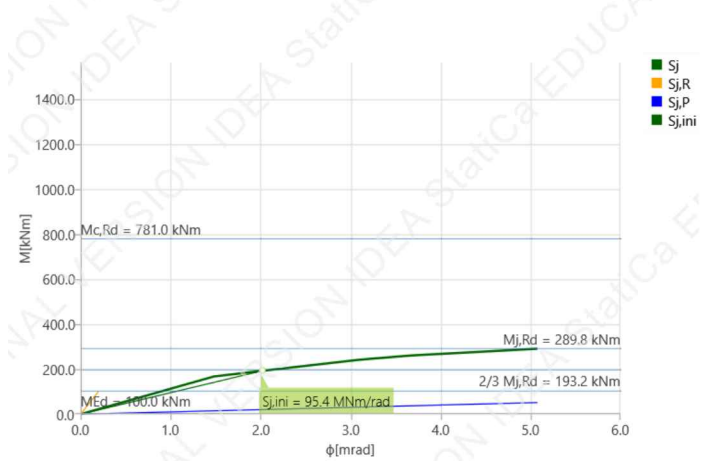
Name	Comp.	Loads	$M_{j,Rd}$ [kNm]	$S_{j,ini}$ [MNm/rad]	Φ_c [mrad]	L [m]	$S_{j,R}$ [MNm/rad]	$S_{j,P}$ [MNm/rad]	Class.
B2	My	LE1	289.8	95.4	5.1	5.00	506.1	10.1	Semi-rigid

Secant rotational stiffness

Name	Comp.	Loads	M [kNm]	$S_{j,s}$ [MNm/rad]	Φ [mrad]
B2	My	LE1	100.0	113.0	0.9

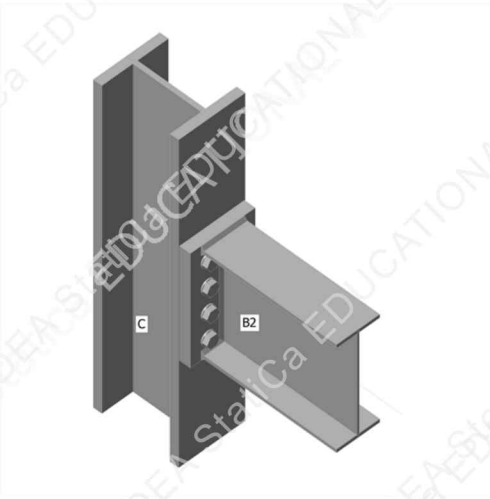
Symbol explanation

$M_{j,Rd}$	Bending resistance
$S_{j,ini}$	Initial rotational stiffness
Φ_c	Rotational capacity
$S_{j,R}$	Limit value - rigid joint
$S_{j,P}$	Limit value - pinned joint
$S_{j,s}$	Secant rotational stiffness
Φ	Rotational deformation

