

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO ENGENHARIA CIVIL**

Raíssa Aline Ceriotti Andreola

**ANÁLISE COMPARATIVA DO PROJETO DE UM PÓRTICO
METÁLICO UTILIZANDO A NORMA BRASILEIRA E A
NORMA EUROPEIA**

Porto Alegre
janeiro 2018

RAÍSSA ALINE CERIOTTI ANDREOLA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO PROJETO DE UM PÓRTICO
METÁLICO UTILIZANDO A NORMA BRASILEIRA E A
NORMA EUROPEIA**

Trabalho de Diplomação apresentado à Comissão de Graduação do
Curso Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Ruy Carlos Ramos de Menezes

Porto Alegre
janeiro 2018

RAÍSSA ALINE CERIOTTI ANDREOLA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO PROJETO DE UM PÓRTICO
METÁLICO UTILIZANDO A NORMA BRASILEIRA E A
NORMA EUROPEIA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela banca examinadora.

Porto Alegre, janeiro de 2018

Prof. Ruy Carlos Ramos de Menezes
Dr. pela Universidade de Innsbruck
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ruy Carlos Ramos de Menezes (UFRGS)
Dr. Techn. pela Universidade de Innsbruck, Áustria

Prof. João Ricardo Masuero (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Alexandre Rodrigues Pacheco (UFRGS)
Dr. pela Pennsylvania State University

Dedico este trabalho a meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me ajudar a chegar até aqui.

Aos meus pais, pelo infinito amor que me dedicaram sempre.

À minha irmã, que mesmo não estando mais fisicamente comigo, me deu forças pelo exemplo que sempre foi para mim.

Aos meus amigos e familiares, por todo carinho e apoio.

Aos profissionais da Raiz Projeto Estrutural, por me proporcionarem enorme aprendizado durante os meses de estágio e pela liberação do uso do *software STRAP*, utilizado nesse trabalho.

Aos meus professores, em especial ao Prof. Ruy Menezes, orientador deste trabalho, por terem me acompanhado ao longo do curso, sendo fundamentais para minha formação.

Se você pode sonhar, você pode fazer.

Walt Disney

RESUMO

Este trabalho versa sobre a comparação entre as Normas Brasileira e Europeia nos principais passos de projeto e dimensionamento final de elementos em uma estrutura de um pórtico metálico. A partir da revisão bibliográfica foram levantadas as equações necessárias para o dimensionamento estrutural dos elementos submetidos a solicitações de tração, compressão, momento fletor, esforço cortante, combinação de esforços e resistência das ligações e elaborados quadros comparativos. Para a comparação dos resultados foi elaborado um pórtico com viga treliçada, do tipo utilizado em galpões, estabelecendo-se os carregamentos a que este seria submetido e obtendo-se as solicitações em cada barra. A partir de então, foi feito o dimensionamento das barras, de acordo com cada solicitação a que foram submetidas, sendo verificadas as diferenças entre os passos de cálculo e os perfis finais obtidos, bem como das ligações, nas dimensões das soldas e de parafusos. Na obtenção dos carregamentos, a Norma Europeia é mais rigorosa que a Norma Brasileira, considerando ações acidentais maiores, o que resulta em maiores solicitações nas barras. Já a Norma Brasileira acaba sendo mais rigorosa na obtenção das resistências, pois, mesmo tendo barras submetidas a solicitações menores, teve perfis com seções maiores que os da Norma Europeia em grande parte das barras. A maior diferença se deu pela obtenção da resistência à compressão, na qual a Norma Brasileira faz uso de dois coeficientes redutores da flambagem, enquanto a Norma Europeia utiliza apenas um. As ligações soldadas resultaram em diferentes valores nos comprimentos, muito menores segundo a Norma Europeia. Contudo, mesmo tendo comprimentos menores, o volume total de solda acaba sendo praticamente igual, visto que os tamanhos da perna do filete foram maiores pela Norma Europeia. O pórtico final da Norma Brasileira possui perfis com seções maiores em grande parte das barras e também maiores chapas de ligação, o que resulta em uma estrutura com maior peso. As duas Normas são, no geral, similares, apresentando algumas diferenças no resultado final, mas não deixando de possuir eficiência em seus locais de aplicação.

Palavras-chave: NBR 8800. NP EN 1993. Eurocódigo 3. Pórtico metálico. Comparação. Projeto de estruturas de aço.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática do estudo.....	29
Figura 2 – Ilustração dos espaçamentos s e g entre furos.....	42
Figura 3 – Ilustração dos valores de e_c em seções abertas.....	43
Figura 4 – Ilustração dos valores de s e p	44
Figura 5 – Ilustração dos valores de e_1 , e_2 , p_1 e d_0 em cantoneiras ligadas por uma aba..	46
Figura 6 – Valores de χ em função do índice de esbeltez λ_0	47
Figura 7 – Valores de χ em função do índice de esbeltez normalizada $\bar{\lambda}$	53
Figura 8 – Variação do momento fletor com relação ao índice de esbeltez.....	56
Figura 9 – Distribuição das tensões tangenciais em perfis I ou H.....	67
Figura 10 – Esquema da solda de filete.....	73
Figura 11 – Símbolos de distâncias mínimas entre eixos de parafusos e entre eixo à borda.....	82
Figura 12 – Esquema do pórtico utilizado no dimensionamento, medidas em cm.....	95
Figura 13 – Numeração de cada barra no pórtico.....	96
Figura 14 – Tabela de telhas e cargas admissíveis.....	97
Figura 15 – Carregamento de vento, hipóteses I e II, respectivamente.....	98
Figura 16 – Numeração dos nós no pórtico.....	109

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fatores de redução Q_s e Q_a para elementos AA e AL em seções I ou H e cantoneiras para valores de (b/t) superiores a $(b/t)_{lim}$	49
Quadro 2 – Valores limites da relação c/t para definição de classes.....	51
Quadro 3 – Determinação do tipo de curva de flambagem de cada seção.....	53
Quadro 4 – Determinação do índice de esbeltez λ para alma e mesa do perfil e para situação de FLT.....	55
Quadro 5 – Determinação de momentos resistentes e limites de esbeltez para seções I ou H em FLA, FLM e FLT.....	57
Quadro 6 – Características de cada classe de seções transversais devido à flexão.....	58
Quadro 7 – Fatores de cálculo do momento crítico em barras de comprimento L e seções duplamente simétricas.....	62
Quadro 8 – Coeficientes C1, C2 e C3 para vigas com cargas transversais e valores correspondentes do fator K_z	64
Quadro 9 – Expressões para cálculo do esforço cortante resistente de cálculo da seção..	66
Quadro 10 – Condições para barras submetidas a esforços combinados de momento fletor e força axial.....	69
Quadro 11 – Expressões para cálculo do momento fletor resistente reduzido da seção bruta em relação aos eixos de menor ou maior inércia.....	71
Quadro 12 – Verificações na ligação no metal base.....	76
Quadro 13 – Condições de espessura e comprimentos na determinação do filete de solda.....	77
Quadro 14 – Fator de correlação β_w para soldas de filete.....	78
Quadro 15 – Estados limites últimos a serem verificados em ligações parafusadas.....	80
Quadro 16 – Distâncias mínimas e máximas entre eixos de parafusos e entre eixo à borda.....	83
Quadro 17 – Dimensões dos furos normalizados de acordo com o tipo de parafuso.....	84
Quadro 18 – Esforços resistentes em ligações parafusadas.....	85
Quadro 19 – Comparativos para combinações de ações e resistências de cálculo.....	87
Quadro 20 – Comparativos para resistência à tração.....	88
Quadro 21 – Comparativos para resistência à compressão.....	89
Quadro 22 – Comparativos para resistência ao momento fletor.....	90
Quadro 23 – Comparativos para resistência ao esforço cortante.....	91
Quadro 24 – Comparativos para verificação da combinação de esforços.....	92
Quadro 25 – Comparativos para verificação das ligações por solda de filete.....	93
Quadro 26 – Comparativos para verificação das ligações parafusadas.....	94

Quadro 27 – Combinações de ações segundo a Norma Brasileira.....	99
Quadro 28 – Combinações de ações segundo a Norma Europeia.....	99
Quadro 29 – Similaridade entre normas de aços estruturais para a construção civil.....	103
Quadro 30 – Perfis utilizados em cada barra no dimensionamento final.....	105
Quadro 31 – Comparativo entre estimativas de peso de perfis e chapas, quantidade de parafusos e metros de solda.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores dos coeficientes de ponderação γ_g e γ_q das ações.....	33
Tabela 2 – Valores dos fatores de combinação ψ_0 das ações.....	34
Tabela 3 – Valores dos coeficientes ψ_0 das ações.....	36
Tabela 4 – Valores dos coeficientes γ_G e γ_Q das ações.....	36
Tabela 5 – Valores dos coeficientes de ponderação das resistências γ_m	38
Tabela 6 – Valores dos coeficientes de ponderação das resistências γ_M	39
Tabela 7 – Valores dos coeficientes de redução β_2 e β_3	46
Tabela 8 – Tamanho mínimo da perna da solda de filete.....	75
Tabela 9 – Tamanho máximo da perna da solda de filete.....	75
Tabela 10 – Dimensões máximas de furos.....	80
Tabela 11 – Distâncias mínimas do centro de um furo-padrão à borda.....	81
Tabela 12 – Solicitações máximas obtidas em cada barra segundo ambas as Normas.....	102

LISTA DE SIGLAS

AA – Apoiado-Apoiado

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AL – Apoiado-Livre

AR – Alta Resistência

CEN – Comitê Europeu de Normalização

FLA – Flambagem Local da Alma

FLM – Flambagem Local da Mesa

FLT – Flambagem Lateral com Torção

NP – Norma Portuguesa

UE – União Europeia

LISTA DE SÍMBOLOS

NORMA BRASILEIRA

a – distância entre linhas de centro de dois enrijecedores transversais adjacentes

A_b – área bruta da seção do parafuso

A_c – área da seção transversal dos elementos conectados

A_e – área líquida efetiva da seção transversal da barra

A_{ef} – área efetiva da seção transversal

A_g – área bruta da seção transversal da barra

A_{gv} - área bruta sujeita a cisalhamento

A_{MB} - área líquida do metal base sujeita ao cisalhamento

A_n – área líquida da barra

A_{nv} – área líquida sujeita a cisalhamento

A_{nt} - área líquida sujeita a tração

A_w – área da alma do perfil

b – largura de um elemento comprimido AA

b_{ef} – largura efetiva de um elemento comprimido AA

C_b – fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme

C_t – coeficiente de redução da área líquida

C_{ts} - coeficiente igual a 1,0 quando a tensão de tração na área líquida for uniforme e igual a 0,5 quando for não-uniforme

C_w – constante de empenamento da seção transversal

d – altura total da seção transversal

d_b – diâmetro do parafuso

E – módulo de elasticidade do aço

e_c – excentricidade da ligação

f_u – resistência à ruptura do aço

f_{ub} – resistência à ruptura do material do parafuso

$f_{v,med}$ – tensão de cisalhamento

f_y – resistência ao escoamento do aço

f_w - resistência mínima a tração do metal solda

F_d – valor da ação normal combinada

F_G – valor característico das ações permanentes

F_Q – valor característico das ações variáveis

F_{Rd} – esforço resistente do metal base em ligações soldadas

$F_{c,Rd}$ – esforço resistente à pressão de contato na parede de um furo

$F_{r,Rd}$ – esforço resistente para o estado limite de colapso por rasgamento

$F_{t,Rd}$ – esforço de tração resistente de cálculo do parafuso

$F_{t,Sd}$ – força de tração solicitante por parafuso

$F_{v,Rd}$ – esforço de cisalhamento resistente de cálculo do parafuso

$F_{v,Sd}$ – força de cisalhamento solicitante no plano considerado do parafuso

$F_{w,Rd}$ – resistência à ruptura da solda na seção efetiva

h – altura da alma do perfil

I_y – momento de inércia em relação ao eixo que passa pelo plano médio da alma

J – constante de torção da seção transversal

k_v – coeficiente para cálculo do parâmetro de esbeltez correspondente ao esforço cortante

L_b – distância entre duas seções contidas à flambagem lateral com torção

ℓ_c - comprimento efetivo da ligação

ℓ_f - distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou borda livre

M_A – valor do momento fletor solicitante de cálculo, em módulo, na seção situada a um quarto do comprimento destravado, medido a partir da extremidade esquerda

M_B – valor do momento fletor solicitante de cálculo, em módulo, na seção central do comprimento destravado

M_C – valor do momento fletor solicitante de cálculo, em módulo, na seção situada a três quartos do comprimento destravado, medido a partir da extremidade esquerda

M_{cr} – momento fletor de flambagem elástica

$M_{m\acute{a}x}$ – valor do momento fletor máximo solicitante de cálculo, em módulo, do comprimento destravado

M_n – momento fletor resistente de projeto

M_{pl} – momento fletor de plastificação da seção transversal

M_r – momento fletor correspondente ao início do escoamento

M_{Rd} – momento fletor resistente de cálculo

$M_{x,Sd}$ – momento fletor solicitante de cálculo em relação ao eixo x da seção transversal

$M_{x,Rd}$ – momento fletor resistente de cálculo em relação ao eixo x da seção transversal

$M_{y,Sd}$ – momento fletor solicitante de cálculo em relação ao eixo y da seção transversal

$M_{y,Rd}$ – momento fletor resistente de cálculo em relação ao eixo y da seção transversal

$N_{c,Rd}$ – força axial de compressão resistente de cálculo

N_{Sd} – força axial solicitante de cálculo de tração ou de compressão

N_{Rd} – força axial resistente de cálculo de tração ou de compressão

$N_{t,Rd}$ – força axial de tração resistente de cálculo

Q – fator de redução total associado à flambagem local

Q_a – fator de redução da flambagem local para elementos AA

Q_s – fator de redução da flambagem local para elementos AL

r_y – raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão

R_d – valor da resistência de cálculo

R_k – valor da resistência característica

S_d – solitação de cálculo

t – espessura de um elemento comprimido AA

t_p – espessura da parte ligada numa ligação parafusada

t_w – espessura da alma do perfil

V – valor do esforço cortante

V_{pl} – força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento

V_{Rd} – força cortante resistente de cálculo

W – módulo de resistência mínimo elástico da seção

Z_x – módulo de resistência plástico da seção

γ_{a1} – coeficiente de ponderação das resistências a escoamento, flambagem e instabilidade

γ_{a2} – coeficiente de ponderação das resistências a ruptura

γ_g – coeficiente de ponderação das ações permanentes

γ_m – coeficiente de ponderação das resistências

γ_q – coeficiente de ponderação das ações variáveis

λ – parâmetro de esbeltez

λ_0 – índice de esbeltez reduzido

λ_p – parâmetro de esbeltez limite correspondente à plastificação

λ_r – parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento

σ – tensão que pode atuar no elemento analisado

σ_r – tensão residual de compressão nas mesas

χ – fator de redução associado à resistência à compressão

ψ_0 – fator de combinação de ações

NORMA EUROPEIA

a - valor da espessura da garganta efetiva da solda

a_d – fator para o cálculo de α_b que diferencia parafusos de extremidade ou internos

A – área de uma seção transversal

A_{eff} – área efetiva de uma seção transversal

A_f – área de uma mesa tracionada

$A_{f,net}$ – área útil de uma mesa tracionada

A_{net} – área útil de uma seção transversal

A_{nt} – área útil solicitada à tração

A_{nv} – área útil solicitada ao cisalhamento

A_p – área da seção bruta do parafuso

A_s – área da seção resistente do parafuso

A_v – área resistente ao esforço cortante

A_w – área da alma

b – largura total da seção

c – largura ou altura de parte de uma seção transversal

C_1 e C_2 - coeficientes dependentes da forma do diagrama de momentos fletores

d – diâmetro nominal do parafuso

d_0 – diâmetro do furo para o parafuso

e_1 – distância entre o centro do furo e a extremidade adjacente, ver figura 11

e_2 – distância entre o centro do furo e a extremidade adjacente, ver figura 11

E – módulo de elasticidade longitudinal do aço

E_d – valor de cálculo do efeito das ações

f_u – tensão última do aço

f_{ub} – resistência à ruptura do material do parafuso

f_y – tensão de escoamento do aço

$f_{v,w,d}$ – valor de cálculo da resistência ao corte da solda

$F_{b,Rd}$ – valor de cálculo da resistência ao esmagamento do parafuso

$F_{t,Ed}$ – valor de cálculo do esforço de tração por parafuso

$F_{t,Rd}$ – valor de cálculo da resistência à tração do parafuso

$F_{v,Ed}$ – valor de cálculo do esforço cortante por parafuso

$F_{v,Rd}$ – valor de cálculo da resistência ao cisalhamento do parafuso

$F_{w,Rd}$ – valor de cálculo da resistência da solda

G – módulo de elasticidade transversal do aço

G_k – valor característico de uma ação permanente

h_w – altura da alma

I_T – constante de torção

I_W – constante de empenamento

I_z – momento de inércia em relação ao eixo z (menor eixo)

k_1 – coeficiente para parafusos de extremidade ou internos

k_{yy} – fator de interação

K_w – fator de comprimento efetivo dependente do apoio nas extremidades relativo ao empenamento

K_z – fator de comprimento efetivo dependente do apoio nas extremidades relativo a rotações extremas em torno do eixo de menor inércia

l_{eff} - comprimento efetivo da solda de filete

L – comprimento entre seções contraventadas

L_f - comprimento da solda de filete

$M_{b,Rd}$ – valor de cálculo do momento fletor resistente à flambagem lateral (em flexo-torção)

M_{cr} – momento crítico elástico de flambagem lateral

M_{cr}^E – momento crítico sem levar em conta o fator de multiplicação

$M_{c,Rd}$ – valor de cálculo do momento fletor resistente em relação a um eixo principal de uma seção transversal

$M_{el,Rd}$ – valor do momento elástico resistente da seção

$M_{N,y,Rd}$ – valor do momento reduzido em torno de y para flexão composta

$M_{N,z,Rd}$ – valor do momento reduzido em torno de z para flexão composta

$M_{pl,Rd}$ – valor do momento plástico resistente da seção

$M_{y,Rk}$ – valor característico da resistência à flexão em torno do eixo y

$N_{b,Rd}$ – valor de cálculo do esforço normal resistente à flambagem de um elemento comprimido

$N_{c,Rd}$ – valor de cálculo do esforço normal resistente à compressão de uma seção transversal

$N_{net,Rd}$ – valor de cálculo do esforço normal resistente plástico de tração da seção transversal útil

$N_{pl,Rd}$ – valor de cálculo do esforço normal resistente plástico da seção bruta

N_{Rk} – valor característico da resistência à compressão

$N_{u,Rd}$ – valor de cálculo do esforço normal resistente ultimo da seção útil na zona com furos de ligação

p_1 – distância entre eixos de parafuso em fiada, ver figura 11

$p_{1,0}$ – distância entre o eixo de parafusos de uma fiada exterior, ver figura 11

$p_{1,i}$ – distância entre o eixo de parafusos de um fiada interior, ver figura 11

p_2 – distância entre fiadas adjacentes de parafusos, ver figura 11

Q_k – valor característico de uma ação variável

r – raio de concordância da seção laminada

R_d – valor de cálculo da resistência

R_k – valor característico da resistência

S_d – valor da sollicitação na barra

t – espessura da barra

t_f – espessura da mesa

t_p – menor espessura da parte ligada

t_w – espessura da alma

$V_{\text{eff},1,Rd}$ – valor de cálculo da resistência ao rasgamento em um grupo de parafusos sujeitos a um carregamento centrado

$V_{\text{eff},2,Rd}$ – valor de cálculo da resistência ao rasgamento em um grupo de parafusos sujeitos a um carregamento excêntrico

V_{Ed} – valor de cálculo do esforço cortante atuante

$V_{pl,Rd}$ – valor de cálculo do esforço cortante resistente plástico

$W_{el,min}$ – módulo de flexão elástico mínimo

W_{pl} – módulo de flexão plástico

W_y – módulo de flexão adequado considerando a classe de determinada seção

z_g – excentricidade do ponto de aplicação da carga em relação ao centro de gravidade da seção

α_b – fator para cálculo da resistência ao esmagamento

α_m – fator de cálculo do momento crítico

α_v – fator que diferencia parafusos onde o plano de corte passa ou não passam pela rosca

β_2 e β_3 – coeficientes de redução em função da distância entre furos

β_w – fator de correlação para o cálculo da resistência da solda

γ_G – coeficiente de ponderação para ações permanentes

$\gamma_{G,inf}$ – coeficiente parcial relativo à ação permanente j a ser utilizada na determinação dos valores de cálculo inferiores, para ações favoráveis à estrutura

$\gamma_{G,sup}$ – coeficiente parcial relativo à ação permanente j a ser utilizada na determinação dos valores de cálculo superiores, para ações desfavoráveis à estrutura

γ_M – valor do coeficiente parcial de segurança global relativo à resistência considerada

γ_{M0} – coeficiente parcial de segurança para seções transversais de qualquer classe

γ_{M1} – coeficiente parcial de segurança para avaliação de flambagem

γ_{M2} – coeficiente parcial de segurança para resistência de seções transversais tracionadas em zonas com furos de ligação

γ_Q – coeficiente de ponderação para ações variáveis

ε – fator que depende de f_y

η – coeficiente para o cálculo do esforço cortante resistente considerado igual a 1,0

$\bar{\lambda}$ – índice de esbeltez normalizado

$\bar{\lambda}_{LT}$ – índice de esbeltez normalizado para flambagem lateral

ρ – coeficiente de redução para determinar os valores de cálculo dos momento fletores resistentes, tendo em conta a interação com esforço cortante

τ_{Ed} – valor de cálculo da tensão tangencial local atuante

χ – coeficiente de redução associado ao modo de flambagem considerado

χ_{LT} – coeficiente de redução para a flambagem lateral

χ_y – coeficiente de redução associado à flambagem por flexão em torno do eixo y

ψ_0 – coeficiente para a determinação do valor de combinação de uma ação variável

ϕ_{LT} – valor para determinação do coeficiente de redução χ_{LT}

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	27
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	27
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	27
2.2.1 Objetivo Principal	27
2.2.2 Objetivos Secundários	27
2.3 PREMISSE	28
2.4 DELIMITAÇÕES	28
2.5 LIMITAÇÕES	28
2.6 DELINEAMENTO	29
3 AÇÕES	31
3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS AÇÕES	31
3.1.1 Norma Brasileira	31
3.1.2 Norma Europeia	32
3.2 COMBINAÇÕES DE AÇÕES	32
3.2.1 Norma Brasileira	32
3.2.2 Norma Europeia	35
4 RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO	38
5 CONDIÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS	40
5.1 ELEMENTOS SUBMETIDOS À FORÇA DE TRAÇÃO	40
5.1.1 Norma Brasileira	40
5.1.2 Norma Europeia	43
5.2 ELEMENTOS SUBMETIDOS À FORÇA DE COMPRESSÃO	46
5.2.1 Norma Brasileira	46
5.2.2 Norma Europeia	49
5.3 ELEMENTOS SUBMETIDOS À FLEXÃO	54
5.3.1 Norma Brasileira	54
5.3.2 Norma Europeia	58
5.4 ELEMENTOS SUBMETIDOS AO ESFORÇO CORTANTE	64
5.4.1 Norma Brasileira	64
5.4.2 Norma Europeia	67
5.5 ELEMENTOS SUBMETIDOS À COMBINAÇÕES DE ESFORÇOS SOLICITANTES	69

5.5.1 Norma Brasileira	69
5.5.2 Norma Europeia	69
6 CONDIÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES	73
6.1 LIGAÇÕES POR SOLDA DE FILETE	73
6.1.1 Norma Brasileira	73
6.1.2 Norma Europeia	76
6.2 LIGAÇÃO ENTRE TRELIÇA E PILARES	78
6.2.1 Norma Brasileira	79
6.2.2 Norma Europeia	81
7 QUADROS COMPARATIVOS	87
8 APLICAÇÃO: OBTENÇÃO DO CARREGAMENTO PARA UM PÓRTICO SEGUNDO AS NORMAS CONSIDERADAS	95
9 RESULTADOS OBTIDOS E COMPARAÇÕES	101
9.1 SOLICITAÇÕES	101
9.2 AÇO UTILIZADO E VISÃO GERAL DO DIMENSIONAMENTO	103
9.3 DIMENSIONAMENTO À COMPRESSÃO	106
9.4 DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO	106
9.5 DIMENSIONAMENTO AO ESFORÇO CORTANTE	107
9.6 COMBINAÇÃO DE ESFORÇOS	108
9.7 DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES	109
9.7.1 Ligações em barras da treliça	110
9.7.2 Ligações da treliça nos pilares	111
9.7.3 Emendas dos banzos	112
9.8 DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO	113
10 CONCLUSÕES	114
REFERÊNCIAS	117
APÊNDICE A	119
APÊNDICE B	128
APÊNDICE C	136

1 INTRODUÇÃO

Normas técnicas de projeto são recomendações utilizadas para que se tenha uma padronização e qualidade nos projetos a serem executados, de modo que se contemple neles segurança, confiabilidade, eficiência e respeito ambiental. A correta interpretação e a obediência ao prescrito nas normas é o modo de se assegurar que o projeto em execução siga metodologias consolidadas pelo desenvolvimento da teoria sobre a modelagem de fenômenos físicos e pela realimentação resultante de sua aplicação na prática.

O projeto e a execução de edificações são orientados por normas específicas para cada situação. No Brasil, as normas técnicas foram elaboradas tendo validade em todo território nacional. Já as normas técnicas europeias fazem parte de um conjunto de códigos que foram unificados para terem validade em todos os países da União Europeia (UE), chamados de *Eurocodes*, ou Eurocódigos, em português. Mesmo sendo um conjunto de normas com validade em toda UE, cada país possui sua versão dos Eurocódigos traduzida e acompanhada de um Anexo Nacional, contemplando questões que podem variar especificamente para cada lugar.

As normas técnicas brasileiras seguem padrões estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo a NBR8800 a norma específica para estruturas de aço e mistas de aço e concreto. Segundo define Santos (2016), os Eurocódigos foram desenvolvidos por mais de trinta anos por membros dos Estados da UE, sendo atualmente considerados os códigos estruturais mais avançados do mundo. O conjunto específico dos Eurocódigos para estruturas de aço é o Eurocódigo 3. Em 2008, a NBR8800 passou por uma revisão, a qual teve como referência diversas normas internacionais, como a americana, o próprio Eurocódigo 3 e o Eurocódigo 4 – o qual trata de estruturas mistas de aço e concreto. Desse modo, a NBR8800 incorpora também o que existe de mais moderno, visando contribuir para a construção de estruturas de aço e mistas no Brasil. (SANTOS, 2016).

Com base nisto, o presente trabalho tem o objetivo de comparar o dimensionamento de uma estrutura metálica pela Norma Brasileira ABNT NBR 8800:2008 e pela Norma Europeia Eurocódigo 3, em sua versão portuguesa NP EN 1993:2010, analisando as semelhanças e diferenças entre as duas normas, tendo a finalidade de se obter um melhor entendimento sobre

como diferentes métodos de cálculo podem afetar a configuração final de uma mesma estrutura. Mesmo o Eurocódigo 3 tendo servido como referência para elaboração e atualização da NBR 8800, normas técnicas diferem de um local para o outro. Estas diferenças podem representar variações de conceitos, na metodologia e em abordagens específicas, as quais devem ser analisadas para que a estrutura seja aceita no local onde estará situada.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho estão descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: quais as diferenças na formulação empregada no dimensionamento de uma estrutura metálica comum quando executada de acordo com as recomendações da Norma Brasileira e com as recomendações da Norma Europeia?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a análise comparativa entre as Normas Brasileira e Europeia nos principais passos de projeto e dimensionamento final de elementos em uma estrutura de um pórtico metálico.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) comparação no estabelecimento de carregamentos e cálculo de solicitações de acordo com cada Norma;
- b) apresentação dos métodos e hipóteses considerados por cada Norma na determinação da resistência dos elementos estruturais quando submetidos a forças de compressão, tração, flexão e esforço cortante;

- c) determinação e comparação na resistência e dimensionamento de ligações dos elementos metálicos segundo cada Norma;

2.3 PREMISSA

O trabalho tem a premissa de que todo projeto estrutural deve ser baseado em uma correta interpretação e obediência ao prescrito nas Normas vigentes em seu local de execução. Sendo assim, Normas de locais diferentes podem ter pequenas diferenças em resultados finais mesmo baseando-se em abordagens semelhantes.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a comparação de dimensionamento de um pórtico metálico com viga treliçada segundo a Norma Brasileira, ABNT NBR 8800:2008, e a Norma Europeia em sua versão portuguesa, NP EN 1993:2010 e NP EN 1990:2009.

2.5 LIMITAÇÕES

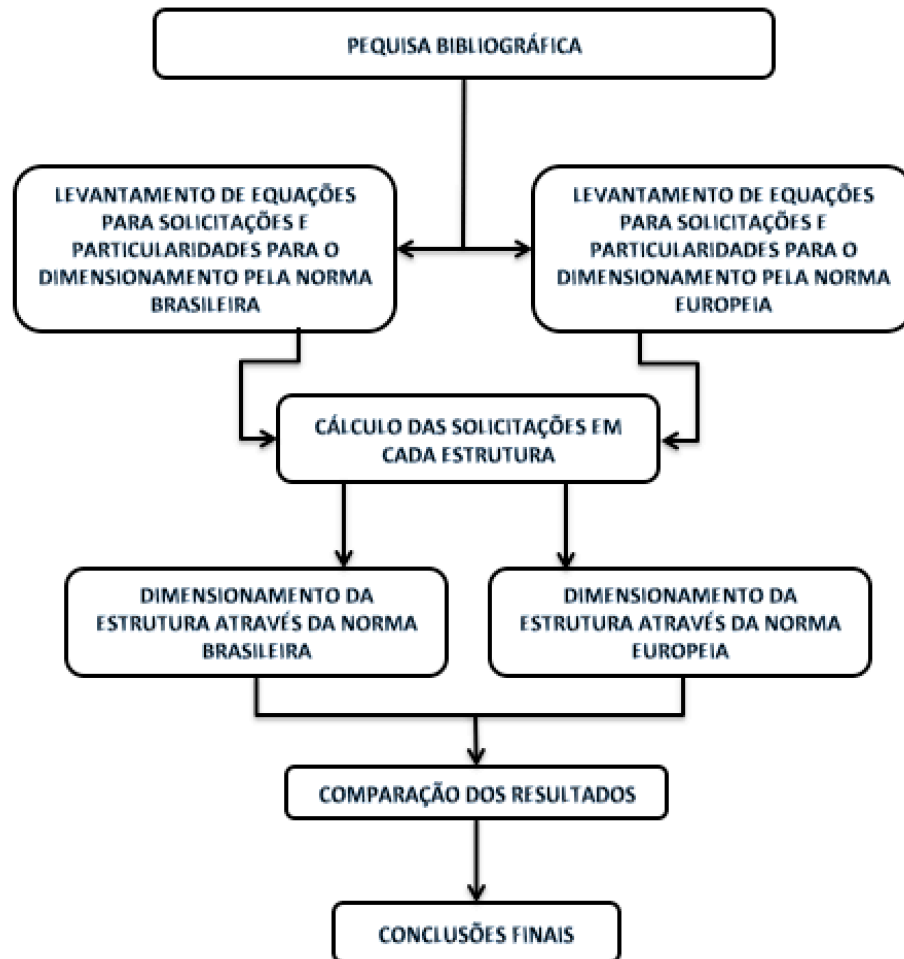
São limitações do trabalho:

- a) as análises do estruturais são limitadas a análises bidimensionais, ou seja, é considerada apenas a própria área de responsabilidade e influência;
- b) obtenção de carregamentos e dimensionamentos são realizados somente para o estado limite último;
- c) são considerados carregamentos apenas para combinações últimas normais;
- d) somente perfis de seções I ou H laminados de alma não esbelta são utilizados para pilares e cantoneiras de abas iguais para vigas treliçadas;
- e) para o dimensionamento à flexão são analisados somente casos de perfis fletidos em relação ao eixo de maior inércia;
- f) não são analisadas o as ligações de placas de base nas fundações;
- g) o procedimento de cálculo para a obtenção da carga de vento atuante não é contemplado, sendo considerado um mesmo carregamento para o dimensionamento pelas duas Normas.

2.6 DELINEAMENTO

De modo que se obtenha um andamento organizado do trabalho, o mesmo foi dividido em etapas, segundo representado na figura 1.

Figura 1 – Representação esquemática do estudo



(fonte: elaborado pela autora)

A primeira etapa do trabalho consiste na **pesquisa bibliográfica** a respeito das Normas Brasileira e Europeia, que é feita como um paralelo de comparação, contemplando suas informações, filosofia geral, particularidades e critérios de análise para obtenção dos carregamentos a serem considerados e do dimensionamento final das estruturas. Como se trata de uma etapa com coletas de informações necessárias para a conclusão de etapas subsequentes, é uma etapa com continuidade durante todo o trabalho.

Na próxima etapa é feito o **levantamento de equações** para o cálculo das solicitações e do dimensionamento pelas duas Normas. É feito um paralelo de comparação, o qual contempla a coleta de dados necessária para obtenção das combinações de ações e para o cálculo das resistências de perfis à tração, compressão, momento fletor, esforço cortante e de resistência das ligações.

A partir do carregamento resultante das combinações de ações foi feito o **cálculo das solicitações** nas barras do pórtico, de acordo com cada Norma. Para tal análise foi utilizado o *software STRAP*, disponibilizado pela empresa Raiz Projeto Estrutural.

De posse das solicitações a que as barras estão submetidas foi feito o **dimensionamento** de cada estrutura através das equações levantadas na etapa 2, de acordo com sua respectiva Norma. O pórtico com viga treliçada analisado contempla a verificação dos perfis da treliça a tração, compressão e resistência das ligações. Os perfis dos pilares são verificados adicionalmente ao esforço cortante e momento fletor.

Por fim, na última etapa do trabalho, é feita uma análise, na qual é descrita a **comparação dos resultados** obtidos de acordo com cada Norma e, desse modo, pode ser feita uma **conclusão final** sobre as semelhanças e diferenças entre cada Norma e sobre como as diferenças refletem na configuração final dos elementos.

3 AÇÕES

Neste capítulo são abordadas as considerações necessárias para a obtenção dos carregamentos utilizados no cálculo das solicitações estruturais, através da combinação no estado limite último.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS AÇÕES

3.1.1 Norma Brasileira

Segundo a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 15), todas as ações que possam produzir consequências significativas a uma estrutura devem ser consideradas e, de acordo com a ABNT NBR 8681, elas são classificadas em permanentes, variáveis e excepcionais.

As ações **permanentes**, de acordo com a NBR 8800, são ações de duração contínua durante a vida útil da estrutura e são subdivididas em diretas e indiretas. Ações permanentes diretas contemplam os pesos próprios da estrutura e de seus elementos construtivos. Já as permanentes indiretas são constituídas por deformações, imperfeições geométricas e deslocamentos de apoios. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 15).

Em relação as ações **variáveis**, a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 15) as define como ações que possuem valores com a possibilidade de apresentar variações significativas durante a vida útil da estrutura, sendo causadas por sobrecargas de uso e ocupação, ação de vento, pressões hidrostáticas e dinâmicas e variações de temperatura.

Ações **excepcionais** possuem duração extremamente curta e pouca probabilidade de ocorrência, contemplando explosões, choques de veículos, abalos sísmicos, incêndios e enchentes. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 16).

3.1.2 Norma Europeia

Segundo a NP EN 1990 (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2009, p. 30), as ações são classificadas de acordo com sua variação no tempo em permanentes, variáveis e acidentais.

As ações **permanentes**, **variáveis** e **acidentais** são classificadas do mesmo modo descrito pela NBR 8800, sendo constituídas, respectivamente, por pesos próprios da estrutura e equipamentos fixos, sobrecargas e ações de vento e neve, e explosões ou choques provenientes de veículos. Vale ressaltar que dependendo do local onde a estrutura será construída pode haver necessidade de se considerar ações sísmicas e de neve como cargas acidentais e/ou variáveis. (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2009, p. 30).

3.2 COMBINAÇÕES DE AÇÕES

3.2.1 Norma Brasileira

A NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 17) define que as ações no estado limite último são ponderadas por coeficientes que consideram sua variabilidade, simultaneidade e possíveis erros de avaliação de efeitos. Os coeficientes que representam a variabilidade e erros de avaliação de ações permanentes são representados por γ_g , e os de ações variáveis são representados por γ_q . Para o fator de combinação considerando a simultaneidade de atuação das ações é utilizado o coeficiente ψ_0 . Os valores para coeficientes de ponderação e fatores de combinação são apresentados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Valores dos coeficientes de ponderação γ_g e γ_q das ações

Combinações	Ações permanentes (γ_g) ^{a c}					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)
	Ações variáveis (γ_q) ^{a d}					
	Efeito da temperatura ^b	Ação do vento	Ações truncadas ^e	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação		
Normais	1,20	1,40	1,20	1,50		
Especiais ou de construção	1,00	1,20	1,10	1,30		
Excepcionais	1,00	1,00	1,00	1,00		

^a Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes para as ações permanentes favoráveis à segurança; ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não devem ser incluídas nas combinações.

^b O efeito de temperatura citado não inclui o gerado por equipamentos, o qual deve ser considerado ação decorrente do uso e ocupação da edificação.

^c Nas combinações normais, as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,35 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m², ou 1,40 quando isso não ocorrer. Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,25 e 1,30, e nas combinações excepcionais, 1,15 e 1,20.

^d Nas combinações normais, se as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança forem agrupadas, as ações variáveis que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas também todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,50 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m², ou 1,40 quando isso não ocorrer (mesmo nesse caso, o efeito da temperatura pode ser considerado isoladamente, com o seu próprio coeficiente de ponderação). Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,30 e 1,20, e nas combinações excepcionais, sempre 1,00.

^e Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo físico, de modo que o valor dessa ação não possa superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado nesta Tabela se aplica a este valor-limite.

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p.18)

Tabela 2 – Valores dos fatores de combinação ψ_0 das ações

Ações		ψ_0
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,5
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas	0,7
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas	0,8
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7

(fonte: elaborado pela autora, adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p.19)

De acordo com a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 19) as combinações de ações para o estado limite último são classificadas em normais, especiais, de construção e excepcionais. Neste caso será abordado apenas o caso para combinações normais.

As combinações **normais** decorrem do uso previsto para a estrutura e, em cada caso, devem estar contidas as ações permanentes e ação variável principal, com seus respectivos valores característicos, e as demais ações variáveis secundárias com seus fatores de combinação, conforme a expressão (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 19):

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{G i,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Q j,k}) \quad (\text{fórmula 1})$$

Sendo:

F_d = valor da ação normal combinada;

γ_g = coeficiente de ponderação para ações permanentes;

$F_{G_{i,k}}$ = valor característico das ações permanentes;

γ_q = coeficiente de ponderação para ações variáveis;
 $F_{Q1,k}$ = valor característico da ação variável principal;
 $\psi_{0,j}$ = valor do fator de combinação de ações;
 $F_{Qj,k}$ = valor característico das ações variáveis secundárias.

3.2.2 Norma Europeia

Como especifica a NP EN 1990 ((INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2009, p. 42), deve ser determinado um valor de cálculo dos efeitos das ações considerando a ação simultânea de ocorrência das mesmas, assim como na NBR 8800. Estas combinações são classificadas em fundamentais, acidentais e sísmicas.

As combinações **fundamentais** assemelham-se à Norma Brasileira como as combinações normais, considerando uma variável principal e a soma das variáveis secundárias com seus respectivos coeficientes de ponderação, sendo representadas pela expressão (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2009, p. 42):

$$E_d = \sum_{j \geq 1}^m (\gamma_{G,j} G_{k,j}) + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1}^n (\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}) \quad (\text{fórmula 2})$$

Sendo:

E_d = valor da ação fundamental combinada;
 γ_G = coeficiente parcial relativo às ações permanentes;
 $G_{k,j}$ = valor característico das ações permanentes;
 γ_Q = coeficiente parcial relativo às ações variáveis;
 $Q_{k,1}$ = valor característico da ação variável principal;
 $\psi_{0,i}$ = coeficiente para a determinação do valor de combinação de uma ação variável;
 $Q_{k,i}$ = valor característico das ações variáveis secundárias.

Os valores dos coeficientes ψ_0 para ações variáveis encontram-se na tabela 3 e os coeficientes γ na tabela 4.

Tabela 3 – Valores dos coeficientes ψ_0 das ações

Ação		ψ_0
Sobrecargas em edifícios:	Categoria A: zonas de habitação	0,7
	Categoria B: zonas de escritórios	0,7
	Categoria C: zonas de reunião de pessoas	0,7
	Categoria D: zonas comerciais	0,7
	Categoria E: zonas de armazenamento	1,0
	Categoria F: zonas de tráfego Pesos dos veículos ≤ 30 kN	0,7
	Categoria G: zonas de tráfego 30 kN < peso dos veículos ≤ 160 kN	0,7
	Categoria H: coberturas	0
Ação da neve em edifícios	Finlândia, Islândia, Noruega, Suécia	0,7
	Restante dos Estados-Membros do CEN (Comitê Europeu de Normalização), para obras localizadas à altitude $H > 1000$ m acima do nível do mar	0,7
	Restantes dos Estados-Membros do CEN, para obras localizadas à altitude $H \leq 1000$ m acima do nível do mar	0,5
Ação do vento em edifícios		0,6
Temperatura (exceto incêndios) em edifícios		0,6

(fonte: elaborado pela autora, adaptado de INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2009, p. 47)

Tabela 4 – Valores dos coeficientes γ_G e γ_Q das ações

Situações de projeto fundamentais	Ações permanentes	
	Desfavoráveis	Favoráveis
	$\gamma_{Gj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf}$
γ_G	1,10	0,9
	Ações variáveis principais	
	Desfavoráveis	Favoráveis
	$\gamma_{Q,1}$	1,50
	Ações variáveis secundárias	
	Desfavoráveis	Favoráveis
	$\gamma_{Q,i}$	1,50

(fonte: elaborado pela autora, adaptado de INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2009, p. 85)

Comparando-se as Normas até o momento, nota-se que, na Norma Brasileira, os valores dos coeficientes de ponderação das ações permanentes, favoráveis ou desfavoráveis, e variáveis variam dependendo do tipo de ação que está atuando na estrutura. Já na Norma Europeia são adotados coeficientes padrão para ações permanentes e variáveis, com valores dados independentemente do tipo de ação atuante. Nos valores do fator de combinação ψ_0 nota-se um

certo padrão entre as duas Normas, que adotam valores semelhantes. Dessa forma, enquanto a Norma Brasileira faz indicações de diferentes coeficientes para diferentes tipos de ações, a Norma Europeia adota valores fixos, o que pode levar a valores muito parecidos de ação combinada final ou também variantes, dependendo das ações consideradas. No exemplo aplicado, há discrepância, que pode ser vista nos resultados obtidos no capítulo 9.

4 RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO

A resistência de cálculo, ou de projeto, de um elemento estrutural, tanto para a Norma Brasileira quanto para a Norma Europeia é representada pelo valor da resistência característica calculada dividido por um fator de segurança γ_m .

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_m} \quad (\text{fórmula 3})$$

Sendo:

R_d = valor da resistência de cálculo;

R_k = valor da resistência característica;

γ_m = coeficiente de ponderação da resistência.

Os valores dos coeficientes γ_m de ponderação da resistência para a Norma Brasileira são representados por γ_{a1} e γ_{a2} , dependendo da combinação de ações considerada, e podem ser encontrados na tabela 5. Já os valores de γ_m para a Norma Europeia são representados por γ_{M0} , γ_{M1} e γ_{M2} e são dados na tabela 6.

Tabela 5 – Valores dos coeficientes de ponderação das resistências γ_m

Combinações	Aço estrutural ^a	
	γ_a	
	Escoamento, flambagem e instabilidade γ_{a1}	Ruptura γ_{a2}
Normais	1,10	1,35
Especiais ou de construção	1,10	1,35
Excepcionais	1,00	1,15

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p.23)

Tabela 6 – Valores dos coeficientes de ponderação das resistências γ_M

Coeficientes parciais de segurança γ_M	
Resistência das seções transversais de qualquer classe, γ_{M0}	1,00
Resistência dos elementos em relação à flambagem, γ_{M1}	1,00
Resistência à ruptura de seções transversais tracionadas em zonas com furos de ligação, γ_{M2}	1,25

(fonte: elaborado pela autora, adaptado de INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 54)

Os coeficientes de ponderação da Norma Europeia são dados pelos Eurocódigos 3 – parte 2 a parte 6, dependendo de cada tipo de estrutura a ser dimensionada. A NP EN 1993-1-1 recomenda os valores dados na tabela 6 como padrões para edifícios, que são utilizados também no caso analisado nesse trabalho. Pode ser notado que os coeficientes γ_{M0} e γ_{M1} não consideram nenhum coeficiente de segurança, sendo o dimensionamento trabalhado no limite de sua resistência.

As duas Normas baseiam-se no método dos estados limites, onde a determinação das resistências de projeto, independente do tipo de esforço ao qual o elemento está submetido, deve sempre respeitar a relação:

$$\frac{S_d}{R_d} \leq 1,0 \quad (\text{fórmula 4})$$

Sendo:

R_d = valor da resistência de cálculo;

S_d = valor da solicitação no elemento estrutural;

5 CONDIÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS

Neste capítulo são abordadas as recomendações de cada Norma com relação à obtenção da resistência dos elementos de aço quando submetidos à forças de tração, compressão, flexão, esforço cortante e combinações destes.

5.1 ELEMENTOS SUBMETIDOS À FORÇA DE TRAÇÃO

5.1.1 Norma Brasileira

De acordo com a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 37), a força de tração resistente de cálculo de uma barra prismática é dada como o menor valor obtido entre os estados limites últimos de escoamento da seção bruta e de ruptura da seção líquida, os quais são dados, respectivamente, pelas expressões abaixo:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (\text{fórmula 5})$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad (\text{fórmula 6})$$

Onde:

A_g = área bruta da seção transversal da barra;

A_e = área líquida efetiva da seção transversal da barra;

γ_{a1} e γ_{a2} = coeficientes de ponderação das resistências;

f_y = resistência ao escoamento do aço;

f_u = resistência à ruptura do aço.

A NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 38) define que a área líquida efetiva de uma barra é determinada pela sua área líquida, a qual desconta os eventuais furos feitos para ligações, multiplicada por um coeficiente de redução, segundo a expressão:

$$A_e = A_n C_t \quad (\text{fórmula 7})$$

Onde:

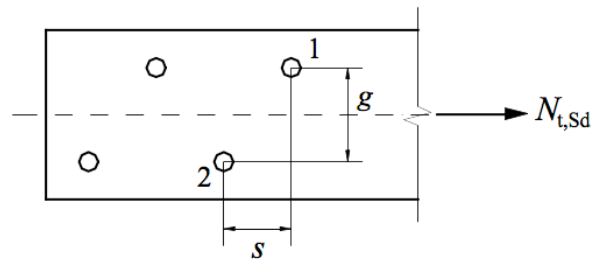
A_n = área líquida da barra;

C_t = coeficiente de redução da área líquida.

Como é determinado pela NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 38), a área líquida da barra deve ser calculada descontando-se os furos, quando existirem, de acordo com o especificado abaixo:

- a) em ligações parafusadas, a largura dos furos deve ser considerada 2,0 mm maior que a dimensão máxima desses furos, perpendicular à direção da força aplicada;
- b) no caso de uma série de furos distribuídos transversalmente ao eixo da barra, em diagonal ou ziguezague, a largura líquida deve ser calculada deduzindo-se da largura bruta a soma das larguras de todos os furos e somando-se para cada linha ligando dois furos a quantidade $s^2/(4g)$, sendo s e g , respectivamente, espaçamentos longitudinais e transversais entre dois furos (ilustrado na figura 2);
- c) a largura líquida crítica daquela parte da barra será obtida pela cadeia de furos que produza a menor das larguras líquidas, para as diferentes possibilidades de linhas de ruptura;
- d) para cantoneiras, o gabarito g dos furos em abas opostas deve ser considerado igual à soma dos gabaritos, medidos a partir da aresta da cantoneira, subtraída de sua espessura;
- e) na determinação da área líquida de seção que compreenda soldas de tampão ou soldas de filete em furos, a área do metal da solda deve ser desprezada.

Figura 2 – Ilustração dos espaçamentos s e g entre furos



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p.38)

Já para o coeficiente de redução da área líquida, a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 39) define os seguintes valores:

- a) $C_t = 1,00$ quando a sollicitação de tração é transmitida diretamente da barra para cada elemento de sua seção transversal;
- b) para forças de tração transmitidas somente por soldas:

$$C_t = \frac{A_c}{A_g} \quad (\text{fórmula 8})$$

Onde:

A_g = área bruta da seção transversal da barra;

A_c = área da seção transversal dos elementos conectados.

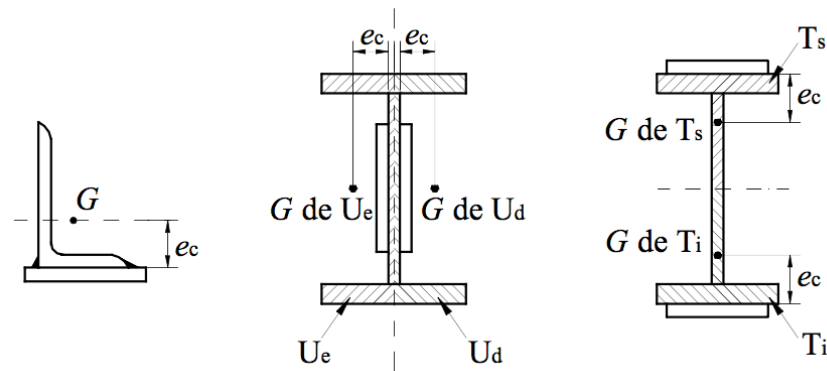
- c) para barras com seções abertas quando a força de tração é transmitida somente por parafusos ou por soldas longitudinais ou combinação de soldas longitudinais e transversais:

$$0,60 \leq C_t = 1 - \frac{e_c}{\ell_c} \leq 0,90 \quad (\text{fórmula 9})$$

Onde:

e_c = excentricidade da ligação (ilustrado na figura 3);

ℓ_c = comprimento efetivo da ligação, igual ao comprimento da solda em ligações soldadas e à distância do primeiro ao último parafuso na linha de furação com maior número de parafusos em ligações parafusadas.