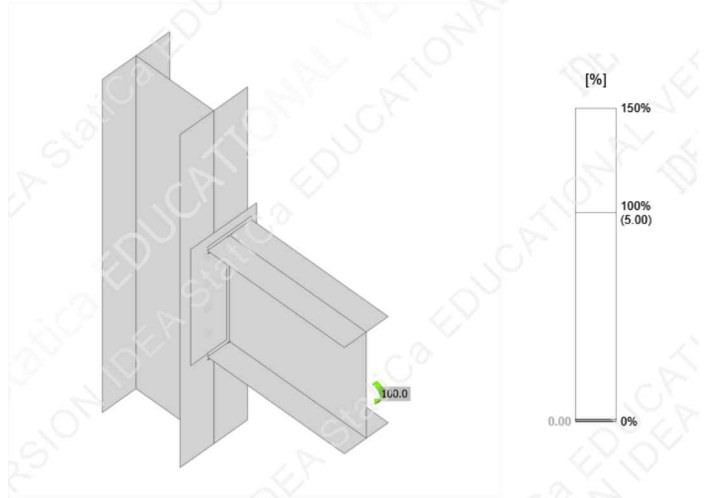


Stiffness diagram My - ϕ , LE1

Check



Overall check, LE1



Strain check, LE1



Equivalent stress, LE1

Rotational stiffness

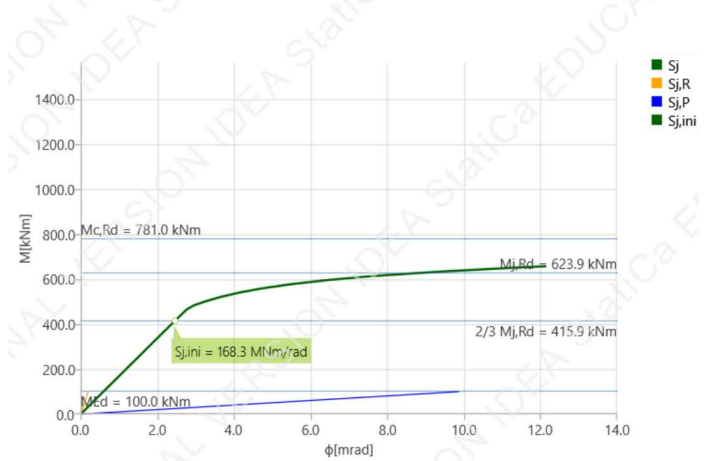
Name	Comp.	Loads	$M_{j,Rd}$ [kNm]	$S_{j,ini}$ [MNm/rad]	Φ_c [mrad]	L [m]	$S_{j,R}$ [MNm/rad]	$S_{j,P}$ [MNm/rad]	Class.
B2	My	LE1	623.9	168.3	12.1	5.00	506.1	10.1	Semi-rigid

Secant rotational stiffness

Name	Comp.	Loads	M [kNm]	$S_{j,s}$ [MNm/rad]	Φ [mrad]
B2	My	LE1	100.0	168.5	0.6

Symbol explanation

$M_{j,Rd}$	Bending resistance
$S_{j,ini}$	Initial rotational stiffness
Φ_c	Rotational capacity
$S_{j,R}$	Limit value - rigid joint
$S_{j,P}$	Limit value - pinned joint
$S_{j,s}$	Secant rotational stiffness
Φ	Rotational deformation



Stiffness diagram My - ϕ , LE1

Project:
Project no:
Author:



Material

Steel S 355
Concrete C25/30

Project item Proposta de geometria 2 - chapa de 20 & M20

Design

Name Proposta de geometria 2 - chapa de 20 & M20
Description
Analysis Stiffness

Members

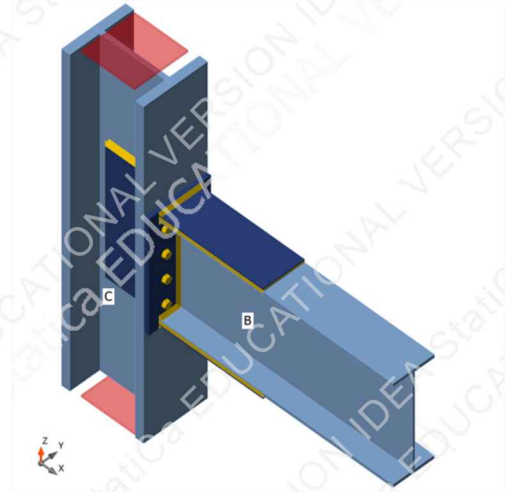
Geometry

Name	Cross-section	β - Direction [°]	γ - Pitch [°]	α - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
C	1 - HEM360	0.0	90.0	0.0	0	0	0
B	2 - IPE500	0.0	0.0	0.0	0	0	0

Supports and forces

Name	Support	Forces in	X [mm]
C / begin	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Node	0
C / end	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Node	0
B / end		Node	0

Project:
Project no:
Author:



Cross-sections

Name	Material
1 - HEM360	S 355
2 - IPE500	S 355

Bolts

Name	Diameter [mm]	f_y [MPa]	f_u [MPa]	Gross area [mm ²]
M20 10.9	20	900.0	1000.0	314

Load effects

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B / End	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0