Figura 3 – Ilustração dos valores de e_c em seções abertas

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p.40)

5.1.2 Norma Europeia

Segundo a NP EN 1993-1-1 (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 58), a força resistente de tração, assim como na Norma Brasileira, é representada como o menor valor entre o valor de cálculo do esforço normal resistente plástico da seção bruta e o valor de cálculo do esforço normal resistente último da seção útil da zona com furos, representados, respectivamente, pelas expressões:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (\text{fórmula 10})$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (\text{fórmula 11})$$

Onde:

A = área da seção transversal bruta da barra;

f_y = tensão de escoamento do aço;

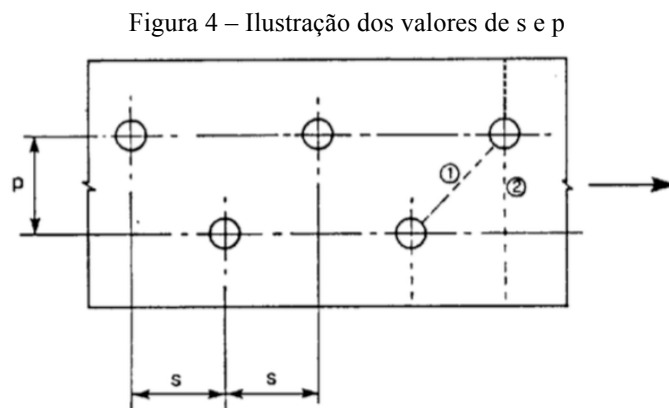
γ_{M0} e γ_{M2} = coeficientes parciais de segurança;

A_{net} = área útil da seção transversal, descontando-se os furos;

f_u = tensão última do aço.

De acordo com a NP EN 1993-1-1 (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 55), a área útil da seção transversal é determinada pela área da seção transversal bruta da barra deduzida da soma da área dos furos ou outras aberturas, quando existirem, segundo os seguintes critérios:

- a) desde que os furos não estejam dispostos em quincôncio, a área total de furos a se deduzir deverá ser o valor máximo da soma das áreas das seções de furos em qualquer seção transversal perpendicular ao eixo do elemento (plano de corte 2 na figura 4);
- b) quando furos estão dispostos em quincôncio, a área total de furos a deduzir deverá ser o maior entre a área definida em a) ou por $t \left(nd_o - \sum \frac{s^2}{4p} \right)$, sendo t a espessura da barra, d_o o diâmetro do furo e s e p definidos na figura 4;
- c) para cantoneiras, ou outros elementos com furos em mais de um plano, a distância p deve ser medida ao longo do plano médio de espessura do material;



(fonte: INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p.56)

Já para ligações de Categoria C, definida pela NP EN 1993-1-8 (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 26) como ligação resistente ao escorregamento no estado limite último, não deverá ser excedido o valor de cálculo da resistência plástica da seção útil interceptando os furos, segundo a expressão dada pela NP EN 1993-1-1 (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 58):

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (\text{fórmula 12})$$

Sendo:

A_{net} = área útil da seção transversal, descontando-se os furos;

f_y = tensão de escoamento do aço;

γ_{M0} = coeficiente parcial de segurança.

No caso de cantoneiras ligadas por uma aba, é definido pela NP EN 1993-1-8 (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 38) que o valor de cálculo do esforço normal resistente último da seção útil da zona com furos pode ser considerado como se a cantoneira estivesse solicitada por uma carga centrada ao longo da seção útil, sendo definido para seções com 1 parafuso, 2 parafusos ou 3 ou mais parafusos, respectivamente, pelas expressões:

$$N_{u,Rd} = \frac{2,0 (e_2 - 0,5 d_0) t f_u}{\gamma_{M2}} \quad (\text{fórmula 13})$$

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (\text{fórmula 14})$$

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (\text{fórmula 15})$$

Sendo:

e_2 = a menor distância do centro do furo à borda da barra;

f_u = tensão última do aço;

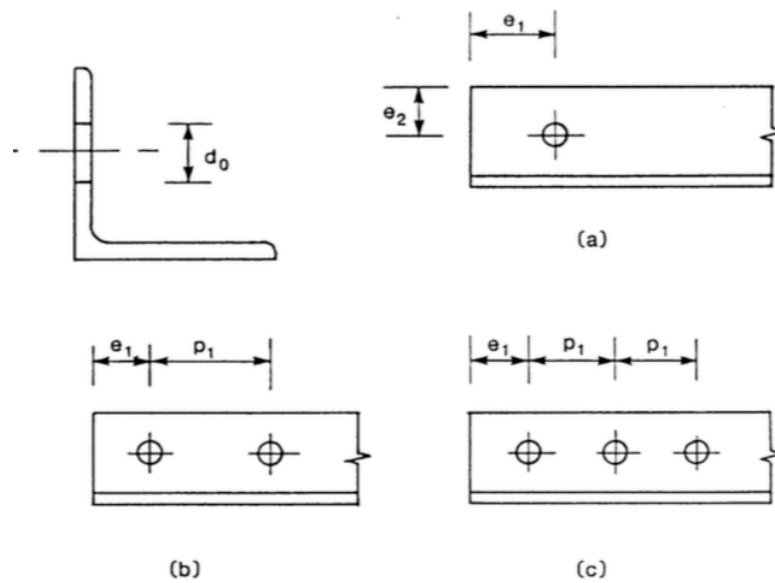
t = espessura da barra;

A_{net} = área da seção útil da cantoneira;

β_2 e β_3 = coeficientes de redução em função da distância entre furos, como definido na tabela 7;

γ_{M2} = coeficiente parcial de segurança.

Figura 5 – Ilustração dos valores de e_1 , e_2 , p_1 e d_0 em cantoneiras ligadas por uma aba



(fonte: INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p.38)

Tabela 7 – Valores dos coeficientes de redução β_2 e β_3

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

(fonte: INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 38)

5.2 ELEMENTOS SUBMETIDOS À FORÇA DE COMPRESSÃO

5.2.1 Norma Brasileira

A força axial de compressão resistente de cálculo das barras é calculada associando estados limites últimos de instabilidade por flexão, torção, flexo-torção e flambagem local, de acordo com a expressão (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 44):

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (\text{fórmula 16})$$

Sendo:

χ = fator de redução associado à resistência à compressão;

Q = fator de redução total associado à flambagem local;

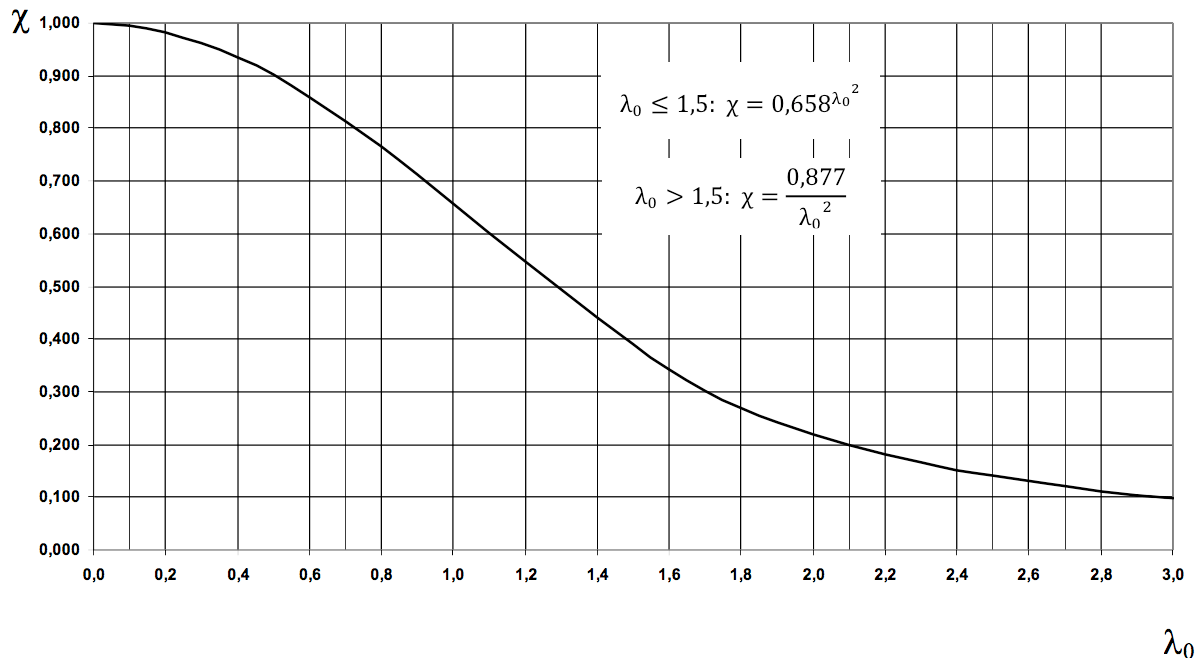
f_y = resistência ao escoamento do aço;

A_g = área da seção bruta da seção transversal da barra;

γ_{a1} = coeficiente de ponderação da resistência.

O valor do fator de redução associado à resistência à compressão χ pode ser obtido pela curva da figura 6, que o relaciona com o índice de esbeltez reduzido λ_0 da barra. Este último é dado em função da força axial de flambagem elástica.

Figura 6 – Valores de χ em função do índice de esbeltez λ_0



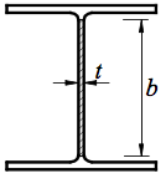
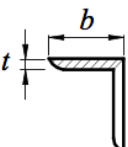
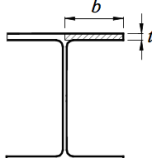
(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p.45)

Os perfis metálicos são, em sua maioria, formados por elementos planos apoiados em bordas longitudinais. No caso dos perfis de seção I ou H, as almas possuem dois apoios longitudinais

e as mesas um apoio longitudinal centrado, com extremidades livres. Já nos perfis cantoneira, ambas as abas possuem um apoio longitudinal e uma extremidade livre. Desse modo, os elementos de um perfil metálico podem ser classificados como apoiado-apoiados (AA) ou apoiado-livres (AL).

Segundo a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 126), o fator de redução total associado à flambagem local Q é dado por $Q=Q_aQ_s$, sendo Q_a o valor dado para elementos AA e Q_s dado para os elementos AL das seções. Estes valores são iguais a 1,00 para elementos nos quais as relações entre largura e espessura (b/t) não superem os valores limites $(b/t)_{lim}$ e, caso contrário, são dados como definido no quadro 1.

Quadro 1 – Fatores de redução Q_s e Q_a para elementos AA e AL em seções I ou H e cantoneiras para valores de (b/t) superiores a $(b/t)_{lim}$

Elementos	Perfis	$(b/t)_{lim}$	Q_s (para AL) ou Q_a (para AA)	
Elementos AA de seções I ou H		$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Para $(b/t) > (b/t)_{lim}$ $Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g}$ $A_{ef} = A_g - \sum_{AA} (b - b_{ef})t$ $b_{ef} = 1,92 t \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[1 - \frac{0,34}{b/t} \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right] \leq b$ $\sigma = \chi f_y$ (ou $\sigma = f_y$ de forma conservadora)	
Elementos AL cantoneiras		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,34 - 0,76 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$ para $(b/t)_{lim} < (b/t) \leq 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$\frac{0,53 E}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}$ para $(b/t) > 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Elementos AL de seções I ou H		$0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,415 - 0,74 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$ para $(b/t)_{lim} < (b/t) \leq 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$\frac{0,69 E}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}$ para $(b/t) > 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Sendo: E = módulo de elasticidade do aço; A_{ef} = área efetiva da seção transversal; b_{ef} = largura efetiva do elemento AA; σ = tensão que pode atuar no elemento analisado.				

(fonte: elaborado pela autora, adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p.126 a 129)

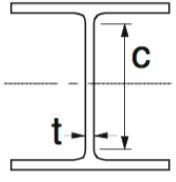
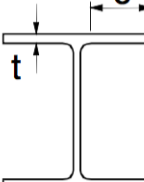
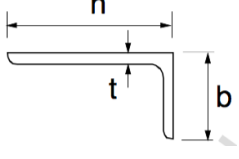
5.2.2 Norma Europeia

De modo que se possa identificar de que maneira a resistência e a capacidade de rotação de uma seção transversal são limitadas pela flambagem local, estas são divididas em classes (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 48).

A NP EN 1993-1-1 define que seções da **Classe 1** podem formar rótulas plásticas, não tendo redução de sua resistência e que podem ter uma análise plástica. As seções de **Classe 2** podem atingir momento resistente plástico tendo, contudo, capacidade de rotação limitada pelo aparecimento da flambagem local. As seções de **Classe 3** possuem tensões de compressão nas fibras extremas, que podem atingir o valor da tensão de escoamento, e a flambagem local pode impedir que o momento plástico aconteça, impedindo a redistribuição das tensões. As seções de **Classe 4** são seções bastante esbeltas, onde ocorre a flambagem local antes de ser atingida a tensão de escoamento, sendo necessário considerar uma redução da resistência através do cálculo da seção efetiva. (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 48).

Para que sejam definidas as classes das seções transversais usa-se a relação entre largura e espessura (c/t) dos componentes comprimidos. Desse modo, uma seção que tenha diferentes elementos comprimidos, pode ser definida em diferentes classes. Caso isso aconteça, a seção transversal total é dada pela mais crítica das classes, ou seja, a maior delas. Os valores limites das relações c/t para definição de cada classe quando os componentes são solicitados à compressão ou flexão são dados no quadro 2. (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 49).

Quadro 2 – Valores limites da relação c/t para definição de classes

Elementos	Componentes internos comprimidos em perfis I ou H		Banzos em consola em perfis I ou H		Cantoneiras	
Perfis						
Classe	c/t limite para componentes solicitados à compressão					
1	33ε		9ε		9ε	
2	38ε		10ε		10ε	
3	42ε		14ε		h/t ≤ 15ε	
Classe	c/t limite para componentes solicitados à flexão					
1	72ε		-		-	
2	83ε		-		-	
3	124ε		-		-	
$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$	f_y	235	275	355	420	465
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

(fonte: elaborado pela autora, adaptado de INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 51 a 53)

Para a obtenção do esforço resistente à compressão, analisa-se o caso de resistência à compressão uniforme ($N_{c,Rd}$) e de resistência à flambagem ($N_{b,Rd}$). O valor da resistência à compressão uniforme é determinado para as Classes 1, 2 ou 3 e para a Classe 4, respectivamente, pelas expressões (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 58):

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (\text{fórmula 17})$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (\text{fórmula 18})$$

Sendo:

A = área bruta da seção transversal;

f_y = tensão de escoamento do aço;

A_{eff} = área efetiva da seção transversal da barra;

γ_{M0} = coeficiente parcial de segurança.

A resistência à flambagem de elementos comprimidos é dada de forma similar à resistência à compressão da Norma Brasileira, sendo multiplicado por um fator de redução do modo de flambagem, χ . Os valores da resistência para as Classes 1, 2 ou 3 e para a Classe 4 são dados, respectivamente, pelas expressões (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 67):

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad (\text{fórmula 19})$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} \quad (\text{fórmula 20})$$

Sendo:

χ = coeficiente de redução para o modo de flambagem relevante;

A = área bruta da seção transversal;

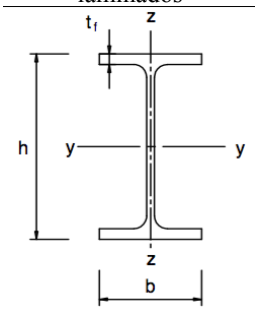
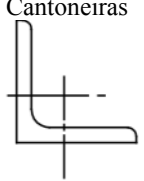
f_y = tensão de escoamento do aço;

A_{eff} = área efetiva da seção transversal da barra;

γ_{M1} = coeficiente parcial de segurança.

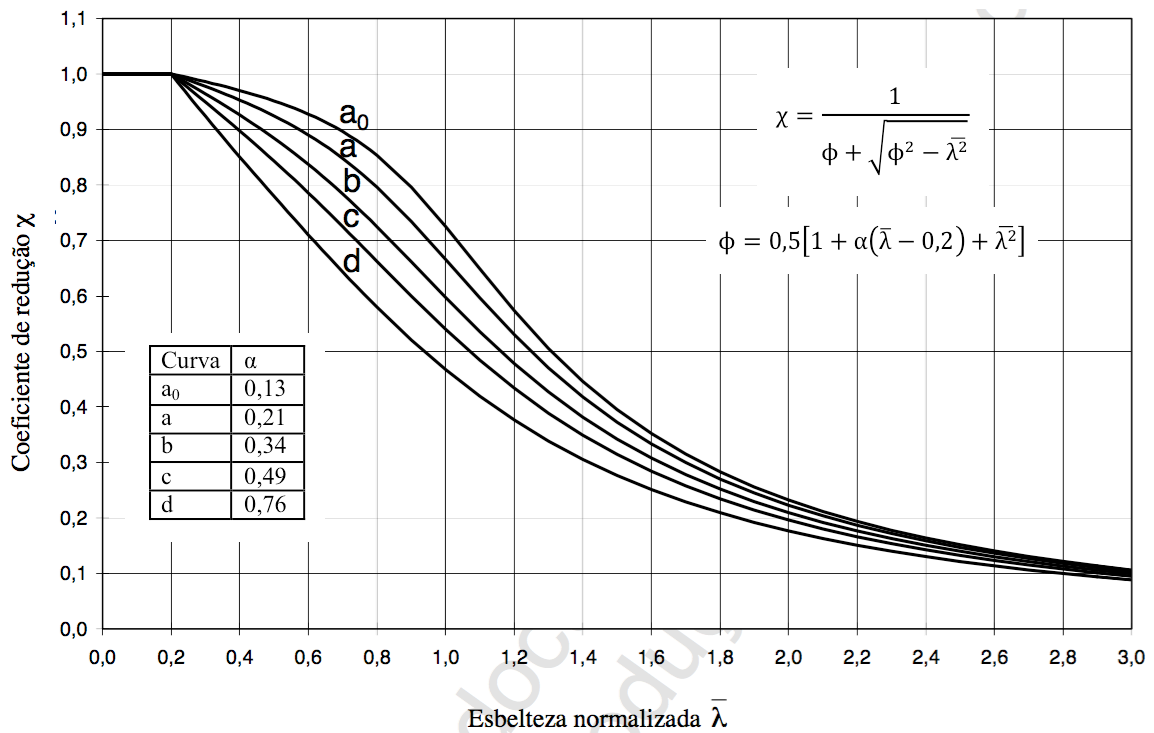
O valor do coeficiente χ é dado de acordo com a curva de flambagem da seção transversal, em função do índice de esbeltez normalizado $\bar{\lambda}$. A escolha do tipo de curva de flambagem para cada seção é dada no quadro 3, em função do eixo no qual ocorre a flambagem e do tipo de aço do perfil utilizado. As curvas que relacionam $\bar{\lambda}$ com o valor de χ são dadas na figura 7.

Quadro 3 – Determinação do tipo de curva de flambagem de cada seção

Seção transversal	Limites		Flambagem em relação eixo	Curva de flambagem	
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Seção I ou H de perfis laminados 	h/b > 1,2	t _f ≤ 40 mm	y-y	a	a ₀
		40 mm < t _f ≤ 100 mm	z-z	b	a ₀
			y-y	b	a
		z-z	c	a	
	h/b ≤ 1,2		t _f ≤ 100 mm	y-y	b
		z-z	c	a	
t _f > 100 mm	y-y		d	c	
	z-z	d	c		
Cantoneiras 	Qualquer		Qualquer	b	b

(fonte: elaborado pela autora, adaptado de INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 69)

Figura 7 – Valores de χ em função do índice de esbeltez normalizada $\bar{\lambda}$



(fonte: adaptado de INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 70)

5.3 ELEMENTOS SUMETIDOS À FLEXÃO

5.3.1 Norma Brasileira

Segundo Andrade (1994), a resistência à flexão de perfis não esbeltos é dada pelos três estados limites abaixo:

- a) Flambagem Local da Alma (FLA): causada pelas tensões normais, provocadas pelo momento fletor na alma dos perfis;
- b) Flambagem Local da Mesa (FLM): causada pelas tensões de compressão devidas ao momento fletor na mesa comprimida dos perfis;
- c) Flambagem Lateral com Torção (FLT): causada pela flexão lateral, normal ao plano do carregamento, e por torção, que provocam deslocamentos perpendiculares ao plano de carregamento.

Como define a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008), o valor da resistência de projeto à flexão é dado por M_n , que é o menor dos valores obtidos entre FLA, FLM e FLT, dividido pelo coeficiente de ponderação das resistências, γ_{a1} , de acordo com a expressão:

$$M_{Rd} = \frac{M_n}{\gamma_{a1}} \quad (\text{fórmula 21})$$

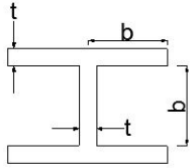
Sendo:

M_n = momento resistente, dado como o menor valor entre os momentos resistentes obtidos para FLA, FLM e FLT;

γ_{a1} = coeficiente de ponderação das resistências.

O índice de esbeltez λ é dado separadamente para alma, mesa e casos de FLT, de acordo com o quadro 4.

Quadro 4 – Determinação do índice de esbelteza λ para alma e mesa do perfil e para situação de FLT

	Alma: $\lambda = \frac{b}{t}$
	Mesa: $\lambda = \frac{b}{t}$
FLT: $\lambda = \frac{L_b}{r_y}$	
Sendo: L_b : comprimento destravado (distância entre os pontos de travamento lateral); r_y : raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão.	

(fonte: elaborado pela autora)

As barras submetidas à flexão simples têm distribuição linear de tensões normais, variando de tração em uma das faces à compressão na face oposta, caracterizando o regime elástico, onde as tensões são menores que a tensão de escoamento da barra. Se o momento fletor for incrementado, as tensões máximas atingem, em um determinado instante, a tensão de escoamento f_y , o que marca o início do escoamento. Se for novamente incrementado, o momento atinge um valor que provoca o início da plastificação da seção, caracterizando o regime inelástico. Um aumento final do momento causa o escoamento da seção, sendo este o momento de plastificação total. (ANDRADE, 1994, p. 51).

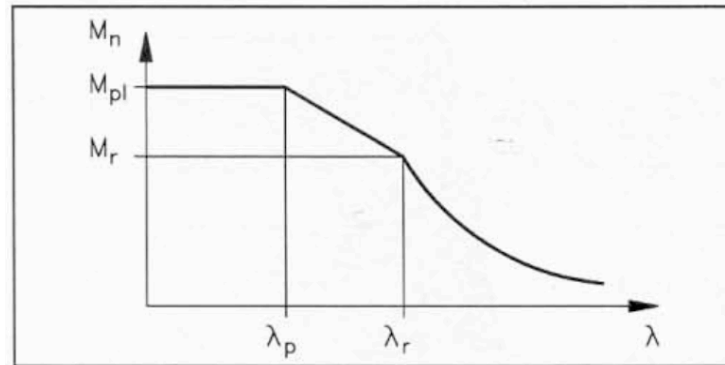
O gráfico da figura 8 exemplifica os trechos nos quais os valores de λ caracterizam os regimes nos quais a seção se encontra, de acordo com (ANDRADE, 1994, p. 51):

- trecho $\lambda > \lambda_r$ corresponde ao momento no regime elástico, $M_n = M_{cr}$;
- ponto $\lambda = \lambda_r$ corresponde ao momento no início do escoamento, $M_n = M_r$;
- trecho $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ corresponde ao momento no regime inelástico,

$$M_n = M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p};$$

- trecho $\lambda \leq \lambda_p$ corresponde ao momento na plastificação, $M_n = M_{pl}$.

Figura 8 – Variação do momento fletor com relação ao índice de esbeltez



(fonte: ANDRADE, 1994, p. 52)

Os valores dos momentos crítico, de regime inelástico, elástico e plastificação para seções I ou H laminadas de alma não esbelta são dados no quadro 5, bem como os valores dos limites de esbeltez λ_p e λ_r para FLA, FLM e FLT.

Quadro 5 – Determinação de momentos resistentes e limites de esbeltez para seções I ou H em FLA, FLM e FLT

	FLA	FLM	FLT
M_r	$f_y W$	$(f_y - \sigma_r) W$	$(f_y - \sigma_r) W$
M_{cr}	Não se aplica (viga de alma esbelta)	$\frac{0,69 E}{\lambda^2} W_c$	$\frac{C_b \pi^2 E I_y}{L_b^2} \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \left(1 + 0,039 \frac{J L_b^2}{C_w} \right)}$
			$C_w = \frac{I_y (d - t_f)^2}{4}$
			$C_b = \frac{12,5 M_{m\acute{a}x}}{2,5 M_{m\acute{a}x} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C}$
$C_b = 1,00$ para trechos em balanço ou com restrição ao deslocamento lateral e à torção			
M_{pl}	$Z_x f_y$		
$M_{inel\acute{a}stico}$	$M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$		
λ_p	$3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
λ_r	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$0,83 \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}}$	$\frac{1,38 \sqrt{I_y J}}{r_y J \beta_1} \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 C_w \beta_1^2}{I_y}}}$
			$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r) W}{E J}$
Sendo:			
σ_r : tensão residual de compressão na mesa, tomada como 30% da resistência ao escoamento do aço;			
f_y : tensão de escoamento da seção;			
C_b : fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme;			
E : módulo de elasticidade do aço, kN/cm ² ;			
W_c : módulo de resistência elástica do lado comprimido da seção, relativo ao eixo de flexão;			
C_w : constante de empenamento da seção transversal;			
d : altura externa da seção;			
t_f : espessura da mesa;			
I_y : momento de inércia da seção em relação ao eixo que passa pelo plano médio da alma;			
J : constante de torção da seção transversal;			
L_b : comprimento destravado;			
$M_{m\acute{a}x}$: momento máximo na seção;			
M_A, M_B, M_C : momentos nos pontos situados a $\frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ de L_b ;			
Z_x : módulo plástico de resistência em relação ao eixo x;			

(fonte: elaborado pela autora, adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p.134 a 136)

5.3.2 Norma Europeia

O comportamento das barras devido à flexão também é dado de acordo com a classificação das seções, definida no item 5.2.2. O quadro 6 resume as características das seções transversais e seu comportamento à flexão.

Quadro 6 – Características de cada classe de seções transversais devido à flexão

Modelo de compartimento	Resistência ao momento	Capacidade de rotação	Classes
	momento plástico da secção bruta f_y	Suficiente 	1
	momento plástico da secção bruta f_y		2
	momento plástico da secção bruta f_y	Nenhuma 	3
	momento plástico da secção efectiva f_y	Nenhuma 	4

(fonte: MARTINS, 2011, p. 41)

Pela análise das resistências ao momento fletor, pode-se perceber que a configuração mais favorável acontece nas seções de classe 1 e 2, onde há aproveitamento do domínio plástico, e a pior na classe 4, onde o limite elástico não chega a ser atingido. As seções de classe 4 são frequentemente utilizadas em perfis formados a frio ou soldados, sendo necessária a avaliação de sua resistência através do cálculo de seções efetivas reduzidas. (MARTINS, 2011, p. 6).

Segundo define a NP EN 1993-1-1, os valores de cálculo do momento fletor resistente das seções, sem considerar flambagem ou esforço cortante, são dados para as classes 1 ou 2 e 3, respectivamente, pelas expressões (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 59):

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (\text{fórmula 22})$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (\text{fórmula 23})$$

Sendo:

$M_{pl,Rd}$ = momento plástico resistente na seção bruta;

W_{pl} = módulo de flexão plástico da seção;

$M_{el,Rd}$ = momento elástico resistente da seção bruta;

$W_{el,min}$ = módulo de flexão elástico mínimo da seção;

f_y = tensão de escoamento do aço;

γ_{M0} = coeficiente de parcial de segurança.

Os furos das ligações na zona tracionada da barra não necessitam ser considerados desde que respeite-se a condição (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 59):

$$\frac{A_{f,net} 0,9 f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_f f_y}{\gamma_{M0}} \quad (\text{fórmula 24})$$

Sendo:

$A_{f,net}$ = área útil da zona tracionada;

f_u = tensão última do aço;

A_f = área da zona tracionada;

f_y = tensão de escoamento do aço;

γ_{M0} e γ_{M2} = coeficientes parciais de segurança.

Especialmente para barras de perfis I ou H, que possuem pequena rigidez à torção, pode acontecer o fenômeno de instabilidade lateral por flexo-torção. Ao ser realizado o dimensionamento de barras nas quais o banzo comprimido não possui travamento lateral, deve ser também verificada a resistência à flambagem lateral. (ALMEIDA, 2012, p. 58).

Segundo a NP EN 1993-1-1 (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 72), o valor de cálculo do momento fletor resistente à flambagem de uma barra sem contraventamento lateral deve ser dado por:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}} \quad (\text{fórmula 25})$$

Sendo:

χ_{LT} = coeficiente de redução para resistência à flambagem lateral;

W_y = módulo de flexão adequado considerando a classe da seção (W_{pl} ou $W_{el,min}$);

f_y = tensão de escoamento do aço;

γ_{M1} = coeficiente parcial de segurança.

Os valores de χ_{LT} para seções laminadas sujeitas a flexão são dados pelas mesmas curvas da figura 7, em função da esbeltez normalizada $\bar{\lambda}_{LT}$, a qual é dada em função do módulo de flexão W_y e do momento crítico elástico para a flambagem lateral, M_{cr} , de acordo com a expressão (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 72):

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} \quad (\text{fórmula 26})$$

Sendo:

$\bar{\lambda}_{LT}$ = esbeltez normalizada para flambagem lateral;

W_y = módulo de flexão adequado considerando a classe da seção (W_{pl} ou $W_{el,min}$);

f_y = tensão de escoamento do aço;

M_{cr} = momento crítico elástico de flambagem lateral.

O momento crítico de um elemento depende de fatores como o tipo de carregamento, diagrama de momentos fletores, condições de apoio, comprimento entre travamentos, rigidez à flexão, torção e empenamento e nível de aplicação do carregamento em relação ao centro de corte da seção. Para seções duplamente simétricas nas condições descritas o momento crítico é dado pela expressão (ALMEIDA, 2012, p. 61):

$$M_{cr}^E = \frac{\pi}{L} \sqrt{GI_T EI_z \left(1 + \frac{\pi^2 EI_W}{L^2 GI_T} \right)} \quad (\text{fórmula 27})$$

Onde:

G = módulo de elasticidade transversal;

I_T = constante de torção;

E = módulo de elasticidade longitudinal;

I_z = momento de inércia em relação ao eixo z (menor eixo);

L = comprimento entre seções contraentadas;

I_W = constante de empenamento.

Segundo Trahair, em Simões (2007)¹, citado por Almeida (2012, p. 60),

O momento crítico de vigas com seção transversal duplamente simétrica (I ou H), fletidas em torno do eixo de maior inércia y (caso padrão), para diversos tipos de carregamentos aplicados no centro de corte, pode ser estimado, multiplicando o momento crítico M_{cr}^E por um fator α_m .

Este fator atua no cálculo do momento crítico de forma semelhante ao coeficiente C_b na Norma Brasileira, de modo que considera diagramas de momento fletor não-uniforme. Os valores de α_m são obtidos levando-se em conta o tipo de carregamento e o gráfico de momentos, de acordo com o quadro 7.

$$M_{cr} = \alpha_m M_{cr}^E \quad (\text{fórmula 28})$$

¹ Simões, R. – Manual de Dimensionamento de Estruturas Metálicas, Coleção Construção Metálica e Mista, 2.a edição, cmm Press, Coimbra, 2007.



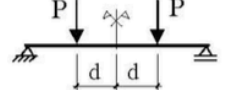
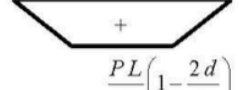
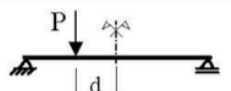
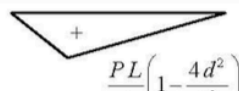
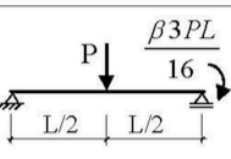
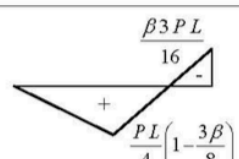
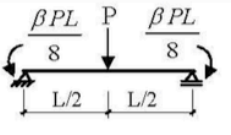
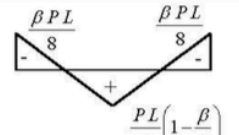
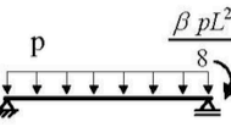
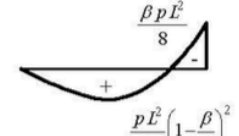
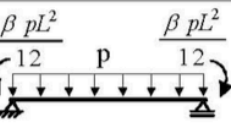
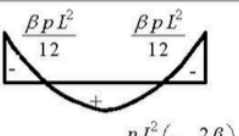
Onde:

M_{cr} = momento crítico elástico de flambagem lateral;

α_m = fator de cálculo do momento crítico;

M_{cr}^E = momento crítico sem levar em conta o fator de multiplicação.

Quadro 7 – Fatores de cálculo do momento crítico em barras de comprimento L e seções duplamente simétricas

Elemento	Momentos	α_m	Validade
		$1.75 + 1.05\beta$ $+ 0.3\beta^2 \leq 2.5$	$-1 \leq \beta \leq 1$
		$1.0 + 0.35(1 - 2d/L)^2$	$0 \leq \frac{2d}{L} \leq 1$
		$1.35 + 0.4(2d/L)^2$	$0 \leq \frac{2d}{L} \leq 1$
		$1.35 + 0.15\beta$	$0 \leq \beta \leq 0.89$
		$-1.2 + 3\beta$	$0.89 \leq \beta \leq 1$
		$1.35 + 0.36\beta$	$0 \leq \beta \leq 1$
		$1.13 + 0.10\beta$	$0 \leq \beta \leq 0.7$
		$-1.25 + 3.5\beta$	$0.7 \leq \beta \leq 1$
		$1.13 + 0.12\beta$	$0 \leq \beta \leq 0.75$
		$-2.38 + 4.8\beta$	$0.75 \leq \beta \leq 1$

(fonte: ALMEIDA, 2012, p. 61)

No caso estudado será analisado o momento crítico nas colunas do pórtico, que estão engastadas na base e livres no topo, onde é formada a rótula com a viga treliçada. Desse modo, a análise do momento crítico é feita como se a coluna fosse uma viga em balanço, de seção duplamente simétrica e fletida segundo o eixo de maior inércia. Martins (2011, p. 135) define a expressão abaixo para a obtenção do momento crítico em vigas com seções duplamente simétricas, já sendo considerados os fatores de cálculo de variação dos diagramas de momento fletor.

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(K_z L)^2} \left[\sqrt{\left(\frac{K_z}{K_w}\right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(K_z L)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g \right] \quad (\text{fórmula 29})$$

Onde:

C_1 e C_2 = coeficientes dependentes da forma do diagrama de momentos fletores, segundo o quadro 8;

K_z e K_w = fatores de comprimento efetivo dependentes do apoio nas extremidades, relativos, respectivamente, a rotações extremas em torno do eixo de menor inércia e ao empenamento;

z_g = excentricidade do ponto de aplicação da carga em relação ao centro de gravidade da seção;

G = módulo de elasticidade transversal;

I_t = constante de torção;

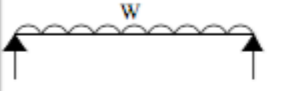

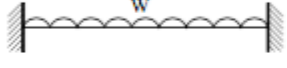

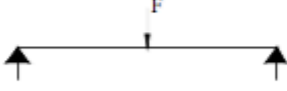

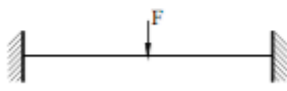
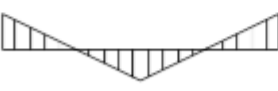
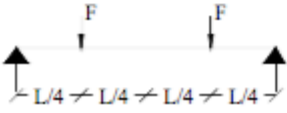

E = módulo de elasticidade longitudinal;

I_z = momento de inércia em relação ao eixo z (menor eixo);

L = comprimento entre seções contraventadas;

I_w = constante de empenamento.

Quadro 8 – Coeficientes C1, C2 e C3 para vigas com cargas transversais e valores correspondentes do fator K_z

Tipo de cargas e condições de apoio	Diagrama de momentos	Valor de K	Valor dos factores		
			C1	C2	C3
		1,0 0,5	1,132 0,972	0,459 0,304	0,525 0,980
		1,0 0,5	1,285 0,712	1,562 0,652	0,753 1,070
		1,0 0,5	1,365 1,070	0,553 0,432	1,730 3,050
		1,0 0,5	1,565 0,938	1,267 0,715	2,640 4,800
		1,0 0,5	1,046 1,010	0,430 0,410	1,120 1,890

(fonte: MARTINS, 2011, p. 137)

5.4 ELEMENTOS SUBMETIDOS AO ESFORÇO CORTANTE

5.4.1 Norma Brasileira

O esforço cortante induz tensões de cisalhamento tangenciais que sofrem uma variação brusca na transição entre mesa e alma, devido à variação nas larguras de seções transversais e aos pequenos valores das tensões na mesa. Desse modo, uma distribuição correspondente à tensão média de cisalhamento é considerada como substituta à distribuição da resistência dos

materiais, sendo representado pela tensão média de cisalhamento da alma. A fórmula da tensão de cisalhamento, nesse caso, é dada por (ANDRADE, 1994, p. 61):

$$f_{v,med} = \frac{V}{A_w} \quad (\text{fórmula 30})$$

Onde:

$f_{v,med}$ = tensão de cisalhamento;

V = valor do esforço cortante;

A_w = área da alma do perfil.

Segundo define a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 50), para seções I ou H fletidas em relação ao seu eixo de maior inércia, o valor do esforço cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é dado também em função do índice de esbeltez da seção comparado aos índices de esbeltez limite, λ_p e λ_r . As expressões para cálculo do esforço cortante resistente são dadas no quadro 9.

Quadro 9 – Expressões para cálculo do esforço cortante resistente de cálculo da seção

$\lambda = \frac{h}{t_w}$		
$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}$	$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}$	
$k_v = 5,0$ para almas sem enrijecedores transversais, com $\frac{a}{h} > 3$ ou $\frac{a}{h} > \left[\frac{260}{h/t_w} \right]^2$ $k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$ para outros casos		
Plastificação	Regime Inelástico	Regime Elástico
$\lambda \leq \lambda_p$	$\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$	$\lambda > \lambda_r$
$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$	$V_{Rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda \gamma_{a1}}$	$V_{Rd} = 1,24 \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$
$V_{pl} = 0,60 A_w f_y = 0,60 (d t_w) f_y$		
<p>Onde:</p> <p>h: altura da alma; t_w: espessura da alma; E: módulo de elasticidade do aço; f_y: tensão de escoamento do aço; a: distância entre dois enrijecedores transversais; V_{pl}: força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento; γ_{a1}: coeficiente de ponderação das resistências; A_w: área da alma do perfil efetiva de cisalhamento; d: altura total da seção transversal.</p>		

(fonte: elaborado pela autora, adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 50 a 51)

Quando da necessidade de enrijecedores transversais, a NBR 8800 confere como requisitos a serem obedecidos por estes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 51):

a) os enrijecedores transversais devem ser soldados à alma e às mesas do perfil, podendo, entretanto, do lado da mesa tracionada, ser interrompidos de forma que a distância entre os pontos mais próximos das soldas entre mesa e alma e entre enrijecedor e alma fique entre 4t_w e 6t_w ;

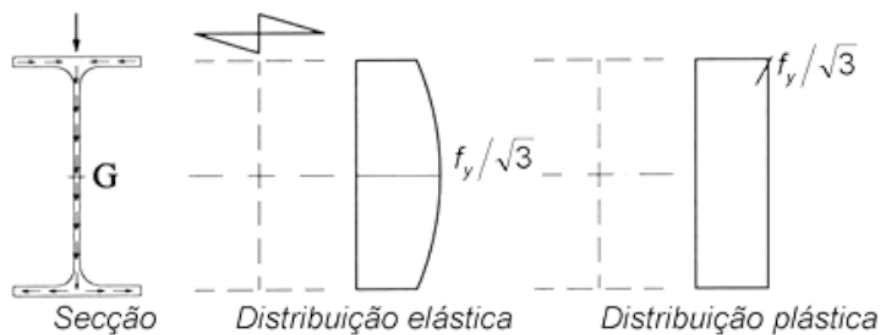
b) a relação entre largura e espessura dos elementos que formam os enrijecedores não pode ultrapassar $0,56 \sqrt{E/f_y}$;

c) o momento de inércia da seção de um enrijecedor singular ou de um par de enrijecedores (um de cada lado da alma) em relação ao eixo no plano médio da alma não pode ser inferior a $a(t_w^3)_j$, onde $j = [2,5/(a/h)^2] - 2 \geq 0,5$.

5.4.2 Norma Europeia

Em distribuições elásticas, as quais acontecem em seções de classe 3, a maioria das tensões de cisalhamento se desenvolvem na alma do perfil, onde as tensões devidas ao momento fletor são menores. Já em uma distribuição plástica, dada em seções de classes 1 ou 2, as tensões tangenciais são resistidas em sua totalidade pela alma, possuindo um diagrama de tensões constante, como mostra a figura 9. (ALMEIDA, 2012, p. 35).

Figura 9 – Distribuição das tensões tangenciais em perfis I ou H



(fonte: ALMEIDA, 2012, p. 35)

Segundo a NP EN 1993-1-1 (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 60), ao se considerar um dimensionamento plástico, o valor da resistência ao esforço cortante, na ausência de torção, é dado pela resistência plástica, $V_{pl,Rd}$.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (\text{fórmula 31})$$

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f \geq \eta h_w t_w \quad (\text{fórmula 32})$$

Onde:

$V_{pl,Rd}$ = resistência plástica;

A_v = área resistente ao esforço cortante;

f_y = tensão de escoamento do aço;

γ_{M0} = coeficiente parcial de segurança;

A = área bruta da seção transversal;

b = largura total da seção;

t_f = espessura da mesa;

t_w = espessura da alma;

r = raio de concordância da seção laminada;

η = coeficiente considerado igual a 1,0;

h_w = altura da alma.

Para a verificação da resistência ao esforço cortante no regime elástico, deve-se utilizar o critério abaixo, o qual é relativo a um ponto crítico da seção transversal que está sendo solicitada, sendo τ_{Ed} dado para seções I ou H. (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 61).

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3}\gamma_{M0})} \leq 1,0 \quad (\text{fórmula 33})$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \text{ com } \frac{A_f}{A_w} \geq 0,6 \quad (\text{fórmula 34})$$

Sendo:

τ_{Ed} = valor de cálculo da tensão tangencial local atuante;

f_y = tensão de escoamento do aço;

γ_{M0} = coeficiente parcial de segurança;

V_{Ed} = valor de cálculo do esforço cortante atuante;

b = largura total da seção;

A_w = área da alma;

A_f = área da mesa.

5.5 ELEMENTOS SUMETIDOS À COMBINAÇÕES DE ESFORÇOS SOLICITANTES

5.5.1 Norma Brasileira

A NBR8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 53) define condições a serem atendidas pelos elementos submetidos a efeitos combinados de força axial, momento fletor e esforço cortante. Barras submetidas apenas a momento fletor e força axial de tração ou compressão devem obedecer às condições expressas no quadro 10, que são dadas de acordo com o valor da relação entre força axial solicitante pela força axial resistente. Havendo atuação de esforço cortante, este deve ser considerado da mesma maneira expressa em 5.4.1, quando atua na direção de um dos eixos centrais de inércia.

Quadro 10 – Condições para barras submetidas a esforços combinados de momento fletor e força axial

$Para \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2$	$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$
$Para \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2$	$\frac{N_{Sd}}{2N_{Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$
<p>Onde: N_{Sd}: força axial atuante; N_{Rd}: força axial resistente; $M_{x,Sd}$: momento fletor atuante na direção x; $M_{x,Rd}$: momento fletor resistente na direção x; $M_{y,Sd}$: momento fletor atuante na direção y; $M_{y,Rd}$: momento fletor resistente na direção y;</p>	

(fonte: elaborado pela autora, adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 54 a 55)

5.5.2 Norma Europeia

A NP EN 1993-1-1 define que, na presença de esforço cortante e momento fletor, os efeitos do primeiro devem ser levados em conta para o cálculo do segundo, exceto em casos onde o esforço atuante for menor que a metade do esforço resistente, ou seja, $V_{Ed} < 0,5 V_{pl,Rd}$. Caso

contrário, o momento fletor resistente da seção bruta, $M_{c,Rd}$, que não leva em conta efeitos de flambagem, deve ser calculado do mesmo modo expresso em 5.3.2, adotando-se, porém, uma tensão de escoamento reduzida igual a $(1 - \rho)f_y$, onde o valor de ρ é dado pela expressão (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 63):

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (\text{fórmula 35})$$

Sendo:

V_{Ed} = valor de cálculo do esforço cortante atuante;

$V_{pl,Rd}$ = valor do esforço cortante resistente, calculado como dado em 5.4.2.

Na flexão composta o efeito do esforço axial deve ser levado em conta para a obtenção de um momento fletor resistente reduzido da seção bruta, exceto quando respeitadas as condições abaixo, para flexão em relação ao eixo de maior inércia. (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 64).

$$N_{Ed} \leq 0,25N_{pl,Rd} \quad (\text{fórmula 36})$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (\text{fórmula 37})$$

Onde:

N_{Ed} = valor da solicitação axial

$N_{pl,Rd}$ = valor do esforço axial resistente plástico;

h_w = altura da alma;

t_w = espessura da alma;

f_y = tensão de escoamento do aço;

γ_{M0} = coeficiente parcial de segurança.

Em caso contrário, deve-se calcular o momento fletor resistente reduzido para seções de classe 1 ou 2, de acordo com o quadro 11. Havendo flexão composta com esforço cortante, este deve ser considerado no cálculo dos momentos reduzidos com a tensão de escoamento reduzida, da maneira descrita anteriormente. (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 64 a 65).

Quadro 11– Expressões para cálculo do momento fletor resistente reduzido da seção bruta em relação aos eixos de menor ou maior inércia

Momento reduzido em relação ao eixo de maior inércia	$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$	Se $n \leq a$
	$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right]$	Se $n > a$
$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd}$		$a = (A - 2b_f)/A \leq 0,5$

(fonte: elaborado pela autora, adaptado de INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 65)

Deve também ser considerada a ação da flexão composta na análise da resistência dos elementos uniformes à flambagem, devendo ser verificada a condição de segurança em relação à flambagem lateral e à flambagem por compressão, obedecendo as relações definidas abaixo, para flexões segundo o eixo de maior inércia. (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 76).

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 \quad (\text{fórmula 38})$$

Onde:

N_{Ed} = valor do esforço de compressão atuante;

χ_y = coeficiente de redução devido à flambagem segundo o eixo de maior inércia, dado em 5.2.2;

χ_{Lt} = coeficiente de redução devido à flambagem lateral, dado em 5.3.2;

N_{Rk} = valor característico do esforço normal resistente, igual a $f_y A_{bruta}$;

k_{yy} = fator de interação, dado por métodos alternativos do anexo A e B na NP EN 1993-1-1;

$M_{y,Ed}$ = valor do momento fletor atuante segundo o eixo de maior inércia;

$M_{y,Rk}$ = valor característico do momento fletor resistente, igual a $f_y W_{pl}$ ou $f_y W_{el}$;
 γ_{M1} = coeficiente parcial de segurança.

6 CONDIÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES

Neste capítulo são abordadas as recomendações de cada Norma com relação ao dimensionamento e obtenção da resistência dos elementos de ligação, quando por soldas de filete e entre treliças e pilares.

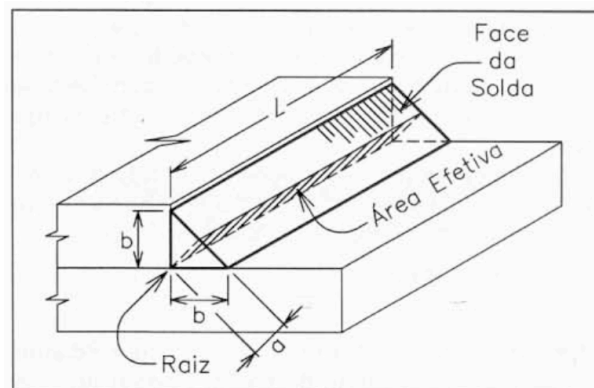
6.1 LIGAÇÕES POR SOLDA DE FILETE

6.1.1 Norma Brasileira

A seção transversal de uma solda de filete é tipicamente um triângulo isósceles, como mostrado na figura 10. A NBR 8800 define as seguintes disposições a serem aplicadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 68):

- a) a área efetiva de uma solda de filete deve ser calculada como o produto do comprimento efetivo da solda pela espessura da garganta efetiva;
- b) a garganta efetiva de uma solda de filete é igual à menor distância medida da raiz à face plana teórica da solda [...]. Perna do filete é o menor dos dois lados, situados nas faces de fusão, do maior triângulo que pode ser inscrito na seção da solda. Raiz da solda é a interseção das faces de fusão;
- c) o comprimento efetivo de uma solda de filete [...] deve ser igual ao comprimento total da solda de dimensão uniforme, incluindo os retornos nas extremidades [...].