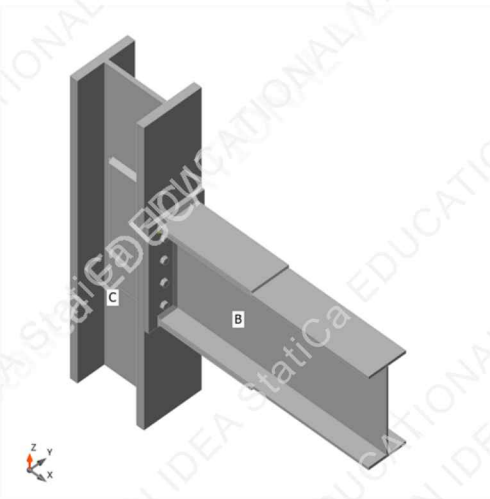
1 / 6

2 / 6

Project:
Project no:
Author:

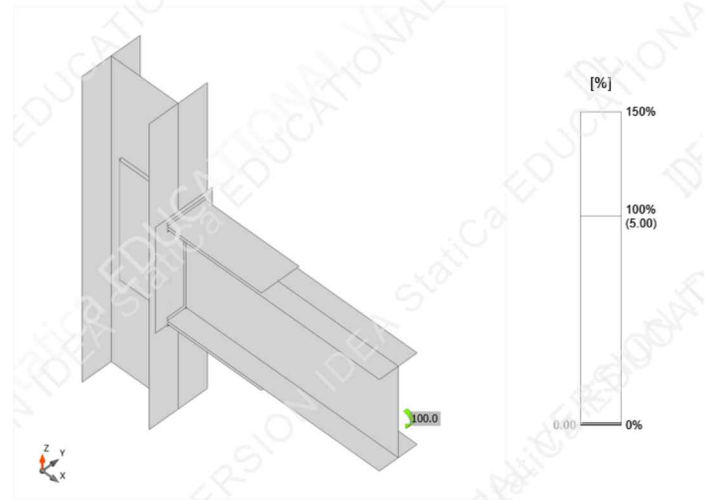


Check



Overall check, LE1

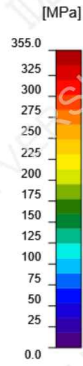
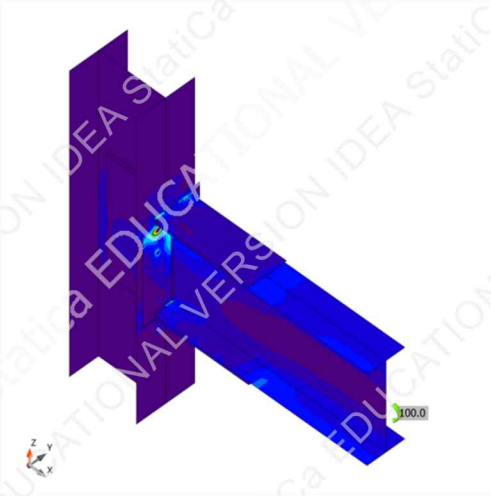
Project:
Project no:
Author:



Strain check, LE1

3 / 6

4 / 6



Equivalent stress, LE1

Rotational stiffness

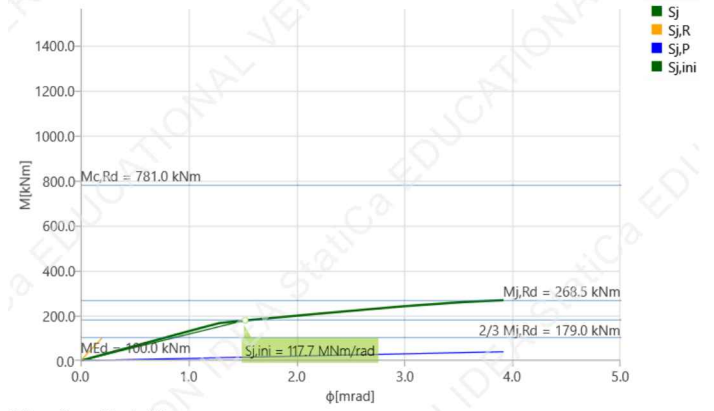
Name	Comp.	Loads	$M_{j,Rd}$ [kNm]	$S_{j,ini}$ [MNm/rad]	Φ_c [mrad]	L [m]	$S_{j,R}$ [MNm/rad]	$S_{j,P}$ [MNm/rad]	Class.
B	My	LE1	268.5	117.7	3.9	5.00	506.1	10.1	Semi-rigid