Figura 10 – Esquema da solda de filete



(fonte: ANDRADE, 1994, p. 141)

Segundo a tabela 8 da NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 71), na determinação da resistência da solda de filete devem ser considerados apenas efeitos de cisalhamento causados pela força cortante e efeitos locais na seção efetiva, podendo ser dispensadas as verificações de tração ou compressão paralelas ao eixo da solda.

A resistência de cálculo ao cisalhamento do metal solda é dada pelo menor valor calculado entre a ruptura da solda na seção efetiva e escoamento do metal base na face de fusão, dadas, respectivamente, pelas expressões (VASCONCELLOS, 2011):

$$F_{w,Rd} = \frac{0,6A_w f_w}{\gamma_{a1}} \quad (\text{fórmula 39})$$

$$F_{Rd} = \frac{0,6A_{MB} f_y}{\gamma_{a1}} \quad (\text{fórmula 40})$$

Onde:

A_w = área efetiva da solda de filete, igual a espessura da garganta efetiva pelo comprimento da solda, $a \times L$;

f_w = resistência mínima à tração do metal solda, a qual deve ser sempre superior à resistência à ruptura (f_u) do metal base;

A_{MB} = área líquida do metal base sujeita ao cisalhamento, igual ao produto do comprimento total da solda pelo comprimento da perna do filete (o menor, quando forem diferentes), $b \times L$;

f_y = tensão de escoamento do metal base;

γ_{a1} = coeficiente de ponderação das resistências.

Segundo a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 74), o comprimento total mínimo do filete não pode ser menor que 4 vezes o tamanho da perna da solda, nem menor que 40 mm. Os tamanhos mínimo e máximo da perna da solda de filete são dados em função da espessura do metal base, de acordo com as tabelas 8 e 9.

Tabela 8 – Tamanho mínimo da perna da solda de filete

Menor espessura do metal base na junta t (mm)	b (mm)
$\leq 6,35$	3
$6,35 < t \leq 12,5$	5
$12,5 < t \leq 19$	6
> 19	8

(fonte: VASCONCELLOS, 2011, p. 55)

Tabela 9 – Tamanho máximo da perna da solda de filete

Espessura do material da borda t (mm)	b (mm)
$< 6,35$	t
$\geq 6,35$	t - 1,5

(fonte: VASCONCELLOS, 2011, p. 55)

O metal base deve ser verificado para os estados de ruptura em tração, compressão, cisalhamento e colapso por rasgamento, de acordo com as verificações do quadro 12.

Quadro 12 – Verificações na ligação no metal base

Elementos tracionados	Menor valor obtido entre	
	ELU de escoamento	ELU de ruptura
	$F_{Rd} = \frac{f_y A_g}{\gamma_{a1}}$	$F_{Rd} = \frac{f_u A_e}{\gamma_{a2}}$
Elementos comprimidos	Menor valor obtido entre	
	ELU de escoamento quando $KL/r \leq 25$	ELU de flambagem quando $KL/r > 25$
	$F_{Rd} = \frac{f_y A_g}{\gamma_{a1}}$	Deve ser usado o prescrito em 5.2.1
Elementos submetidos a cisalhamento	Menor valor obtido entre	
	ELU de escoamento	ELU de ruptura
	$F_{Rd} = \frac{0,6 f_y A_g}{\gamma_{a1}}$	$F_{Rd} = \frac{0,6 f_u A_{nv}}{\gamma_{a2}}$
Colapso por rasgamento	$F_{r,Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} (0,6 f_u A_{nv} + C_{ts} f_u A_{nt})$ $\leq \frac{1}{\gamma_{a2}} (0,6 f_y A_{gv} + C_{ts} f_u A_{nt})$	
<p>Onde:</p> <p>f_y = tensão de escoamento do aço do metal base;</p> <p>A_g = área bruta da seção;</p> <p>f_u = resistência à ruptura do metal base;</p> <p>K = coeficiente de flambagem;</p> <p>L = comprimento destravado (não superior a 200);</p> <p>r = raio de giração;</p> <p>A_{nv} = área líquida sujeita a cisalhamento;</p> <p>C_{ts} = coeficiente igual a 1,0 quando a tensão de tração na área líquida for uniforme e igual a 0,5 quando for não-uniforme;</p> <p>A_{nt} = área líquida sujeita a tração;</p> <p>A_{gv} = área bruta sujeita a cisalhamento;</p> <p>γ_{a1} e γ_{a2} = coeficientes de ponderação das resistências.</p>		

(fonte: elaborado pela autora, adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 86 a 87)

6.1.2 Norma Europeia

As soldas de filete podem ser utilizadas quando as superfícies de fusão formam, entre si, ângulos compreendidos entre 60° e 120°. Sua disposição típica é a mesma dada pela NBR

8800, um triângulo isósceles como o da figura 10, onde a garganta efetiva é considerada igual a menor distância entre a raiz e a face plana teórica da solda. (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 43).

Como definido na NP EN 1993-1-8 (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 46), caso a garganta efetiva do filete não se mantenha constante ao longo de todo o seu comprimento, incluindo as extremidades, deve ser calculado um comprimento efetivo, l_{eff} , o qual é considerado igual ao comprimento total reduzido pelo dobro da espessura da garganta efetiva. O quadro 13 mostra condições para a determinação do filete de solda.

Quadro 13 – Condições de espessura e comprimentos na determinação do filete de solda

Espessura mínima do metal base	4mm	
Espessura mínima da garganta efetiva do filete	3mm	
Comprimento mínimo do filete	Maior valor entre	30mm
		6 x espessura da garganta efetiva
Comprimento máximo do filete sem que seja necessário aplicar um fator redutor à resistência	150 x espessura da garganta efetiva	

(fonte: elaborado pela autora, adaptado de INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 46)

O valor de cálculo da resistência do filete é determinado com base nas fórmulas a seguir e deve ser sempre superior ao esforço atuante na ligação. (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 48).

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a L_f \quad (\text{fórmula 41})$$

$$f_{v w,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (\text{fórmula 42})$$

Onde:

$f_{v w,d}$ = valor de cálculo da resistência ao corte da solda;

a = valor da espessura da garganta efetiva;

L_f = comprimento da solda;

f_u = valor nominal da tensão última do aço do metal base de menor resistência;

β_w = fator de correlação obtido segundo o aço utilizado, dado no quadro 14;

γ_{M2} = coeficiente parcial de segurança.

Quadro 14 – Fator de correlação β_w para soldas de filete

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

(fonte: INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 48)

6.2 LIGAÇÕES ENTRE TRELIÇAS E PILARES

A ligação entre treliças e pilares pode ser feita através do uso de duas chapas soldadas perpendicularmente entre si, num formato de “T” invertido, sendo a chapa horizontal soldada no topo do perfil do pilar e a vertical parafusada aos banzos das treliças.

A chapa horizontal soldada no topo do pilar deve ter as dimensões da altura pelo comprimento da mesa da seção, de modo que encaixe completamente em todo o seu perímetro. O procedimento para o dimensionamento da solda que liga a chapa ao pilar deve seguir os mesmos critérios do item 6.1.1, para a Norma Brasileira, e 6.1.2, para a Norma Europeia, de modo que se obtenha resistência aos esforços provenientes da treliça. Pelo mesmo princípio, a solda que ligará a segunda chapa, vertical e perpendicular à anterior, deve também obedecer aos critérios de 6.1.1 e 6.1.2, a fim de resistir aos esforços da treliça.

Os subitens a seguir descrevem o procedimento para o dimensionamento de ligações de treliças em uma chapa vertical, feita por meio de uma ligação parafusada.

6.2.1 Norma Brasileira

A ligação parafusada deve ser dimensionada de modo que sua resistência de cálculo seja superior à solicitação de cálculo, para os estados limites últimos de tração, cisalhamento, tração e cisalhamento simultaneamente e pressão de contato nos furos. As fórmulas para a obtenção dos esforços resistentes em cada ELU mencionado encontram-se descritas no quadro 15. Adicionalmente, na tabela 10 encontram-se os valores para dimensões máximas dos furos em função do diâmetro do parafuso utilizado.

Quadro 15 – Estados limites últimos a serem verificados em ligações parafusadas

Tração	$F_{t,Rd} = \frac{0,75A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$	
Cisalhamento	Plano de corte passando pela rosca	$F_{v,Rd} = \frac{0,4A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$
	Plano de corte não passando pela rosca	$F_{v,Rd} = \frac{0,5A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$
Pressão de contato nos furos	$F_{c,Rd} = \frac{1,5 \ell_f t_p f_u}{\gamma_{a2}} \leq \frac{3,0d_b t_p f_u}{\gamma_{a2}}$	
Tração e cisalhamento combinados	$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1,0$	
<p>Onde: A_b = área bruta do parafuso, baseada no diâmetro d_b; f_{ub} = resistência à ruptura do material do parafuso; ℓ_f = distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou borda livre; t_p = espessura da parte ligada; f_u = resistência à ruptura do aço na parede do furo; d_b = diâmetro do parafuso; $F_{t,Sd}$ = força de tração solicitante por parafuso; $F_{v,Sd}$ = força de cisalhamento solicitante no plano considerado do parafuso; γ_{a2} = coeficiente de ponderação das resistências.</p>		

(fonte: elaborado pela autora, adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 77 a 78)

Tabela 10 – Dimensões máximas de furos

	Diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada d_b	Diâmetro do furo-padrão
Dimensões em milímetros	≤ 24	$d_b + 1,5$
	27	28,5
	≥ 30	$d_b + 1,5$

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 83)

A NBR 8800 ainda define que a distância entre o centros de furos-padrão não pode ser inferior a $2,7d_b$ e a distância livre entre borda de dois furos não pode ser inferior a d_b . O espaçamento máximo entre furos, para elementos de ligação pintados ou não sujeitos a

corrosão, deve ser 24 vezes a espessura da parte ligada de menor espessura ou 300mm. Já para elementos de ligação sujeitos à corrosão atmosférica ou não pintados, o espaçamento não pode exceder 14 vezes a espessura da parte ligada de menor espessura ou 180mm. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 84).

Os valores para distâncias mínimas do centro do furo à borda do elemento de ligação são dados na tabela 11. Já a distância máxima do centro do furo à borda do elemento de ligação deve ser igual a 12 vezes a menor espessura da parte ligada ou 150mm. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 85).

Tabela 11 – Distâncias mínimas do centro de um furo-padrão à borda

Diâmetro d_b		Borda cortada com serra ou tesoura mm	Borda laminada ou cortada a maçarico mm
pol	mm		
1/2		22	19
5/8	16	29	22
3/4		32	26
	20	35	27
7/8	22	38	29
	24	42	31
1		44	32
1 1/8	27	50	38
	30	53	39
1 1/4		57	42
	36	64	46
> 1 1/4	> 36	$1,75 d_b$	$1,25 d_b$

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 85)

Além das definições listadas acima, deve-se também fazer as verificações descritas no quadro 12, contemplando elementos de ligação tracionados, comprimidos, efeitos de cisalhamento e o colapso por rasgamento da ligação.

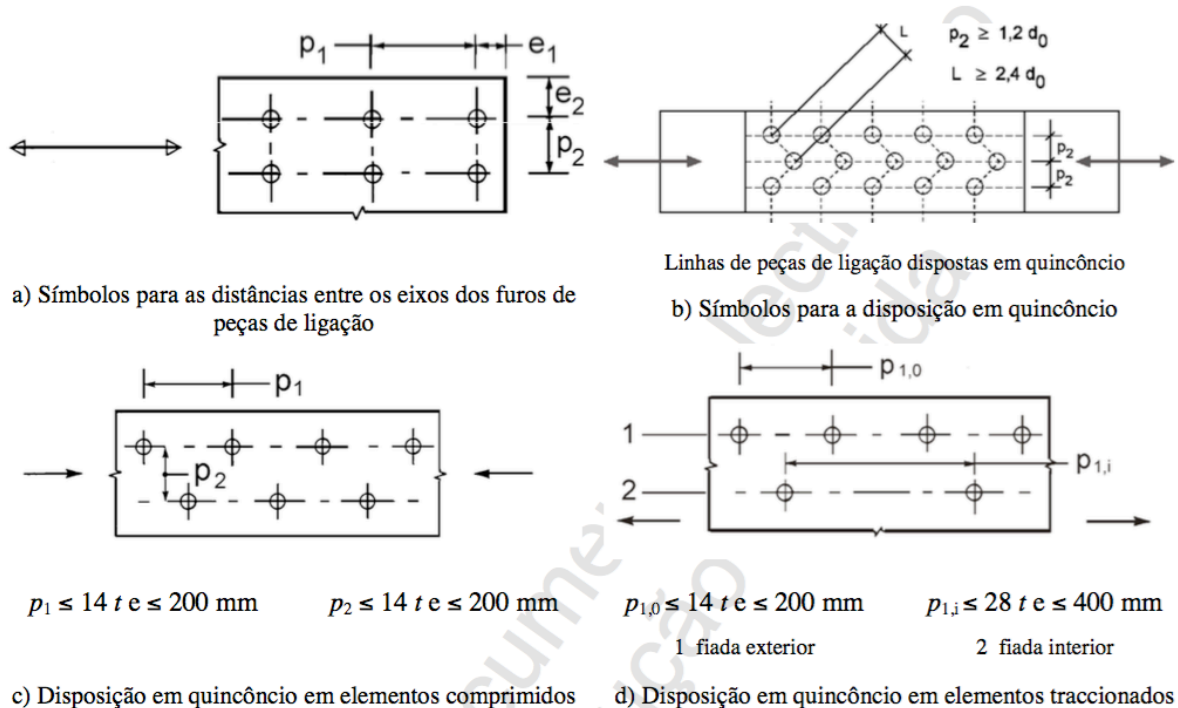
6.2.2 Norma Europeia

Assim como na Norma Brasileira, as ligações parafusadas são dimensionadas para tração e cisalhamento. No caso da resistência ao cisalhamento, as ligações dividem-se em três categorias: **categoria A**, para ligação resistente ao esmagamento em parafusos comuns, **categoria B**, para ligação resistente ao escorregamento do estado limite de serviço em parafusos pré-tensionados e **categoria C**, para ligação resistente ao escorregamento no estado

limite último em parafusos pré-esforçados. A resistência em ligações tracionadas é dividida em duas categorias: **categoria D**, para ligações com parafusos comuns e **categoria E**, para ligações com parafusos pré-tensionados. (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 26).

As distâncias máximas e mínimas entre eixos de parafusos adjacentes ou entre eixo e borda livre são indicadas no quadro 16 e na figura 11, para elementos que atendem aos requisitos da EN 10025:2004, Aços estruturais soldados a quente, e elementos que atendem apenas a EN 10025-5:2004, Aços estruturais soldados a quente – Condições técnicas para aços estruturais com alta resistência à corrosão atmosférica. As dimensões dos furos normalizados pela EN 1090-2, *Requirements for the execution of steel structures*, de acordo com o tipo de parafuso utilizado, e sua área útil da zona roscada encontram-se no quadro 17.

Figura 11 – Símbolos de distâncias mínimas entre eixos de parafusos e entre eixo à borda



(fonte: INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 29)

Quadro 16 – Distâncias mínimas e máximas entre eixos de parafusos e entre eixo à borda

Distâncias	Mínimo	Máximo		
		EN 10025 (exceto EN 10025-5)		EN 10025-5
		Aço exposto à atmosfera	Aço não exposto à atmosfera	Aço utilizado sem proteção
e_1	$1,2d_0$	$4t_p + 40\text{mm}$	-	Maior ($8t_p$; 125mm)
e_2	$1,2d_0$	$4t_p + 40\text{mm}$	-	Maior (8t; 125mm)
p_1	$2,2d_0$	Menor ($14t_p$; 200mm)	Menor (14t; 200mm)	Maior ($14t_{\min}$; 175mm)
$p_{1,0}$	-	Menor ($14t_p$; 200mm)	-	-
$p_{1,i}$	-	Menor ($28t_p$; 400mm)	-	-
p_2^*	$2,4d_0$	Menor ($14t_p$; 200mm)	Menor (14t; 200mm)	Maior ($14t_{\min}$; 175mm)
* se a distância L entre duas peças de ligação for maior ou igual a $2,4d_0$, o valor mínimo p_2 pode ser igual a $1,2d_0$				
Onde: d_0 = diâmetro do furo; t_p = menor espessura da peça de ligação.				

(fonte: elaborado pela autora, adaptado de INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 28)

Quadro 17 – Dimensões dos furos normalizados de acordo com o tipo de parafuso

Parafuso	Área útil A_s (mm ²)	Furo normalizado d_0
M12	84,3	$d + 1$ mm
M16	157	$d + 2$ mm
M20	245	
M24	353	
M27	457	$d + 3$ mm
M30	561	
M36	817	

(fonte: SOUZA, 2013, p. 29)

A obtenção dos esforços resistentes dos parafusos à tração, cisalhamento, esmagamento e tração e cisalhamento combinados é dada conforme as fórmulas do quadro 18.

Quadro 18 – Esforços resistentes em ligações parafusadas

Resistência à tração	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$	
	$k_2 = 0,63$ para parafusos com cabeça de embeber e $0,9$ para outros casos	
Resistência ao cisalhamento	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_p}{\gamma_{M2}}$	
	Plano de corte passando pela rosca: $\alpha_v = 0,6$ para classes de parafusos 4.6, 5.6 e 8.8; $\alpha_v = 0,5$ para classes de parafusos 4.8, 5.8, 6.8 e 10.9. $A_p = A_s$	Plano de corte não passando pela rosca: $\alpha_v = 0,6$ $A_p =$ área da seção bruta do parafuso
Resistência ao esmagamento	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_p}{\gamma_{M2}} \leq \frac{1,5 f_u d t_p}{\gamma_{M2}}$	
	$\alpha_b = \min \begin{bmatrix} f_{ub}/f_u \\ 1,0 \\ a_d \end{bmatrix}$ Parafusos de extremidade: $a_d = e_1/3d_0$ Parafusos interiores: $a_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$	
	Parafusos de extremidade: $k_1 = \min \begin{bmatrix} 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{bmatrix}$	Parafusos interiores: $k_1 = \min \begin{bmatrix} 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{bmatrix}$
Tração e cisalhamento combinados	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$	
Onde: f_{ub} = resistência à ruptura do material do parafuso; A_s = área da seção resistente do parafuso; A_p = área da seção bruta do parafuso; f_u = resistência à ruptura do material do aço; d = diâmetro do parafuso; t_p = menor espessura da parte ligada; d_0 = diâmetro do furo; e_1, e_2, p_1, p_2 = ver figura 11; γ_{M2} = coeficiente parcial de segurança; $F_{v,Ed}$ = valor de cálculo do esforço cortante no parafuso; $F_{t,Ed}$ = valor de cálculo do esforço de tração no parafuso; $F_{v,Rd}$ = valor de cálculo da resistência ao cisalhamento no parafuso; $F_{t,Rd}$ = valor de cálculo da resistência à tração no parafuso.		

(fonte: elaborado pela autora, adaptado de INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 32)

Finalmente, deve ser também verificada a capacidade da chapa ligada ao colapso por rasgamento em ligações com parafusos. A resistência ao rasgamento da chapa pode ser dada pelas fórmulas abaixo para, respectivamente, um grupo de parafusos sujeitos a um carregamento centrado e um grupo de parafusos sujeitos a um carregamento excêntrico. (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 37).

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{f_y A_{nv}}{\gamma_{M0}} \quad (\text{fórmula 43})$$

$$V_{eff,2,Rd} = \frac{0,5 f_u A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{f_y A_{nv}}{\gamma_{M0}} \quad (\text{fórmula 44})$$

Onde:

f_u = valor nominal da tensão última do aço da chapa ligada;

A_{nt} = área útil solicitada à tração;

A_{nv} = área útil solicitada ao cisalhamento;

γ_{M0} e γ_{M2} = coeficientes parciais de segurança.

7 QUADROS COMPARATIVOS

De modo a facilitar a compressão entre as semelhanças e diferenças entre cada Norma, foram elaborados os quadros 19 a 26 mostrados abaixo, referentes aos capítulos anteriores.

Quadro 19 – Comparativos para combinações de ações e resistências de cálculo

COMBINAÇÕES DE AÇÕES		
PARÂMETRO	NORMA BRASILEIRA	NORMA EUROPEIA
Valor da ação normal combinada	$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{G i,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Q j,k})$	$E_d = \sum_{j \geq 1}^m (\gamma_{G,j} G_{k,j}) + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1}^n (\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i})$
RESISTÊNCIA DE CÁLCULO		
PARÂMETRO	NORMA BRASILEIRA	NORMA EUROPEIA
Valor da resistência de cálculo	$R_d = \frac{R_k}{\gamma_m}$	
Coeficiente de ponderação das resistências conforme combinação e ELU analisado	$\gamma_{a1} =$ <p>1,10 normais, especiais e construção 1,00 excepcionais</p>	$\gamma_{M1} = 1,00$ $\gamma_{M2} = 1,00$
	$\gamma_{a2} =$ <p>1,35 normais, especiais e construção 1,15 excepcionais</p>	$\gamma_{M3} = 1,25$

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 20 – Comparativos para resistência à tração

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO		
PARÂMETRO	NORMA BRASILEIRA	NORMA EUROPEIA
Força de tração resistente de cálculo	Escoamento da seção bruta	Esforço normal resistente plástico da seção bruta $N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$
	Ruptura da seção líquida	Esforço normal resistente última da seção útil $N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$
		Ligações de categoria C $N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}}$
	$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$	$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}}$
		Cantoneiras ligadas por uma aba $N_{u,Rd} = \frac{2,0 (e_2 - 0,5 d_0) t f_u}{\gamma_{M2}}$ $N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$ $N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$
Cálculo da área líquida/útil	$A_e = A_n C_t$	A_{net} = área bruta descontando-se os furos

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 21 – Comparativos para resistência à compressão

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO		
PARÂMETRO	NORMA BRASILEIRA	NORMA EUROPEIA
Força axial de compressão resistente de cálculo	$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}}$	Compressão Uniforme Classe 1, 2 ou 3 Classe 4 $N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}}$
		Flambagem Classe 1, 2 ou 3 Classe 4 $N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$
Valor do coeficiente χ	Curvas em função do índice de esbeltez/esbeltez normalizada	
	$\lambda_0 \leq 1,5: \chi = 0,658\lambda_0^2$ $\lambda_0 > 1,5: \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$	$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$ $\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$
Valor do índice de esbeltez	$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A_g Q f_y}{N_e}}$	Classe 1, 2 ou 3 Classe 4 $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}}$
Valor do fator de redução associado a flambagem local, Q	Produto dos fatores dados pelas relações entre largura e espessura (b/t) de elementos AA e AL dos perfis $Q = Q_a Q_s$	Não se aplica

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 22 – Comparativos para resistência ao momento fletor

RESISTÊNCIA AO MOMENTO FLETOR				
PARÂMETRO	NORMA BRASILEIRA			NORMA EUROPEIA
Regime característico do comportamento à flexão	Dado em função do índice de esbeltez, λ , para alma, mesa e flambagem lateral por torção.			Dados em função da classe característica da seção transversal
	$\lambda \leq \lambda_p$	Plastificação (M_{pl})		Classe 1 Grande aproveitamento da plastificação
	$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$	Regime inelástico (interpolação entre M_{pl} e M_r)		Classe 2 Aproveitamento da plastificação
	$\lambda = \lambda_r$	Início do escoamento (M_r)		Classe 3 Regime intermediário entre elástico e plastificação
	$\lambda > \lambda_r$	Regime elástico (M_{cr})		Classe 4 Seção não atinge o regime elástico
Valor do momento fletor resistente	FLA	FLM	FLT	Sem considerar flambagem
	$M_r = f_y W$	$M_r = (f_y - \sigma_r) W$	$M_r = (f_y - \sigma_r) W$	Classes 1 ou 2 $M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$
			$M_{cr} =$	Classe 3 $M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}}$
	Não há M_{cr}	$M_{cr} = \frac{0,69E}{\lambda^2} W_c$	$\frac{C_b \pi^2 E I_y}{L_b^2} \times \sqrt{\left(\frac{C_w}{I_y} \times \left(1 + 0,039 \frac{J L_b^2}{C_w} \right) \right)}$	Considerando flambagem
	$M_{pl} = Z_x f_y$		$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}}$	
	$M_{in} = M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$		$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$	
			$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$	
			$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$	
			$M_{cr}^E = \frac{\pi}{L} \sqrt{G I_T E I_z \left(1 + \frac{\pi^2 E I_w}{L^2 G I_T} \right)}$	
			$M_{cr} = \alpha_m M_{cr}^E$	
Fator de modificação do diagrama de momento fletor	$C_b = \frac{12,5 M_{m\acute{a}x}}{2,5 M_{m\acute{a}x} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C}$			α_m dado no Quadro 7, depende do tipo de carregamento a que a barra está submetida.

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 23 – Comparativos para resistência ao esforço cortante

RESISTÊNCIA AO ESFORÇO CORTANTE		
PARÂMETRO	NORMA BRASILEIRA	NORMA EUROPEIA
Regime característico do comportamento ao corte	$\lambda \leq \lambda_p$ Plastificação $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ Regime inelástico $\lambda > \lambda_r$ Regime elástico	Classes 1 ou 2 Distribuição plástica Classe 3 Distribuição elástica
Valor do esforço resistente ao corte	$\lambda \leq \lambda_p$ $V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$ $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ $V_{Rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda \gamma_{a1}}$ $\lambda > \lambda_r$ $V_{Rd} = 1,24 \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$ $V_{pl} = 0,60 A_w f_y = 0,60 (d t_w) f_y$	$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$ Classes 1 ou 2 $A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f \geq \eta h_w t_w$ Classe 3 $\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})} \leq 1,0$ $\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \text{ com } \frac{A_f}{A_w} \geq 0,6$

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 24 – Comparativos para verificação da combinação de esforços

COMBINAÇÃO DE ESFORÇOS			
PARÂMETRO	NORMA BRASILEIRA	NORMA EUROPEIA	
Barras submetidas a momento fletor e esforço axial	$\text{Para } \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2$ $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$ $\text{Para } \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2$ $\frac{N_{Sd}}{2N_{Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$	Flexão composta uniforme	
		<p>Calcular momento reduzido para aplicação do cálculo do momento fletor resistente</p> $M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \quad \text{Se } n \leq a$ $M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right] \quad \text{Se } n > a$ $n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \quad a = (A - 2b_f)/A \leq 0,5$	
		<p>Exceto se respeitadas as condições</p> $N_{Ed} \leq 0,25N_{pl,Rd}$ $N_{Ed} \leq \frac{0,5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}$	
		Flexão composta considerando flambagem	
		$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$	
Barras submetidas a momento fletor, esforço axial e esforço cortante	Considerado da mesma maneira dada para o cálculo da resistência ao esforço cortante, atuando na direção de um dos eixos centrais de inércia	<p>Adotada uma tensão de escoamento reduzida no cálculo do momento fletor resistente da seção bruta igual a $(1 - \rho)f_y$, onde</p> $\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$ <p>Exceto se</p> $V_{Ed} < 0,5 V_{pl,Rd}$	

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 25 – Comparativos para verificação das ligações por solda de filete

LIGAÇÕES POR SOLDA DE FILETE			
PARÂMETRO	NORMA BRASILEIRA		NORMA EUROPEIA
Resistência de cálculo ao cisalhamento do metal solda	Ruptura da seção efetiva da solda	$F_{w,Rd} = \frac{0,6A_w f_w}{1,35}$	$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a L_f$
	Escoamento do metal base	$F_{Rd} = \frac{0,6A_{MB} f_y}{\gamma_{a1}}$	$f_{vw,d} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$
Tamanho mínimo da perna da solda de filete	Menor t do metal base (mm)	b (mm)	Menor t do metal base (mm)
	≤ 6,35	3	
	6,35 < t ≤ 12,5	5	4
	12,5 < t ≤ 19	6	3
	> 19	8	
Tamanho máximo da perna da solda de filete	t do material da borda (mm)	b (mm)	Não aplicável
	< 6,35	t	
	≥ 6,35	t - 1,5	
Comprimento mínimo do filete	Maior valor entre	4 x b	Maior valor entre
		40 mm	30 mm 6 x garganta efetiva
Comprimento máximo do filete	Não aplicável		150 x garganta efetiva
Verificação da resistência do metal base	Elementos tracionados	Menor entre	
		ELU escoamento $F_{Rd} = \frac{f_y A_g}{\gamma_{a1}}$	ELU ruptura $F_{Rd} = \frac{f_u A_e}{\gamma_{a2}}$
	Elementos comprimidos	Menor entre	
		ELU escoamento $F_{Rd} = \frac{f_y A_g}{\gamma_{a1}}$	ELU flambagem Como dado em 5.2.1
Elementos submetidos a cisalhamento	Menor entre		
	ELU escoamento $F_{Rd} = \frac{0,6 f_y A_g}{\gamma_{a1}}$	ELU ruptura $F_{Rd} = \frac{0,6 f_u A_{nv}}{\gamma_{a2}}$	
Colapso por rasgamento	$F_{r,Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} (0,6 f_u A_{nv} + C_{ts} f_u A_{nt})$ $\leq \frac{1}{\gamma_{a2}} (0,6 f_y A_{gv} + C_{ts} f_u A_{nt})$		Não aplicável

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 26 – Comparativos para verificação das ligações parafusadas

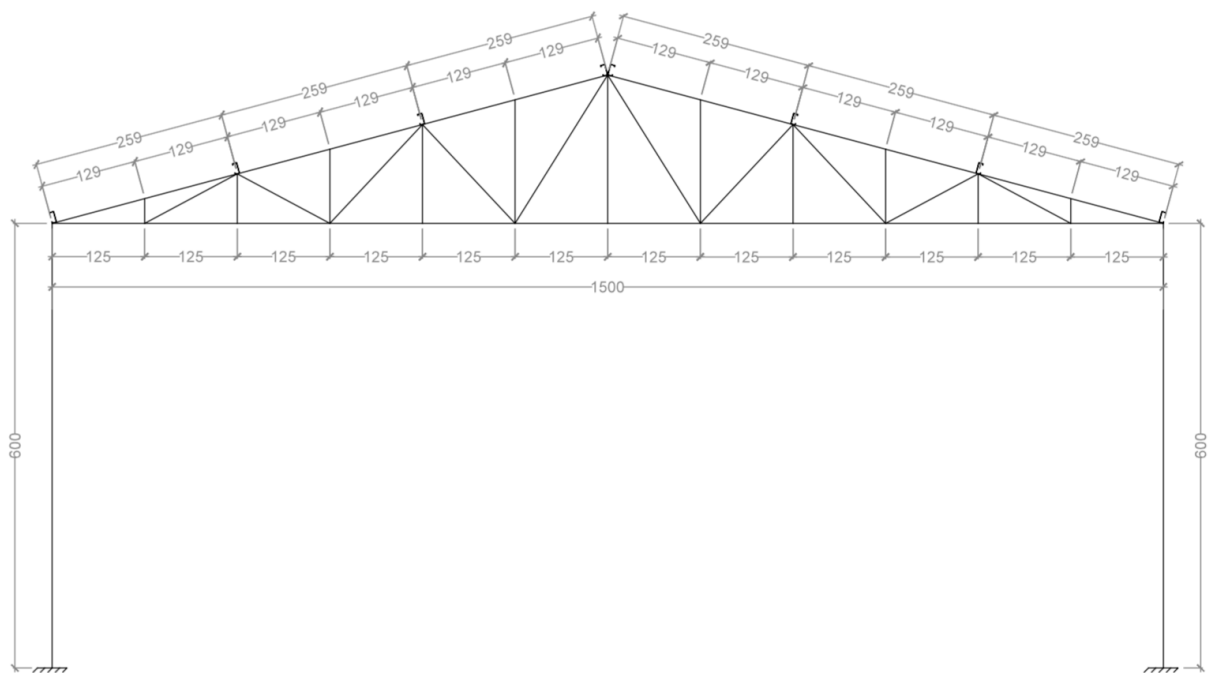
LIGAÇÕES PARAFUSADAS				
PARÂMETRO	NORMA BRASILEIRA		NORMA EUROPEIA	
Verificação de ELU de tração	$F_{t,Rd} = \frac{0,75A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$		$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$	
Verificação de ELU de cisalhamento	P.c. passa pela rosca	$F_{v,Rd} = \frac{0,4A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_p}{\gamma_{M2}}$	
	P.c. não passa pela rosca	$F_{v,Rd} = \frac{0,5A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$	P.c. passa pela rosca $\alpha_v = 0,6$ ou $0,5$ dependendo da classe do parafuso P.c. não passa pela rosca $\alpha_v = 0,6$	
Verificação de ELU de pressão de contato/ esmagamento	$F_{c,Rd} = \frac{1,5 \ell_f t_p f_u}{\gamma_{a2}} \leq \frac{3,0 d_b t_p f_u}{\gamma_{a2}}$		$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t_p}{\gamma_{M2}} \leq \frac{1,5 f_u d t_p}{\gamma_{M2}}$	
Verificação de tração de cisalhamento combinados	$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1,0$		$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$	
Dimensões máximas dos furos	d_b (mm)	d furo (mm)	Parafuso	d furo (mm)
	≤ 24	$d_b + 1,5$	$\leq M12$	$d_b + 1,0$
	27	28,5	$> M12$ e $\leq M24$	$d_b + 2,0$
	≥ 30	$d_b + 1,5$	$> M24$	$d_b + 3,0$
Distâncias mínimas entre furos e entre furo e borda	Entre centro de furos	$\geq 2,7d_b$	Entre centro de furos na horizontal	$2,2 d_0$
	Entre bordas de furos	$\geq d_b$	Entre centro de furos na vertical	$2,4 d_0$
	Entre centro de furos à borda	Em função do d_b e do tipo da borda da chapa	Entre centro de furo à borda	$1,2 d_0$
Distâncias máximas entre furos	Elementos não sujeitos a corrosão	24 x menor t da parte ligada ou 300 mm	Em função da disposição dos furos e do aço utilizado estar exposto ou não à atmosfera, ou utilizado sem proteção, variando de 14 x menor t da ligação ou 175mm até 28 x menor t da ligação ou 200mm	
	Elementos sujeitos a corrosão	14 x menor t da parte ligada ou 180mm		
Distâncias máximas entre furo e borda	Menor valor entre	150mm	Aço exposto	$4t_{base} + 40mm$
		12 x menor t da parte ligada	Aço sem proteção	$8t_{base}$ ou 125mm
Verificações da resistência do metal base	Mesmas aplicadas em ligações soldadas		Colapso por rasgamento	
			Carga centrada	$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{f_y A_{nv}}{\gamma_{M0}}$
			Carga excêntrica	$V_{eff,2,Rd} = \frac{0,5 f_u A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{f_y A_{nv}}{\gamma_{M0}}$

(fonte: elaborado pela autora)

8 APLICAÇÃO: OBTENÇÃO DO CARREGAMENTO PARA UM PÓRTICO SEGUNDO AS NORMAS CONSIDERADAS

O pórtico a ser dimensionado foi elaborado a partir de um dos pórticos do galpão projetado no Manual de Construção em Aço: Galpões para usos gerais, substituindo as duas vigas inclinadas pela viga treliçada. Desse modo, foi considerada uma distância de 6 metros entre pórticos adjacentes, com o pórtico a ser dimensionado possuindo dois pilares de 6 metros de altura, distantes de 15 metros. A treliça é composta pelo banzo inferior, que segue horizontalmente do topo de um pilar ao outro e pelos banzos superiores, que formam as duas águas do galpão, tendo inclinação de 15 graus. Os montantes foram espaçados igualmente a cada 1,25 metros no banzo inferior, totalizando onze montantes, que ficaram também igualmente espaçados nos banzos superiores. Assim, haverá quatro terças em cada água, espaçadas igualmente de 2,59 metros – uma a cada dois montantes. Finalmente, as diagonais foram posicionadas entre cada montante, totalizando dez diagonais. O esquema final do pórtico utilizado é dado na figura 12.

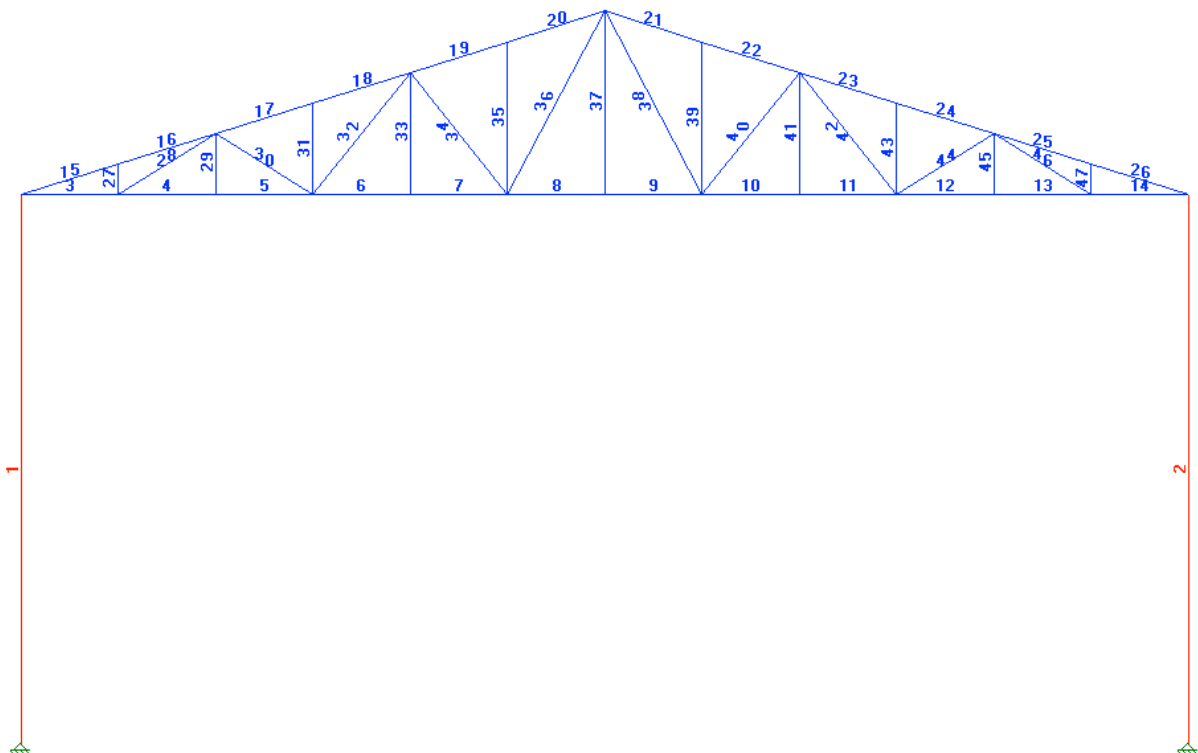
Figura 12 – Esquema do pórtico utilizado no dimensionamento, medidas em cm



(fonte: elaborado pela autora)

No lançamento do pórtico no *software* de análise, para a obtenção das solicitações em cada barra, os pilares foram considerados como engastados na base. Todas as barras da treliça foram rotuladas nas extremidades, inclusive no encontro com os pilares, de modo que só sejam submetidas a esforços axiais. Uma vez no *software*, as barras foram numeradas e, nos passos do dimensionamento, identificadas por seu respectivo número, como dado na figura 13.

Figura 13 – Numeração de cada barra do pórtico



(fonte: retirado do *software* de análise)

Os carregamentos permanentes da estrutura se dão pelo peso próprio de cada perfil, obtido através do próprio *software*, e do peso das terças e telhas da cobertura. Foram escolhidas telhas metálicas trapezoidais revestidas com zinco, com dados segundo o manual técnico de telhas da Associação Brasileira da Construção Metálica. Para o pórtico de cada Norma, as telhas devem suportar um carregamento máximo de 120 kgf/m^2 – valor obtido pela maior carga acidental combinada ao peso da telha. Assim sendo, segundo a tabela de cargas admissíveis das telhas, foi escolhida a telha de espessura 0,8 mm, que pesa $7,76 \text{ kg/m}^2$, tendo quatro pontos de apoio e espaçamento máximo de 2,75 metros entre apoios, como pode ser visto na figura 14.

Figura 14 – Tabela de telhas e cargas admissíveis

TELHA TRAPEZOIDAL 40 - Conforme Norma NBR 14514
Tabela de Cargas Admissíveis (kgf/m²) - Telhas revestidas com Zn

Esp. (mm)	Peso* (kg/m ²)	Peso (kg/ml)	I (cm ⁴ /m)	W (cm ³ /m)	Nº de apoios	Distância entre Apoios (mm)											
						1750		2000		2250		2500		2750		3000	
						F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C
0,43	4,17	4,13	10,4898	3,746	2	137	137	105	105	83	74	67	54	56	41	47	31
					3	137	137	105	105	83	83	67	67	56	56	47	47
					4	171	171	131	131	104	104	84	84	69	69	58	58
0,50	4,85	4,80	12,1631	4,344	2	159	159	122	122	96	86	78	63	64	47	54	36
					3	159	159	122	122	96	96	78	78	64	64	54	54
					4	199	199	152	152	120	120	97	97	80	80	68	68
0,65	6,30	6,24	15,7169	5,613	2	205	205	157	157	124	111	100	81	83	61	70	47
					3	205	205	157	157	124	124	100	100	83	83	70	70
					4	256	256	196	196	155	155	126	126	104	104	87	87
0,80	7,76	7,68	19,2278	6,867	2	251	251	192	192	152	136	123	99	102	75	85	58
					3	251	251	192	192	152	152	123	123	102	102	85	85
					4	314	314	240	240	190	190	154	154	127	127	107	107
0,95	9,21	9,12	22,6961	8,106	2	296	296	227	227	179	161	145	117	120	88	101	68
					3	296	296	227	227	179	179	145	145	120	120	101	101
					4	370	370	284	284	224	224	182	182	150	150	126	126
1,25	12,12	12,00	29,5074	10,538	2	385	385	295	295	233	209	189	153	156	114	131	88
					3	385	385	295	295	233	233	189	189	156	156	131	131
					4	482	482	369	369	291	291	236	236	195	195	164	164

* = Incluindo sobreposição (Larg. útil de 980 mm)
 F - Fechamento C - Cobertura

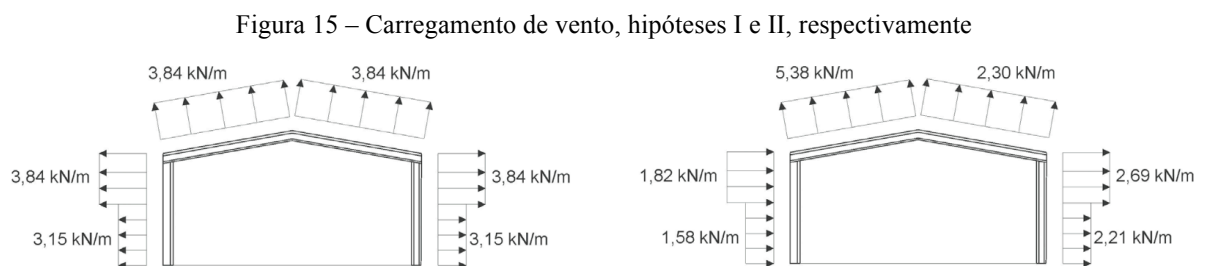
NOTA: A flecha máxima admissível é de 300 mm.
 Valores obtidos para cobertura e fechamento obedecendo ao menor valor nos seguintes critérios:
 - Flecha máxima L/200 para cobertura e L/125 para fechamento (L - vão entre terças) ou tensão máxima admissível de 1400 kgf/cm².

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 2009, p.23)

Além disso, foram adotadas terças em perfil Ue#150x60x20#3,42 nos seus oito pontos de apoio, tendo cada uma o peso de 7,60 kg/m. Dessa forma, o carregamento permanente da cobertura é dado pela soma do peso das telhas e das terças, totalizando um carregamento linear de 0,71 kN/m para o pórtico segundo cada Norma.

Segundo o Anexo B da NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 111), em coberturas deve ser considerada uma sobrecarga de 0,25 kN/m² e, além disso, uma carga concentrada aplicada na posição mais desfavorável em cada banzo superior da treliça, de intensidade compatível com o uso da edificação. De acordo com a NBR 6120 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980, p. 4), essa carga deve ter o valor de 1 kN. Já a NP EN 1991-1-1 (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2009, p. 27) define que em coberturas de categoria H – acessíveis apenas para manutenção – deve ser considerada uma sobrecarga de 0,4 kN/m² e, assim como na Norma Brasileira, uma carga concentrada aplicada na posição mais desfavorável dos banzos superiores, também de 1 kN.

Para os efeitos do vento foram utilizadas duas hipóteses, ambas retiradas do Manual de Construção em Aço: Galpões para usos gerais, calculadas de acordo com a NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações. Foi utilizado como exemplo que o galpão estaria localizado na cidade de São Paulo e construído sobre um terreno plano. Também foi considerado que seria um galpão para depósito, tendo baixo fator de ocupação. A partir destas informações e dos dados da geometria da estrutura, foram seguidos os passos para obtenção dos coeficientes de pressão internos e externos e, com eles, resultaram as combinações de cargas de vento. Os valores dos carregamentos resultantes de vento, obtidos pela multiplicação dos coeficientes de pressão pela pressão de obstrução correspondente à altura e pela distância entre pórticos, estão dados na figura 15 e foram utilizados no pórtico calculado por ambas as Normas.



(fonte: JÚNIOR; DREHMER; PRAVIA, 2010, p.27)

De posse dos carregamentos permanentes e acidentais, foram obtidas as combinações normais de ações no estado limite último, sendo utilizados os coeficientes de ponderação e fatores de redução segundo ambas as Normas. Considerando-se peso próprio, carregamento permanente, dois casos de sobrecarga e dois casos de vento, pela Norma Brasileira foram obtidos 14 combinações diferentes. Já pela Norma Europeia esse número foi maior, de 22 combinações. Isso se deve à Norma Europeia considerar um coeficiente favorável à segurança também para os carregamentos acidentais – principais e secundários –, não apenas nos permanentes, como acontece na Norma Brasileira. Na prática, não seria necessário fazer essa consideração, visto que esse coeficiente para carregamentos acidentais é igual a zero, não havendo mudança nos valores finais, nem na participação da sobrecarga como carregamento favorável à segurança. Contudo, eles foram utilizados de modo a exemplificar essa diferença conceitual entre as Normas. O número de combinações e seus respectivos coeficientes e fatores para cada Norma são dados nos quadros 27 e 28.

Quadro 27 – Combinações de ações segundo a Norma Brasileira

COMBINAÇÃO	PERMANENTES				VARIÁVEL PRINCIPAL		VARIÁVEL SECUNDÁRIA		
	$\gamma g1$	Fg1	$\gamma g2$	Fg2	$\gamma q1$	Fq1	$\gamma g2$	$\psi 02$	Fq2
ELU1	1,25	PP	1,50	CP	1,50	SC1	-	-	-
ELU2	1,25	PP	1,50	CP	1,50	SC2	-	-	-
ELU3	1,25	PP	1,50	CP	1,40	V1	-	-	-
ELU4	1,25	PP	1,50	CP	1,40	V2	-	-	-
ELU5	1,00	PP	1,00	CP	1,40	V1	-	-	-
ELU6	1,00	PP	1,00	CP	1,40	V2	-	-	-
ELU7	1,25	PP	1,50	CP	1,50	SC1	1,40	0,60	V1
ELU8	1,25	PP	1,50	CP	1,50	SC1	1,40	0,60	V2
ELU9	1,25	PP	1,50	CP	1,50	SC2	1,40	0,60	V1
ELU10	1,25	PP	1,50	CP	1,50	SC2	1,40	0,60	V2
ELU11	1,25	PP	1,50	CP	1,40	V1	1,50	0,50	SC1
ELU12	1,25	PP	1,50	CP	1,40	V1	1,50	0,50	SC2
ELU13	1,25	PP	1,50	CP	1,40	V2	1,50	0,50	SC1
ELU14	1,25	PP	1,50	CP	1,40	V2	1,50	0,50	SC2

Utilizados coeficientes favoráveis à segurança

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 28 – Combinações de ações segundo a Norma Europeia

COMBINAÇÃO	PERMANENTES				VARIÁVEL PRINCIPAL		VARIÁVEL SECUNDÁRIA		
	$\gamma g1$	Gk1	$\gamma g2$	Gk2	$\gamma q1$	Qk1	$\gamma g2$	$\psi 02$	Qk2
ELU1	1,10	PP	1,10	CP	1,50	SC1	-	-	-
ELU2	1,10	PP	1,10	CP	1,50	SC2	-	-	-
ELU3	1,10	PP	1,10	CP	1,50	V1	-	-	-
ELU4	1,10	PP	1,10	CP	1,50	V2	-	-	-
ELU5	0,90	PP	0,90	CP	1,50	V1	-	-	-
ELU6	0,90	PP	0,90	CP	1,50	V2	-	-	-
ELU7	0,90	PP	0,90	CP	0,00	SC1	1,50	0,60	V1
ELU8	0,90	PP	0,90	CP	0,00	SC1	1,50	0,60	V2
ELU9	0,90	PP	0,90	CP	0,00	SC2	1,50	0,60	V1
ELU10	0,90	PP	0,90	CP	0,00	SC2	1,50	0,60	V2
ELU11	1,10	PP	1,10	CP	1,50	SC1	1,50	0,60	V1
ELU12	1,10	PP	1,10	CP	1,50	SC1	1,50	0,60	V2
ELU13	1,10	PP	1,10	CP	1,50	SC2	1,50	0,60	V1
ELU14	1,10	PP	1,10	CP	1,50	SC2	1,50	0,60	V2
ELU15	1,10	PP	1,10	CP	1,50	V1	1,50	0,00	SC1
ELU16	1,10	PP	1,10	CP	1,50	V1	1,50	0,00	SC2
ELU17	1,10	PP	1,10	CP	1,50	V2	1,50	0,00	SC1
ELU18	1,10	PP	1,10	CP	1,50	V2	1,50	0,00	SC2
ELU19	1,10	PP	1,10	CP	1,50	V1	0,00	0,00	SC1
ELU20	1,10	PP	1,10	CP	1,50	V1	0,00	0,00	SC2
ELU21	1,10	PP	1,10	CP	1,50	V2	0,00	0,00	SC1
ELU22	1,10	PP	1,10	CP	1,50	V2	0,00	0,00	SC2

Utilizados coeficientes favoráveis à segurança

(fonte: elaborado pela autora)

Os carregamentos de peso próprio dos perfis foram calculados diretamente pelo *software*, a partir da definição inicial de uma seção. Carregamentos permanentes de telhas e terças foram lançados nos nós do banzo superior da treliça, sendo obtidos em valores de carregamento linear, multiplicando a carga global pela área de influência da distância entre pórticos. Esse carregamento foi lançado linearmente, mas calculado diretamente pelo *software* como uma carga nodal, sem gerar flexão nas barras da treliça. O mesmo foi feito para a carga global de carregamento variável. Já a carga pontual de 1 kN foi lançada diretamente no centro dos banzos superiores da treliça. Essa carga gerou um pequeno valor de momento fletor nas barras onde foi aplicada, devido à sua posição, para o qual essas barras deveria ser dimensionadas. Contudo, foi um valor pequeno, de 0,31 kN/m, quando comparado as outras maiores solicitações que essas mesmas barras são submetidas. Desse modo, não foi feita essa verificação, inclusive por não ser um carregamento que aconteceria com frequência – apenas em eventuais manutenções da cobertura. Seguindo os mesmos passos, os carregamentos lineares de vento também foram lançados como cargas nodais.