Secant rotational stiffness

Name	Comp.	Loads	M [kNm]	$S_{j,s}$ [MNm/rad]	Φ [mrad]
B	My	LE1	100.0	130.8	0.8

Symbol explanation

- $M_{j,Rd}$ Bending resistance
- $S_{j,ini}$ Initial rotational stiffness
- Φ_c Rotational capacity
- $S_{j,R}$ Limit value - rigid joint
- $S_{j,P}$ Limit value - pinned joint
- $S_{j,s}$ Secant rotational stiffness
- Φ Rotational deformation



Stiffness diagram My - ϕ , LE1

Project:
Project no:
Author:



Material

Steel S 355
Concrete C25/30

Project item Proposta de geometria 2 - chapa de 20 & M36

Design

Name Proposta de geometria 2 - chapa de 20 & M36
Description
Analysis Stiffness

Members

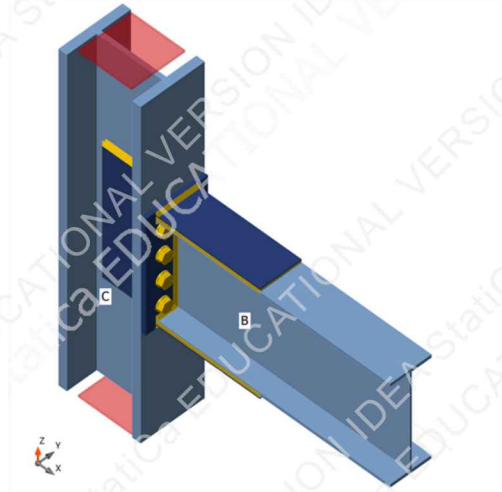
Geometry

Name	Cross-section	β - Direction [°]	γ - Pitch [°]	α - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
C	1 - HEM360	0.0	90.0	0.0	0	0	0
B	2 - IPE500	0.0	0.0	0.0	0	0	0

Supports and forces

Name	Support	Forces in	X [mm]
C / begin	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Node	0
C / end	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Node	0
B / end		Node	0

Project:
Project no:
Author:



Cross-sections

Name	Material
1 - HEM360	S 355
2 - IPE500	S 355

Bolts

Name	Diameter [mm]	f_y [MPa]	f_u [MPa]	Gross area [mm ²]
M36 10.9	36	900.0	1000.0	1018

Load effects

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B / End	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0

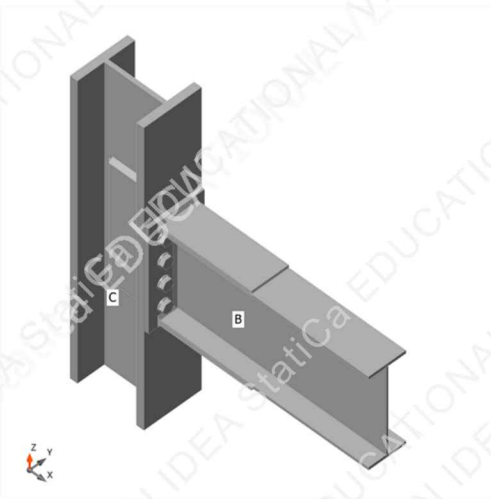
1 / 6

2 / 6

Project:
Project no:
Author:

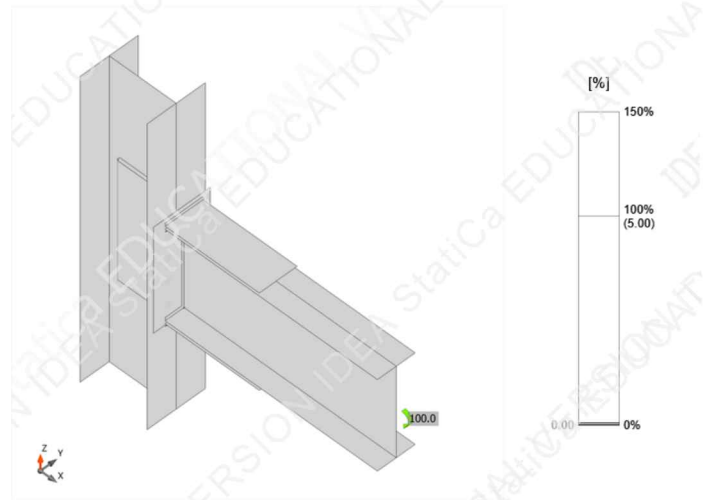


Check



Overall check, LE1

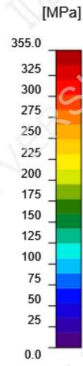
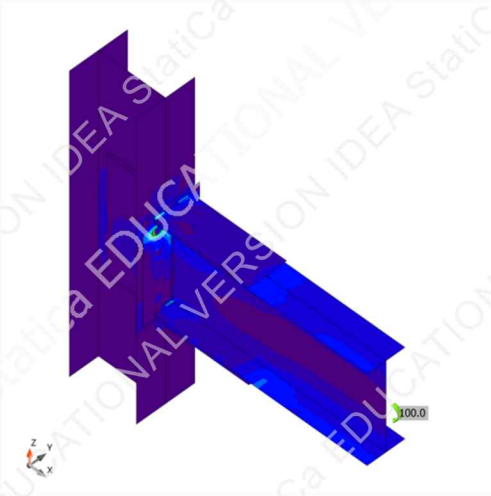
Project:
Project no:
Author:



Strain check, LE1

3 / 6

4 / 6



Equivalent stress, LE1

Rotational stiffness

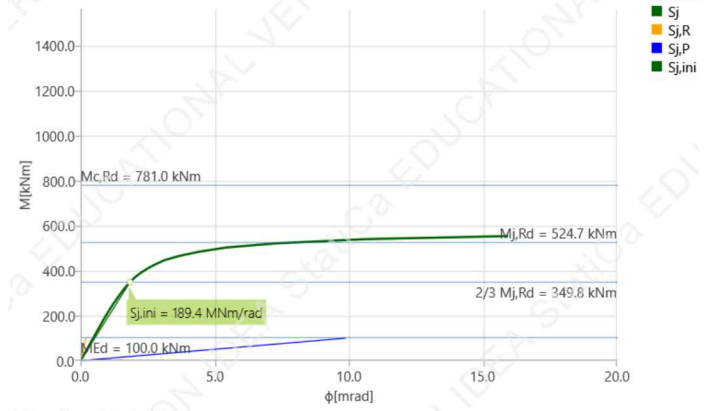
Name	Comp.	Loads	$M_{j,Rd}$ [kNm]	$S_{j,ini}$ [MNm/rad]	Φ_c [mrad]	L [m]	$S_{j,R}$ [MNm/rad]	$S_{j,P}$ [MNm/rad]	Class.
B	My	LE1	524.7	189.4	15.9	5.00	506.1	10.1	Semi-rigid

Secant rotational stiffness

Name	Comp.	Loads	M [kNm]	$S_{j,s}$ [MNm/rad]	Φ [mrad]
B	My	LE1	100.0	213.9	0.5

Symbol explanation

$M_{j,Rd}$	Bending resistance
$S_{j,ini}$	Initial rotational stiffness
Φ_c	Rotational capacity
$S_{j,R}$	Limit value - rigid joint
$S_{j,P}$	Limit value - pinned joint
$S_{j,s}$	Secant rotational stiffness
Φ	Rotational deformation



Stiffness diagram My - ϕ , LE1

Project:
Project no:
Author:



Material

Steel S 355
Concrete C25/30

Project item Proposta de geometria 2 - chapa de 50 & M20

Design

Name Proposta de geometria 2 - chapa de 50 & M20
Description
Analysis Stiffness

Members

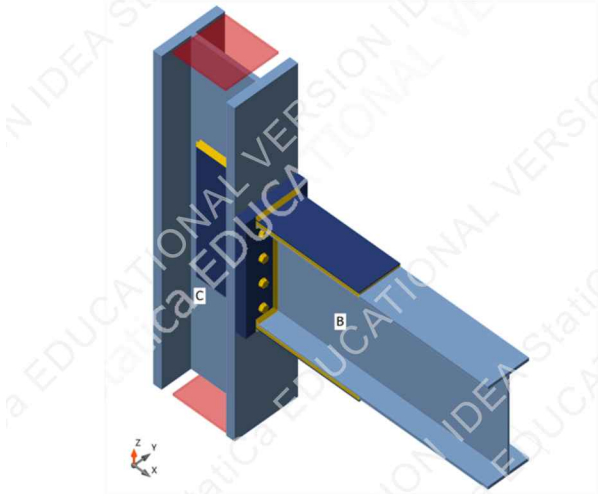
Geometry

Name	Cross-section	β - Direction [°]	γ - Pitch [°]	α - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
C	1 - HEM360	0.0	90.0	0.0	0	0	0
B	2 - IPE500	0.0	0.0	0.0	0	0	0

Supports and forces

Name	Support	Forces in	X [mm]
C / begin	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Node	0
C / end	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Node	0
B / end		Node	0

Project:
Project no:
Author:



Cross-sections

Name	Material
1 - HEM360	S 355
2 - IPE500	S 355

Bolts

Name	Diameter [mm]	f_y [MPa]	f_u [MPa]	Gross area [mm ²]
M20 10.9	20	900.0	1000.0	314

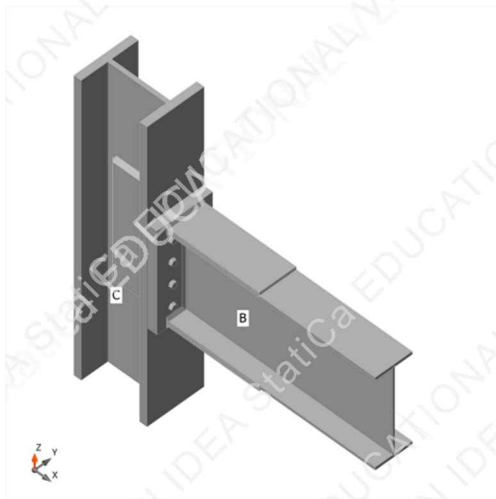
Load effects

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B / End	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0

Project:
Project no:
Author:

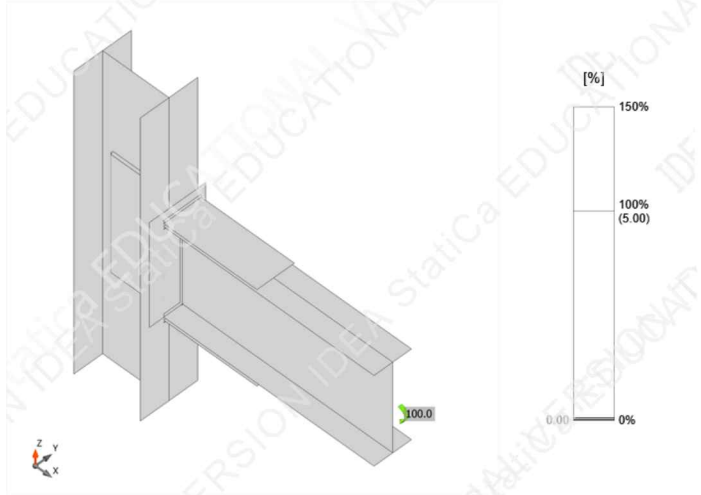


Check



Overall check, LE1

Project:
Project no:
Author:



Strain check, LE1



Equivalent stress, LE1

Rotational stiffness

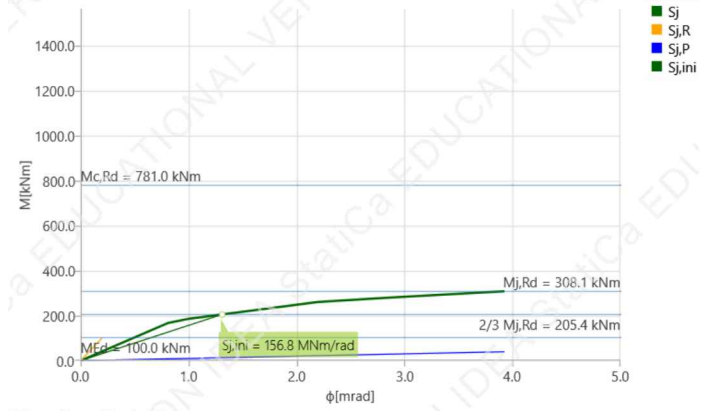
Name	Comp.	Loads	$M_{j,Rd}$ [kNm]	$S_{j,ini}$ [MNm/rad]	Φ_c [mrad]	L [m]	$S_{j,R}$ [MNm/rad]	$S_{j,P}$ [MNm/rad]	Class.
B	My	LE1	308.1	156.8	3.9	5.00	506.1	10.1	Semi-rigid

Secant rotational stiffness

Name	Comp.	Loads	M [kNm]	$S_{j,s}$ [MNm/rad]	Φ [mrad]
B	My	LE1	100.0	206.7	0.5

Symbol explanation

- $M_{j,Rd}$ Bending resistance
- $S_{j,ini}$ Initial rotational stiffness
- Φ_c Rotational capacity
- $S_{j,R}$ Limit value - rigid joint
- $S_{j,P}$ Limit value - pinned joint
- $S_{j,s}$ Secant rotational stiffness
- Φ Rotational deformation



Stiffness diagram My - ϕ , LE1

Project:
Project no:
Author:



Material

Steel S 355
Concrete C25/30

Project item Proposta de geometria 2 - chapa de 50 & M36

Design

Name Proposta de geometria 2 - chapa de 50 & M36
Description
Analysis Stiffness

Members

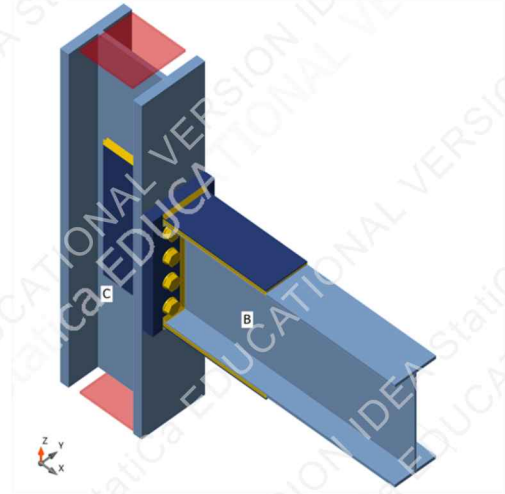
Geometry

Name	Cross-section	β - Direction [°]	γ - Pitch [°]	α - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
C	1 - HEM360	0.0	90.0	0.0	0	0	0
B	2 - IPE500	0.0	0.0	0.0	0	0	0

Supports and forces

Name	Support	Forces in	X [mm]
C / begin	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Node	0
C / end	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Node	0
B / end		Node	0

Project:
Project no:
Author:



Cross-sections

Name	Material
1 - HEM360	S 355
2 - IPE500	S 355

Bolts

Name	Diameter [mm]	f_y [MPa]	f_u [MPa]	Gross area [mm ²]
M36 10.9	36	900.0	1000.0	1018

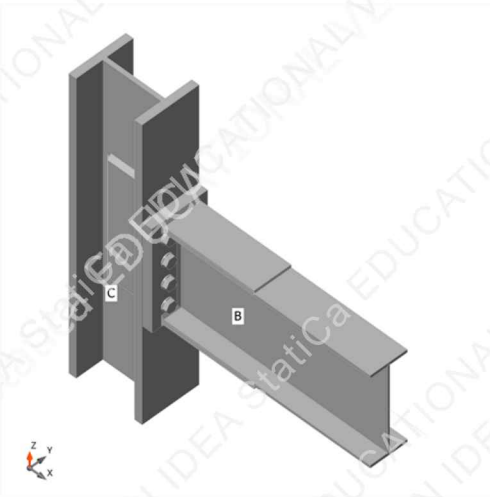
Load effects

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B / End	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0

Project:
Project no:
Author:

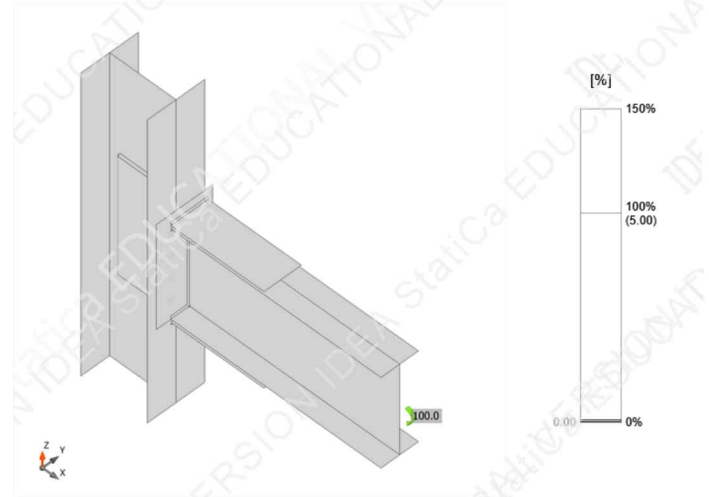


Check

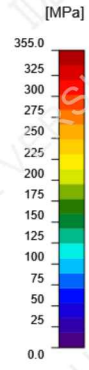
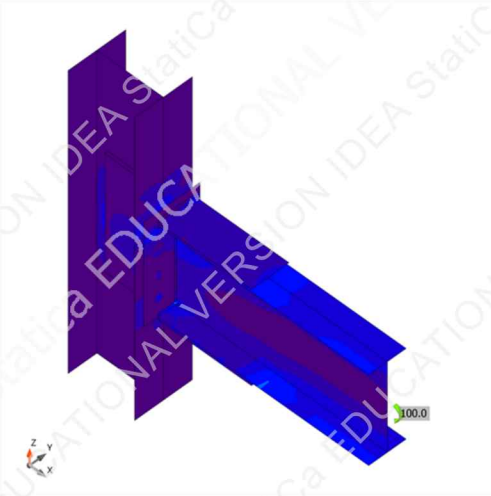


Overall check, LE1

Project:
Project no:
Author:



Strain check, LE1



Equivalent stress, LE1

Rotational stiffness

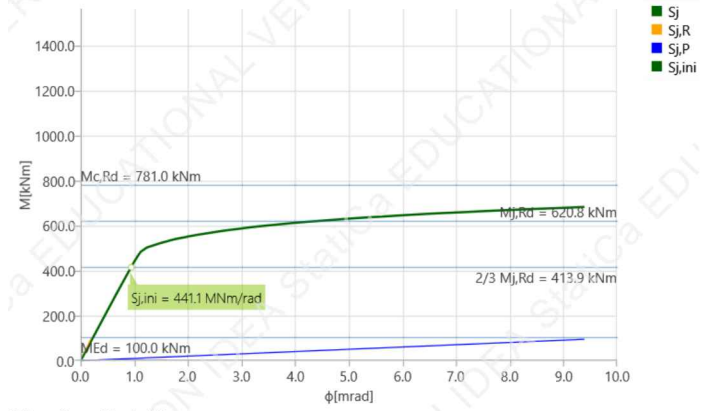
Name	Comp.	Loads	$M_{j,Rd}$ [kNm]	$S_{j,ini}$ [MNm/rad]	Φ_c [mrad]	L [m]	$S_{j,R}$ [MNm/rad]	$S_{j,P}$ [MNm/rad]	Class.
B	My	LE1	620.8	441.1	9.4	5.00	506.1	10.1	Semi-rigid

Secant rotational stiffness

Name	Comp.	Loads	M [kNm]	$S_{j,s}$ [MNm/rad]	Φ [mrad]
B	My	LE1	100.0	444.9	0.2

Symbol explanation

- $M_{j,Rd}$ Bending resistance
- $S_{j,ini}$ Initial rotational stiffness
- Φ_c Rotational capacity
- $S_{j,R}$ Limit value - rigid joint
- $S_{j,P}$ Limit value - pinned joint
- $S_{j,s}$ Secant rotational stiffness
- Φ Rotational deformation



Stiffness diagram My - ϕ , LE1