Após todos os carregamentos terem sido aplicados foram adicionados, em cada combinação, seus respectivos coeficientes. Com isso, o *software* realizou o cálculo de cada combinação e forneceu as solicitações máximas a que cada barra foi submetida.

9 RESULTADOS OBTIDOS E COMPARAÇÕES

Este capítulo apresenta considerações e comparações sobre o dimensionamento dos perfis do pórtico analisado, atendendo a todos os critérios vistos nos capítulos anteriores, de acordo com cada Norma considerada.

9.1 SOLICITAÇÕES

Após o lançamento da estrutura, com os devidos carregamentos e suas combinações, foram obtidas as solicitações máximas atuantes em cada barra. As solicitações atuantes segundo a Norma Brasileira são menores do que as obtidas na Norma Europeia para todas as barras. Os coeficientes para as combinações de ações em carregamentos permanentes são maiores segundo a Norma Brasileira, iguais para ambas nos carregamentos variáveis e maiores para o carregamento de vento na Norma Europeia. Em adição a isso, o carregamento variável segundo a Norma Europeia é quase o dobro do que o utilizado pela Norma Brasileira. Desse modo, a Norma Europeia resulta em maiores solicitações devido ao seu carregamento variável ser maior e às combinações de ações e coeficientes para cada carregamento possuírem maior variação.

Portanto, como comentado no capítulo 3, dependendo do tipo de ação a ser considerada os valores finais poderiam variar pouco ou muito entre cada Norma. Nesse caso, houve bastante diferença, visto que as solicitações em tração e compressão chegaram a ser da ordem de 30% maiores segundo a Norma Europeia e de 300% no momento fletor dos pilares – esta última pode ser atribuída ao maior coeficiente no carregamento de vento, ao mesmo tempo em que há um menor coeficiente para carregamentos permanentes favoráveis à segurança. A tabela 12 mostra os resultados finais obtidos para cada barra.

Tabela 12 – Solicitações máximas obtidas em cada barra segundo ambas as Normas

BARRA	SOLICITAÇÕES NAS BARRAS							
	NORMA BRASILEIRA				NORMA EUROPEIA			
	TRAÇÃO (kN)	COMPRESSÃO (kN)	MOMENTO FLETOR (kNm)	CORTANTE (kN)	TRAÇÃO (kN)	COMPRESSÃO (kN)	MOMENTO FLETOR (kNm)	CORTANTE (kN)
1	29,25	39,50	32,00	19,80	37,68	43,28	105,00	34,70
2	29,25	31,99	31,40	19,80	37,68	35,23	103,00	34,40
3	133,97	100,18	-	-	147,41	129,50	-	-
4	117,53	91,17	-	-	129,55	117,80	-	-
5	117,53	91,17	-	-	129,55	117,80	-	-
6	84,80	73,04	-	-	93,97	94,31	-	-
7	84,80	73,04	-	-	93,97	94,31	-	-
8	52,22	54,72	-	-	59,93	70,72	-	-
9	52,22	54,72	-	-	59,93	70,72	-	-
10	63,29	73,04	-	-	83,84	94,31	-	-
11	63,29	73,04	-	-	83,84	94,31	-	-
12	85,19	91,17	-	-	107,82	117,80	-	-
13	85,19	91,17	-	-	107,82	117,80	-	-
14	96,21	100,18	-	-	119,88	129,50	-	-
15	104,29	137,58	-	-	134,18	150,89	-	-
16	104,29	140,18	-	-	134,19	153,68	-	-
17	85,60	108,82	-	-	109,93	119,56	-	-
18	85,60	111,41	-	-	109,93	122,34	-	-
19	66,75	80,21	-	-	85,57	88,33	-	-
20	66,75	82,80	-	-	85,56	91,12	-	-
21	66,80	77,53	-	-	85,63	85,46	-	-
22	66,80	75,68	-	-	85,64	83,47	-	-
23	85,65	96,43	-	-	110,00	106,27	-	-
24	85,65	94,57	-	-	110,00	104,28	-	-
25	104,34	115,48	-	-	134,26	127,19	-	-
26	104,34	113,62	-	-	134,25	125,21	-	-
27	4,51	9,00	-	-	5,96	9,76	-	-
28	18,65	10,20	-	-	20,25	13,26	-	-
29	0,00	0,26	-	-	0,00	0,26	-	-
30	10,24	18,57	-	-	13,28	20,18	-	-
31	4,53	8,98	-	-	5,96	9,74	-	-
32	23,93	13,25	-	-	26,02	17,16	-	-
33	0,00	0,26	-	-	0,00	0,26	-	-
34	13,31	23,90	-	-	17,21	26,00	-	-
35	4,55	8,95	-	-	5,97	9,72	-	-
36	30,75	17,27	-	-	33,51	22,23	-	-
37	0,00	0,33	-	-	0,00	0,31	-	-
38	20,53	17,27	-	-	22,57	22,23	-	-
39	4,55	6,06	-	-	5,97	6,63	-	-
40	13,31	15,98	-	-	17,21	17,52	-	-
41	0,00	0,26	-	-	0,00	0,26	-	-
42	16,02	13,25	-	-	17,54	17,16	-	-
43	4,53	6,09	-	-	5,96	6,64	-	-
44	10,24	12,44	-	-	13,28	13,61	-	-
45	0,00	0,26	-	-	0,00	0,26	-	-
46	12,51	10,20	-	-	13,68	13,26	-	-
47	4,51	6,12	-	-	5,96	6,67	-	-

(fonte: elaborado pela autora)

9.2 AÇO UTILIZADO E VISÃO GERAL DO DIMENSIONAMENTO

O aço escolhido para ser utilizado na Norma Brasileira é o AR 350, que está de acordo com a NBR 7007, possuindo limite de escoamento de 345 MPa e limite de resistência de 450 MPa. Segundo dados do Centro Brasileiro da Construção em Aço, o quadro 29 mostra as similaridades entre aços estruturais de diversas normas, e o aço da Norma Europeia que se assemelha ao AR 350 é o S 355, que segue a EN 10025-2. Contudo, como o objetivo do trabalho é a comparação entre normas e não materiais, foi escolhido utilizar o mesmo aço (AR 350) segundo ambas as Normas, resultando assim em uma comparação real entre os dimensionamentos. Foi utilizada a similaridade entre materiais do quadro 29 apenas para a escolha de certos coeficientes da Norma Europeia, onde é necessário levar em conta o tipo de aço.

Quadro 29 – Similaridade entre normas de aços estruturais para a construção civil

NORMAS				
ASTM	EN	JIS	NBR	MERCOSUL
ASTM A36 ASTM A 1011 SS Grau 36 Tipo 2 ASTM A 1018 SS Grau 36 Tipo 2 ASTM A 709 Grau 36	EN 10025-2 S235JR EN 10025-2 S235J0 EN 10025-2 S275JR EN 10025-2 S275J0	JIS G3101 SS400	ABNT NBR 6650 CF26 ABNT NBR 6648 CG26 ABNT NBR 7007 MR250	NM02 131 ED24
ASTM A 572 GR 42 ASTM A 1011 SS Grau 45 Tipo 1 ASTM A 1018 HSLA Grau 45 Classe 1	EN 10025 S275JR EN 10025 S275J0	-----	-----	-----
ASTM A 572 Grau 50 ASTM A 1018 HSLAS Grau 50 Classe 1 ASTM A 1011 HSLAS Grau 50 Classe 1 ASTM A 709 Grau 50 ASTM A 992	EN 10025 S355JR EN 10025 S355J0	JIS G3101 SS490	ABNT NBR 5000 Grau 35 ABNT NBR 5004 Grau Q35 ABNT NBR 7007 AR350	NM02 102 MCF345 NM02 101 MCG360

(fonte: http://www.cbca-iabr.org.br/upfiles/downloads/similaridade-de-acos-estruturais-12-fevereiro-2014_v1.pdf)

A partir da escolha do tipo de aço, foram utilizados catálogos técnicos que fornecem as propriedades de perfis cantoneiras de abas iguais, em polegadas, e perfis de seções I laminados, chamados de perfis W.

Em ambas as Normas foi utilizado um padrão no dimensionamento, de modo que houvesse simetria na estrutura e menores chances de erros no posicionamento de cada barra durante a execução. Os dois pilares possuem perfis com a mesma seção W. Os banzos inferior e superior da treliça também tem perfis com a mesma seção de cantoneira. Da mesma forma, todos os montantes possuem a mesma seção, bem como as diagonais. Contudo, algumas

barras de diagonais na Norma Brasileira tiveram sua seção diferentes das outras. As barras 34, 36, 38 e 40 tiveram suas seções iguais, mas diferentes das demais. Essa mudança foi adotada pois o aumento de todas as outras diagonais não era necessário e implicaria em maior peso e custo da estrutura.

No dimensionamento pela Norma Brasileira foram realizadas cinco iterações. Na tentativa inicial houve superdimensionamento de todas as barras, sendo elas substituídas por perfis menores. Numa segunda tentativa, alguns perfis da treliça não resistiram ao esforço de compressão e foram, então, substituídos por perfis maiores. A terceira tentativa teve problemas nos dois pilares, que não resistiram à combinação de esforços de momento fletor e compressão e foram também substituídos. Com as ligações já dimensionadas, na quarta tentativa, os perfis dos banzos da treliça que possuem ligações parafusadas não resistiram ao colapso por rasgamento e tiveram sua seção aumentada. Por fim, uma quinta e última iteração foi necessária pois, com a troca de perfis, a barra 34 e o pilar 1 não suportaram os efeitos de compressão e combinação de esforços, respectivamente.

Já segundo a Norma Europeia foram necessárias seis iterações. Como na Norma Brasileira, a primeira tentativa foi superdimensionada e substituída por perfis menores. A segunda tentativa também teve problemas em barras da treliça no dimensionamento à compressão e estas precisaram ser aumentadas. Na terceira tentativa os pilares não resistiram ao esforço do momento fletor considerando flambagem e tiveram que ser aumentados. A quarta tentativa levou a problemas no dimensionamento das ligações, pois as barras dos banzos nas ligações parafusadas não estavam dentro dos critérios de espaçamento mínimo do furo à borda, tendo que ser substituídas por uma seção com maior dimensão de base. Na quinta tentativa essas mesmas barras dos banzos parafusados não resistiram ao dimensionamento da seção útil da zona com furos e tiveram de ter aumento de seção. Finalmente, a sexta iteração foi necessária nos pilares, que não resistiram aos esforços combinados.

A partir de então, todas as barras foram tratadas apenas pelo seu dimensionamento final, ou seja, a quinta iteração na Norma Brasileira e a sexta iteração na Norma Europeia. Os perfis finais utilizados em cada barra podem ser vistos no quadro 30.

Quadro 30 – Perfis utilizados em cada barra no dimensionamento final

BARRA	NORMA BRASILEIRA	NORMA EUROPEIA
	PERFIL	PERFIL
1	W 410x46,1	W 200x41,7
2	W 410x46,1	W 200x41,7
3	L 4"x7/16"	L 4"x1/2"
4	L 4"x7/16"	L 4"x1/2"
5	L 4"x7/16"	L 4"x1/2"
6	L 4"x7/16"	L 4"x1/2"
7	L 4"x7/16"	L 4"x1/2"
8	L 4"x7/16"	L 4"x1/2"
9	L 4"x7/16"	L 4"x1/2"
10	L 4"x7/16"	L 4"x1/2"
11	L 4"x7/16"	L 4"x1/2"
12	L 4"x7/16"	L 4"x1/2"
13	L 4"x7/16"	L 4"x1/2"
14	L 4"x7/16"	L 4"x1/2"
15	L 3,5"x3/8"	L 4"x1/2"
16	L 3,5"x3/8"	L 4"x1/2"
17	L 3,5"x3/8"	L 4"x1/2"
18	L 3,5"x3/8"	L 4"x1/2"
19	L 3,5"x3/8"	L 4"x1/2"
20	L 3,5"x3/8"	L 4"x1/2"
21	L 3,5"x3/8"	L 4"x1/2"
22	L 3,5"x3/8"	L 4"x1/2"
23	L 3,5"x3/8"	L 4"x1/2"
24	L 3,5"x3/8"	L 4"x1/2"
25	L 3,5"x3/8"	L 4"x1/2"
26	L 3,5"x3/8"	L 4"x1/2"
27	L 1,25"x1/4"	L 1"x1/4"
28	L 2"x3/16"	L 1,5"x1/4"
29	L 1,25"x1/4"	L 1"x1/4"
30	L 2"x3/16"	L 1,5"x1/4"
31	L 1,25"x1/4"	L 1"x1/4"
32	L 2"x3/16"	L 1,5"x1/4"
33	L 1,25"x1/4"	L 1"x1/4"
34	L 2"x5/16"	L 1,5"x1/4"
35	L 1,25"x1/4"	L 1"x1/4"
36	L 2"x5/16"	L 1,5"x1/4"
37	L 1,25"x1/4"	L 1"x1/4"
38	L 2"x5/16"	L 1,5"x1/4"
39	L 1,25"x1/4"	L 1"x1/4"
40	L 2"x5/16"	L 1,5"x1/4"
41	L 1,25"x1/4"	L 1"x1/4"
42	L 2"x3/16"	L 1,5"x1/4"
43	L 1,25"x1/4"	L 1"x1/4"
44	L 2"x3/16"	L 1,5"x1/4"
45	L 1,25"x1/4"	L 1"x1/4"
46	L 2"x3/16"	L 1,5"x1/4"
47	L 1,25"x1/4"	L 1"x1/4"

(fonte: elaborado pela autora)

9.3 DIMENSIONAMENTO À COMPRESSÃO

A obtenção da resistência à compressão das barras é similar entre as duas Normas. A Norma Brasileira utiliza um fator de redução associado à flambagem local, o qual é obtido pela multiplicação dos fatores dados para elementos AA e AL, de acordo com a relação entre largura e espessura (b/t) de cada elemento. Enquanto isso, a Norma Europeia, apesar de não fazer uso de tal fator, divide as seções de perfis em classes (1, 2, 3 ou 4), as quais são definidas também para elementos AA e AL, de acordo com a relação entre largura e espessura (c/t) de cada um. Ou seja, em ambas as Normas a relação entre largura e espessura dos componentes tem papel importante na definição da resistência.

Em ambas as Normas há o uso do fator de redução χ , que é dado em função do valor do índice de esbeltez. Na Norma Brasileira essa função é dada em uma única curva, já na Norma Europeia consideram-se quatro curvas de flambagem, que resultam em diferentes funções. Essas curvas são obtidas dependendo do tipo de perfil utilizado e, quando para seções I, depende também das relações de dimensões e eixos de flambagem. O índice de esbeltez é dado considerando propriedades da seção e do aço utilizado e a força axial de flambagem elástica, com a diferença que a Norma Brasileira utiliza também o fator de redução associado à flambagem local, Q .

Como na Norma Brasileira, além do uso do fator de redução χ , há o uso do fator de redução associado à flambagem local, Q , os valores obtidos nas resistências à compressão são ligeiramente menores que os obtidos na Norma Europeia. Desse modo, mesmo a Norma Brasileira tendo barras submetidas à solicitações menores do que as da Norma Europeia, foi necessário adotar perfis maiores para resistir aos esforços de compressão.

9.4 DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO

Na obtenção da resistência ao momento fletor dos pilares pode-se notar também uma similaridade entre as Normas. Enquanto a Norma Brasileira define o regime atuante para a alma e mesa do perfil em função da relação entre largura e espessura (b/t), a Norma Europeia divide esse mesmo regime de acordo com a classe característica da seção, a qual também considera a relação entre largura e espessura (c/t), como visto na compressão. Com essa

divisão dependendo do regime atuante, é obtido um valor de resistência ao momento fletor que é calculado de forma similar, considerando propriedades do aço e da seção utilizada.

Já ao ser considerada a flambagem lateral com torção, nota-se diferença nos passos de cálculo. A Norma Brasileira utiliza também nesse caso a classificação por regime atuante, dependendo de um índice que considera o espaçamento entre contenções à flambagem lateral e o raio de giração da seção. Por outro lado, a Norma Europeia faz o uso de passos bastante similares aos do dimensionamento à compressão, utilizando um índice de esbeltez, que depende de um momento crítico da seção para que seja obtido um fator de redução para flambagem lateral, χ_{LT} . A semelhança entre as Normas nesse caso se dá no momento crítico atuante. Em ambas as Normas considera-se propriedades da seção e do aço utilizado e também um fator de modificação do diagrama de momento fletor, que na Norma Brasileira depende dos momentos atuantes em diferentes pontos da barra e, na Norma Europeia, é tabelado segundo carregamentos e diagramas de momento fletor.

Os resultados obtidos apresentaram bastante diferença em cada caso. Como na Norma Brasileira a resistência à compressão foi mais crítica, o perfil utilizado nos pilares teve de ser aumentado para resistir a esse esforço. Desse modo, no cálculo da resistência ao momento fletor, esse mesmo perfil apresentou um valor bastante grande de resistência comparado à solicitação a ser resistida. Já na Norma Europeia aconteceu o contrário. O perfil inicialmente escolhido resistia perfeitamente ao esforço de compressão, mas teve de ser aumentado, pois não resistia ao esforço do momento fletor considerando a flambagem.

9.5 DIMENSIONAMENTO AO ESFORÇO CORTANTE

Da mesma maneira feita na flexão, para o dimensionamento ao esforço cortante as seções também são divididas em regimes de acordo com seu comportamento. Já na obtenção das resistências características, os passos são diferentes. Pela Norma Brasileira, o valor da resistência depende do valor da força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento e, de acordo com o regime atuante, também dos valores dos índices de esbeltez e parâmetro de esbeltez limite à plastificação. Já pela Norma Europeia, utiliza-se a área resistente ao esforço cortante, ou o próprio esforço solicitante e a área da alma, juntamente com a resistência do aço.

Os valores obtidos para a resistência ao esforço cortante foram praticamente os mesmos para as duas Normas, mesmo tendo sido utilizados perfis diferentes. Logo, nota-se que a obtenção da resistência pela Norma Brasileira é mais rigorosa, pois, mesmo tendo sido utilizado um perfil com uma maior área da alma, o resultado foi um valor muito menor se comparado ao do perfil utilizado na Norma Europeia.

9.6 COMBINAÇÃO DE ESFORÇOS

A verificação das condições necessárias a serem atendidas na combinação de esforços de compressão e de momento fletor são dadas de maneiras distintas. Na Norma Brasileira é feita apenas utilizando relações com os valores das solicitações de compressão e momento fletor e suas respectivas resistências. Na Norma Europeia, essas relações entre solicitação e resistência também são utilizadas, porém, apenas no caso de ser considerada flambagem e, ainda assim, com a adição de alguns fatores de redução e de interação que não são considerados na Norma Brasileira.

Segundo a Norma Europeia, deve também ser considerado o caso de esforços simultâneos na flexão composta uniforme, onde seria necessário utilizar um momento reduzido no cálculo da resistência ao momento fletor. Contudo, esse cálculo de momento fletor reduzido não foi necessário, tendo sido respeitadas certas condições e, desse modo, foi considerada apenas a ação simultânea de compressão e momento fletor no caso com flambagem.

Ao considerar a ação de compressão, momento fletor e esforço cortante, a Norma Brasileira define que devem apenas ser seguidos e respeitados os passos do cálculo da resistência ao esforço cortante. Já a Norma Europeia adota uma tensão de escoamento reduzida para o aço no cálculo da resistência ao momento fletor, considerando que esta ação afetaria os resultados da resistência real, porém, só no caso em que o valor da solicitação de esforço cortante é maior que 50% do valor da sua resistência.

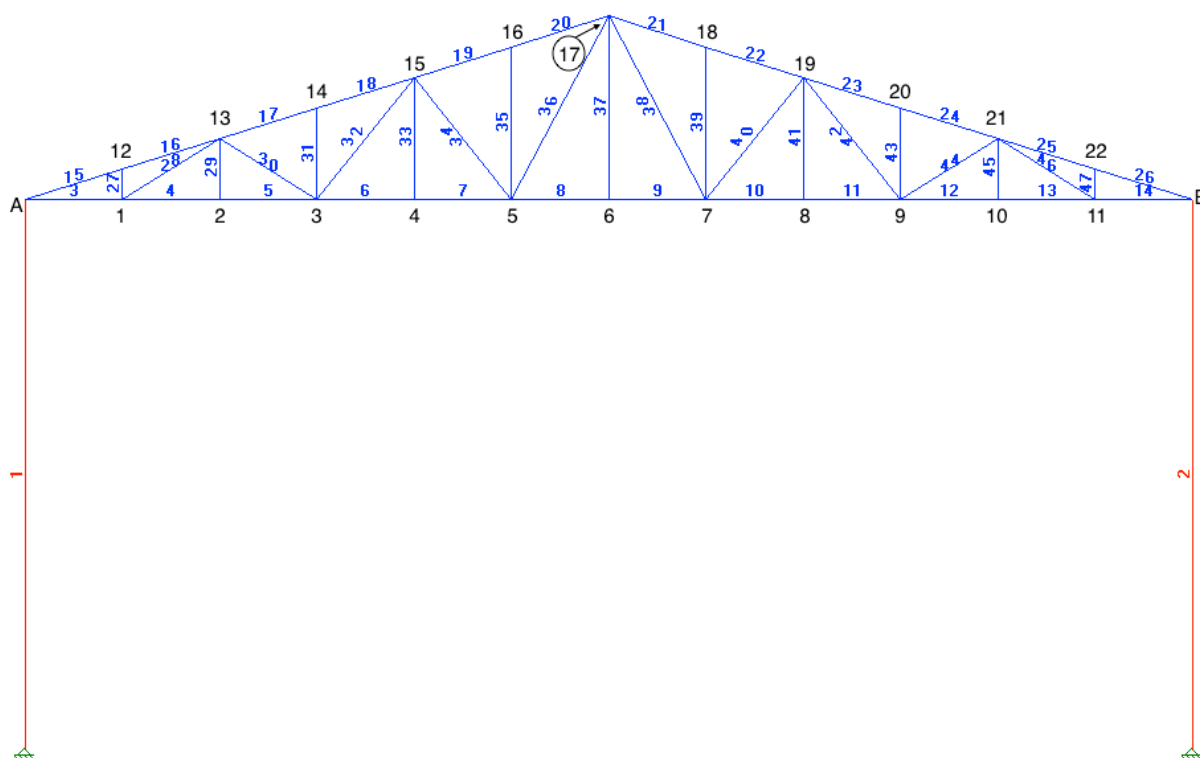
Na Norma Europeia, só sendo necessário verificar o caso da flexão composta considerando flambagem, os valores respeitaram o limite estabelecido. Entretanto, pela Norma Brasileira foi necessário adotar um perfil maior nos pilares, pois os valores da combinação de compressão e momento fletor na barra 1 não estavam dentro do limite, visto que a resistência à compressão estava muito próxima do valor de sua solicitação.

9.7 DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

A ligação entre as barras da treliça foi feita por meio de solda de filete, enquanto a treliça foi parafusada em uma chapa que foi soldada, também por meio da solda de filete, no pilar.

Para o dimensionamento das ligações, as barras foram divididas em nós, de 1 à 22 nas barras da treliça, que possuem ligação soldada, e nós A e B na ligação da treliça nos pilares, que são feitas com parafusos, como mostra a figura 16.

Figura 16 – Numeração dos nós no pórtico



(fonte: elaborado pela autora, adaptado do *software* de análise)

Da mesma maneira que foi descrito para a escolha do tipo de aço, foram utilizados o mesmo eletrodo e o mesmo tipo de parafusos em ambas as Normas, para que fosse compreendida apenas a comparação no dimensionamento.

Para as ligações soldadas foi escolhido utilizar como metal solda o eletrodo E7015 que, segundo a tabela 7 da NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 70), é um dos metais compatíveis com o AR 350 e possui resistência mínima à tração de 490 MPa, superior à resistência à ruptura do metal base.

Nas ligações parafusadas foram utilizados parafusos de alta resistência ASTM A325, possuindo resistência ao escoamento e à ruptura de, respectivamente, 630 MPa e 825 MPa.

9.7.1 Ligações entre barras da treliça

As verificações em ligações soldadas diferem consideravelmente entre Normas. Pode-se notar que a Norma Brasileira é mais rigorosa. A resistência da ligação é dada pela sua ruptura do metal solda ou pelo escoamento do metal base. Já na Norma Europeia é calculada somente a resistência da solda, que considera a ação do metal base apenas com o uso de um coeficiente β_w , dependendo do tipo de aço utilizado.

Os tamanhos mínimo e máximo da perna de solda dos filetes variam, na Norma Brasileira, conforme a espessura do metal base. Na Norma Europeia apenas é especificado qual deve ser a espessura mínima do metal base para que se tenha o tamanho mínimo da perna. As duas Normas também consideram um comprimento mínimo ao filete, que nesse caso é bastante similar. Já a Norma Brasileira nada fala sobre o comprimento máximo, enquanto a Norma Europeia sim.

A maior diferença entre as duas Normas se dá nas verificações da resistência do metal base para ligações soldadas. Enquanto a Norma Brasileira possui verificações para elementos tracionados, comprimidos, submetidos a cisalhamento e colapso por rasgamento, a Norma Europeia não faz verificação alguma, supondo que não haja problemas no metal base com esse tipo de ligação.

Nos resultados finais pode-se notar a diferença dada no dimensionamento das soldas. A resistência da ligação pela Norma Brasileira se deu pela ruptura da solda e, na verificação do metal base, nenhum perfil apresentou problemas de rasgamento. As chapas de ligação, por possuírem grande área líquida sujeita à tração e cisalhamento, dispensaram verificação. O comprimento das soldas variou bastante, sendo de 4, 8 e 12 cm na Norma Brasileira e de 3, 6, 9 e 10 cm na Norma Europeia. Mesmo tendo comprimentos menores, as resistências das soldas pela Norma Europeia foram superiores, devido à sua menor rigorosidade nos cálculos. Os tamanhos das pernas dos filetes também variaram. Na Norma Brasileira, devido ao limite entre tamanho mínimo e máximo, foi adotado um valor de 4 mm em todos os nós. Já na Norma Europeia esse valor foi de 5 mm, pois a garganta efetiva não poderia ser menor de 3

mm, segundo dados da NP EN 1993-1-8 (INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2010, p. 46).

Cabe ressaltar que o dimensionamento das soldas nos banzos, calculado separadamente para cada nó, é de ordem ilustrativa para melhor comparação do resultado entre as Normas. Na execução prática da estrutura, como pode ser visto no detalhamento nas pranchas do apêndice C, os banzos são considerados contínuos, com duas emendas em cada um, executadas fora dos nós e dadas pelo uso de talas com uma ligação parafusada.

9.7.2 Ligações da treliça nos pilares

As chapas horizontais, soldadas no topo dos pilares, foram dimensionadas para um comprimento de solda que preencha toda a alma do perfil do pilar. Desse modo, em ambas as Normas as resistências das soldas foram suficientes. A diferença se deu pela determinação da espessura das chapas. Na Norma Brasileira foi necessário utilizar uma espessura de 10 mm, de forma que a chapa resistisse ao cisalhamento. Na Norma Europeia, onde não há verificações adicionais nas chapas base, seria necessário o uso de um valor mínimo de 5 mm, contudo, foi adotado o mesmo valor de 10 mm.

Da mesma maneira, as soldas das chapas verticais nas horizontais tiveram como comprimento toda a altura do perfil do pilar, que foi suficiente para resistir aos esforços. Em ambas as Normas, a altura da chapa se deu em função de ter espaço suficiente para comportar parafusos e banzos, resultando em um trapézio de alturas 9 e 14 cm pela Norma Europeia e de 10 e 20 cm pela Norma Brasileira. A espessura da chapa na Norma Brasileira teve de ficar com 10 mm, de modo a que fosse uma espessura próxima à considerada no maior banzo. Na Norma Europeia, foi necessário utilizar 13 mm, sendo também um valor próximo ao da espessura dos banzos.

As extremidades dos banzos, barras 3, 15, 14 e 26, possuem ligações parafusadas na chapa vertical. O dimensionamento dessas ligações segue passos muito similares entre as duas Normas, verificando a tração e cisalhamento dos parafusos, pressão de contato nos furos e combinação entre tração e cisalhamento. Neste caso não houve parafusos a serem dimensionados para tração, apenas cisalhamento, onde foram escolhidos parafusos nos quais o plano de corte não passa pela rosca, havendo um maior aproveitamento da resistência. Em

ambas as Normas é utilizada a área e resistência à ruptura dos parafusos para obter a resistência da ligação.

As verificações de dimensões de furos se assemelham, pois ambas utilizam um valor padrão de furo dependendo do diâmetro do parafuso. Já as distâncias mínimas entre furos são dadas em função do diâmetro escolhido do furo, também com valores bastante próximos. O mesmo vale para as distâncias máximas, que dependem da espessura das partes ligadas e da exposição ou não à corrosão dos elementos.

Como os passos de cálculo são muito parecidos, os resultados finais também são bastante próximos. Para as barras em ambas as Normas foi utilizado um parafusos de 1" (2,54 cm de diâmetro) em cada nó de ligação dos banzos nas chapas. Contudo, foi necessário um aumento das seções dos banzos, de modo a que fosse comportado o uso do parafuso respeitando as distâncias mínimas entre furo e borda e verificações de resistência ao esmagamento. As seções dos banzos acabaram ficando maiores pela Norma Europeia, visto que ela possui maiores solicitações a serem resistidas pelo mesmo parafuso.

No caso de ligações parafusadas a Norma Europeia faz a verificação do colapso por rasgamento do metal base, considerando carga centrada ou carga excêntrica. É feito também com valores similares aos da Norma Brasileira. O colapso por rasgamento foi verificado para a chapa vertical e para os perfis das barras. Em ambos os casos, para as duas Normas, os valores finais obtidos foram bastante próximos, sendo ligeiramente menores para a Norma Brasileira, que possui perfis com menores seções.

9.7.3 Emendas dos banzos

As emendas nos banzos foram realizadas simetricamente, de modo a possibilitar uma pré-montagem da treliça em três partes menores. Desse modo, foram consideradas emendas nas barras 6, 11, 18 e 23.

Essas emendas foram feitas com o uso de talas, pela parte externa e interna do perfil, fixadas por uma ligação com parafusos. Na parte externa, foi utilizado um mesmo perfil da cantoneira do banzo e, na parte interna, duas chapas com a dimensão das abas e mesma espessura do perfil. Foi necessário o uso de um parafuso em cada aba das barras, sendo de 1/2" (1,27 cm de

diâmetro), segundo ambas as Normas. Os perfis e as chapas foram verificados também para o colapso por rasgamento e foram dimensionados à tração, considerando sua área líquida da zona com furos.

9.8 DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO

Finalmente, com as ligações dimensionadas e as áreas líquidas disponíveis, pode-se fazer o dimensionamento das barras à tração. O cálculo da resistência ao escoamento para a seção bruta é o mesmo em ambas as Normas, considerando a área bruta da seção e resistência ao escoamento do aço.

A obtenção da resistência da seção líquida difere entre cada Norma. A Norma Brasileira faz o uso da área líquida efetiva no cálculo da resistência, que é a área líquida descontando-se os furos, quando houverem, multiplicada por um fator de redução, que varia conforme o tipo de ligação e o modo como ela é transmitida à seção da barra. Já a Norma Europeia faz uso de um coeficiente fixo, independente do tipo de ligação, que multiplica a área líquida descontada dos furos, se existentes. Desse modo, nas ligações soldadas, os valores do coeficiente de redução pela Norma Brasileira variam conforme o tamanho das soldas, variando a resistência da barra, enquanto na Norma Europeia se mantém constantes.

A Norma Europeia, contudo, possui uma particularidade para o cálculo da resistência à tração de cantoneiras ligadas por parafusos por uma aba. Nesse caso, faz-se o uso de fórmulas específicas que possuem coeficientes de redução variando conforme o número de parafusos, distâncias entre eles e o diâmetro dos furos. Esses coeficientes acabaram sendo menores que os coeficientes da Norma Brasileira para ligações parafusadas, resultando em resistências menores.

As tabelas finais com todos os dimensionamentos podem ser vistas nos apêndices A e B e as plantas dos pórticos no apêndice C.

10 CONCLUSÕES

Ao analisar dois dimensionamentos para um mesmo pórtico, tem-se uma diferença inicial já nos carregamentos acidentais a que eles devem ser submetidos. Essa diferença é seguida pelas combinações de ações que devem ser consideradas e, conseqüentemente, alterações nos valores de solicitações a que cada barra é submetida. Neste caso, nota-se que a Norma Europeia é muito mais rigorosa que a Norma Brasileira, considerando ações maiores, que resultam em maiores solicitações a serem resistidas.

Entretanto, essa diferença inicial é invertida nos passos subsequentes. Ao mesmo tempo em que as barras da Norma Brasileira são submetidas a esforços menores, grande parte de seus perfis finais acabaram possuindo seções maiores que os da Norma Europeia. Ou seja, após todos os passos do dimensionamento, nota-se que a Norma Brasileira acaba sendo mais rigorosa que a Europeia na obtenção de resistências, visto que foi utilizado o mesmo aço para as duas Normas. O mais notável acontece com a obtenção da resistência à compressão, uma vez que a Norma Brasileira considera o uso de dois coeficientes de redução da flambagem, ao passo que a Norma Europeia apenas utiliza um. Em contrapartida, os pilares, pela Norma Europeia, acabaram sendo dimensionados pelo momento fletor, que faz uso de um coeficiente redutor para flambagem que a Norma Brasileira não possui, fazendo com que sua resistência diminua.

Além disso, o dimensionamento das barras dos banzos da treliça foi influenciado diretamente pelo dimensionamento das ligações com parafusos, visto que suas barras tiveram de ter sua seção aumentada a fim de comportar as distâncias mínimas de furos e resistir aos esforços submetidos. No restante das verificações, apesar de haver algumas diferenças nos passos para obtenção de resistências, o valor final não foi o responsável pelo dimensionamento das barras em nenhuma das Normas.

No dimensionamento das ligações soldadas nota-se que a Norma Europeia foi muito menos rigorosa que a Brasileira, resultando em valores bastante menores se comparados às maiores solicitações à que as barras estão submetidas. Outra grande diferença é a falta de verificação no metal base nesse tipo de ligação pela Norma Europeia, apenas assumindo que não há

problemas - o que realmente acontece com ligações soldadas, visto que as peças não perdem resistência devido a furos.

Em questão de peso dos perfis e chapas de ligação, comprimento e volume de solda e quantidade de parafusos utilizados, foi elaborado um comparativo entre os valores estimados para as duas Normas, como pode ser visto no quadro 31.

Quadro 31 – Comparativo entre estimativas de peso de perfis e chapas, quantidade de parafusos e metros de solda

COMPONENTES	ESTIMATIVAS	
	NORMA BRASILEIRA	NORMA EUROPEIA
PERFIS (kg)	1120,90	1171,90
CHAPAS DE LIGAÇÃO (kg)	250,81	161,62
TOTAL (kg)	1371,71	1333,52
PARAFUSOS (qtd)	1/2"	16
	1"	2
SOLDAS	(cm ³)	69,18
	(cm)	788,00

(fonte: elaborado pela autora)

O peso dos perfis foi tirado diretamente do *software* STRAP, após a última iteração contendo os perfis escolhidos. Pode-se notar que pela Norma Brasileira os valores são ligeiramente menores. Entretanto, essa diferença se inverte se for adicionado o peso das chapas de ligação, que necessitaram ter maiores dimensões e espessuras segundo a Norma Brasileira, chegando a ser 55% superior. Há variação também no comprimento total das soldas, que é mais de 2 metros maior pela Norma Brasileira. Contudo, levando em conta que os valores da perna do filete foram maiores pela Norma Europeia, essa diferença acaba sendo igualada no cálculo do volume de solda utilizado, que é praticamente o mesmo. Da mesma maneira, ambas as Normas utilizam o mesmo número e diâmetro de parafusos nas ligações, não havendo diferenças resultados finais. Desta forma, um pórtico dimensionado pela Norma Europeia geraria, via de regra, uma estrutura ligeiramente mais econômica, dado seu menor peso final da estrutura, quando consideradas as chapas de ligação entre barras.

Levando em conta o que foi abordado e, uma vez que a última revisão da NBR 8800 teve como referência os Eurocódigos em questão, era esperado que as duas Normas não possuíssem grandes diferenças em questão de dimensionamento e também de configuração

final da estrutura. Mesmo a Norma Brasileira resultando em um pórtico maior em questão de peso final dos elementos, ambas apresentam resultados similares, no geral, e eficientes para seus respectivos locais de aplicação.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Pedro Miguel Nunes. **Dimensionamento de Estruturas Metálicas segundo o Eurocódigo3. Análise comparativa entre diversas concepções estruturais para edifícios industriais**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil apresentado à Universidade Fernando Pessoa. Porto: 2012. Disponível em: <<http://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/3520/3/DM-17723.pdf>>. Acesso em: 29 mai. 2017.
- ANDRADE, Péricles Barreto de. **Curso básico de estruturas de aço**. Belo Horizonte: IEA, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. **Manual técnico: telhas de aço**. 1ª Edição. São Paulo: 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: 1980.
- _____. **NBR 7007: aços-carbono e microligados para uso estrutural e geral**. Rio de Janeiro: 2002.
- _____. **NBR 8800: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro: 2008.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 10025-2: hot rolled products of structural steels – part 2: technical delivery conditions for non-alloy structural steels**. Brussels: 2004.
- _____. **EN ISO 2560: welding consumables – covered electrodes for manual metal arc welding of non-alloy and fine grain steels – classification**. Brussels: 2005.
- GERDAU. **Cantoneiras de abas iguais**. Disponível em: <<https://www.gerdau.com/br/pt/productsservices/products/Document%20Gallery/barras-e-perfis-lamina-cantoneira.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2017.
- _____. **Tabela de bitolas**. Disponível em: <<http://www.soufer.com.br/arquivos/laminados/2.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2017.
- INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE. **NP EN 1990: eurocódigo – bases para o projecto de estruturas**. Caparica: 2009.
- _____. **NP EN 1991-1-1: eurocódigo 1– acções em estruturas – parte 1-1: acções gerais pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios**. Caparica: 2009.
- _____. **NP EN 1993-1-1: eurocódigo 3– projecto de estrutura de aço – parte 1-1: regras gerais e regras para edifícios**. Caparica: 2010.
- _____. **NP EN 1993-1-8: eurocódigo 3– projecto de estrutura de aço – parte 1-8: projecto de ligações**. Caparica: 2010.

JÚNIOR, Enio Mesacasa; DREHMER, Gilnei Artur; PRAVIA, Zacarias M. Chamberlain. **Manual de Construção em Aço: Galpões para usos gerais**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2010.

MARTINS, João Guerra. **Estruturas Metálicas-EC3 Parte 1-1/Volume III**. 7ª Edição, 2011. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/sandrapinto587/ec3-parte-3>>. Acesso em: 26 mai. 2017.

_____. **Estruturas Metálicas-EC3 Parte 1-1/Volume IV**. 4ª Edição, 2011. Disponível em: <https://www.academia.edu/24589120/Estruturas_Metálicas_EC3_Parte_1.1_Volume_IV>. Acesso em: 26 mai. 2017.

SANTOS, Rogério dos. **Estudo comparativo entre o dimensionamento de estruturas articuladas em aço para treliça em arco pela NBR 8800: 2008, EUROCODE 3 e ANSI/AISC 360-05**. 2016. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/4253>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

SOUZA, Nuno da Costa. **Influência do aperto de parafusos em ligações correntes em estruturas metálicas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil apresentado à Universidade de Coimbra. Coimbra: 2013. Disponível em: <<https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/38454/1/Influencia%20do%20aperto%20de%20parafusos%20em%20ligacoes%20correntes%20em%20estruturas%20metalicas.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2017.

VASCONCELLOS, Alexandre Luiz. **Manual de Construção em Aço: Ligações em Estruturas Metálicas**, v. 1. 4ª Edição. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2011.

APÊNDICE A – Tabelas com o dimensionamento de todas as barras à tração, compressão, momento fletor, esforço cortante, combinação de esforços e ligações segundo a Norma Brasileira

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO					
BARRA	PERFIL UTILIZADO	SOLICITAÇÃO DE TRAÇÃO (kN)	Escoamento seção bruta		
			Nt,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
1	W 410x46,1	29,25	1856,73	OK	0,02
2	W 410x46,1	29,25	1856,73	OK	0,02
3	L 4"x7/16"	133,97	669,61	OK	0,20
4	L 4"x7/16"	117,53	669,61	OK	0,18
5	L 4"x7/16"	117,53	669,61	OK	0,18
6	L 4"x7/16"	84,80	669,61	OK	0,13
7	L 4"x7/16"	84,80	669,61	OK	0,13
8	L 4"x7/16"	52,22	669,61	OK	0,08
9	L 4"x7/16"	52,22	669,61	OK	0,08
10	L 4"x7/16"	63,29	669,61	OK	0,09
11	L 4"x7/16"	63,29	669,61	OK	0,09
12	L 4"x7/16"	85,19	669,61	OK	0,13
13	L 4"x7/16"	85,19	669,61	OK	0,13
14	L 4"x7/16"	96,21	669,61	OK	0,14
15	L 3,5"x3/8"	104,29	501,82	OK	0,21
16	L 3,5"x3/8"	104,29	501,82	OK	0,21
17	L 3,5"x3/8"	85,60	501,82	OK	0,17
18	L 3,5"x3/8"	85,60	501,82	OK	0,17
19	L 3,5"x3/8"	66,75	501,82	OK	0,13
20	L 3,5"x3/8"	66,75	501,82	OK	0,13
21	L 3,5"x3/8"	66,80	501,82	OK	0,13
22	L 3,5"x3/8"	66,80	501,82	OK	0,13
23	L 3,5"x3/8"	85,65	501,82	OK	0,17
24	L 3,5"x3/8"	85,65	501,82	OK	0,17
25	L 3,5"x3/8"	104,34	501,82	OK	0,21
26	L 3,5"x3/8"	104,34	501,82	OK	0,21
27	L 1,25"x1/4"	4,51	113,54	OK	0,04
28	L 2"x3/16"	18,65	143,65	OK	0,13
29	L 1,25"x1/4"	0,00	113,54	OK	0,00
30	L 2"x3/16"	10,24	143,65	OK	0,07
31	L 1,25"x1/4"	4,53	113,54	OK	0,04
32	L 2"x3/16"	23,93	143,65	OK	0,17
33	L 1,25"x1/4"	0,00	113,54	OK	0,00
34	L 2"x5/16"	13,31	232,72	OK	0,06
35	L 1,25"x1/4"	4,55	113,54	OK	0,04
36	L 2"x5/16"	30,75	232,72	OK	0,13
37	L 1,25"x1/4"	0,00	113,54	OK	0,00
38	L 2"x5/16"	20,53	232,72	OK	0,09
39	L 1,25"x1/4"	4,55	113,54	OK	0,04
40	L 2"x5/16"	13,31	232,72	OK	0,06
41	L 1,25"x1/4"	0,00	113,54	OK	0,00
42	L 2"x3/16"	16,02	143,65	OK	0,11
43	L 1,25"x1/4"	4,53	113,54	OK	0,04
44	L 2"x3/16"	10,24	143,65	OK	0,07
45	L 1,25"x1/4"	0,00	113,54	OK	0,00
46	L 2"x3/16"	12,51	143,65	OK	0,09
47	L 1,25"x1/4"	4,51	113,54	OK	0,04

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO										
NÓ	BARRAS	SOLCITAÇÃO TRAÇÃO (kN)	LIGAÇÕES COM SOLDAS							
			Ruptura seção líquida							
			An (cm2)	lc (cm)	ec (cm)	Ct	Ae (cm2)	Nt,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
1	3	133,97	21,35	12,00	2,95	0,75	16,10	536,72	OK	0,25
	4	117,53	21,35	12,00	2,95	0,75	16,10	536,72	OK	0,22
	27	4,51	3,62	12,00	1,02	0,90	3,26	108,60	OK	0,04
	28	18,65	4,58	12,00	1,45	0,88	4,03	134,22	OK	0,14
2	4	117,53	21,35	12,00	2,95	0,75	16,10	536,72	OK	0,22
	5	117,53	21,35	12,00	2,95	0,75	16,10	536,72	OK	0,22
	29	0,00	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,00
3	5	117,53	21,35	12,00	2,95	0,75	16,10	536,72	OK	0,22
	6	84,80	21,35	12,00	2,95	0,75	16,10	536,72	OK	0,16
	30	10,24	4,58	4,00	1,45	0,64	2,92	97,33	OK	0,11
	31	4,53	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,05
	32	23,93	4,58	4,00	1,45	0,64	2,92	97,33	OK	0,25
4	6	84,80	21,35	8,00	2,95	0,63	13,48	449,24	OK	0,19
	7	84,80	21,35	8,00	2,95	0,63	13,48	449,24	OK	0,19
	33	0,00	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,00
5	7	84,80	21,35	8,00	2,95	0,63	13,48	449,24	OK	0,19
	8	52,22	21,35	8,00	2,95	0,63	13,48	449,24	OK	0,12
	34	13,31	7,42	4,00	1,55	0,61	4,54	151,49	OK	0,09
	35	4,55	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,05
	36	30,75	7,42	4,00	1,55	0,61	4,54	151,49	OK	0,20
6	8	52,22	21,35	8,00	2,95	0,63	13,48	449,24	OK	0,12
	9	52,22	21,35	8,00	2,95	0,63	13,48	449,24	OK	0,12
	37	0,00	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,00
7	9	52,22	21,35	8,00	2,95	0,63	13,48	449,24	OK	0,12
	10	63,29	21,35	8,00	2,95	0,63	13,48	449,24	OK	0,14
	38	20,53	7,42	4,00	1,55	0,61	4,54	151,49	OK	0,14
	39	4,55	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,05
	40	13,31	7,42	4,00	1,55	0,61	4,54	151,49	OK	0,09
8	10	63,29	21,35	8,00	2,95	0,63	13,48	449,24	OK	0,14
	11	63,29	21,35	8,00	2,95	0,63	13,48	449,24	OK	0,14
	41	0,00	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,00
9	11	63,29	21,35	8,00	2,95	0,63	13,48	449,24	OK	0,14
	12	85,19	21,35	8,00	2,95	0,63	13,48	449,24	OK	0,19
	42	16,02	4,58	4,00	1,45	0,64	2,92	97,33	OK	0,16
	43	4,53	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,05
	44	10,24	4,58	4,00	1,45	0,64	2,92	97,33	OK	0,11
10	12	85,19	21,35	8,00	2,95	0,63	13,48	449,24	OK	0,19
	13	85,19	21,35	8,00	2,95	0,63	13,48	449,24	OK	0,19
	45	0,00	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,00
11	13	85,19	21,35	8,00	2,95	0,63	13,48	449,24	OK	0,19
	14	96,21	21,35	8,00	2,95	0,63	13,48	449,24	OK	0,21
	46	12,51	4,58	4,00	1,45	0,64	2,92	97,33	OK	0,13
	47	4,51	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,05
12	15	104,29	16,00	12,00	2,58	0,79	12,56	418,67	OK	0,25
	16	104,29	16,00	12,00	2,58	0,79	12,56	418,67	OK	0,25
	27	4,51	3,62	12,00	1,02	0,90	3,26	108,60	OK	0,04
13	16	104,29	16,00	12,00	2,58	0,79	12,56	418,67	OK	0,25
	17	85,60	16,00	12,00	2,58	0,79	12,56	418,67	OK	0,20
	28	18,65	4,58	12,00	1,45	0,88	4,03	134,22	OK	0,14
	29	0,00	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,00
	30	10,24	4,58	4,00	1,45	0,64	2,92	97,33	OK	0,11
14	17	85,60	16,00	12,00	2,58	0,79	12,56	418,67	OK	0,20
	18	85,60	16,00	12,00	2,58	0,79	12,56	418,67	OK	0,20
	31	4,53	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,05
15	18	85,60	16,00	12,00	2,58	0,79	12,56	418,67	OK	0,20
	19	66,75	16,00	12,00	2,58	0,79	12,56	418,67	OK	0,16
	32	23,93	4,58	4,00	1,45	0,64	2,92	97,33	OK	0,25
	33	0,00	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,00
	34	13,31	7,42	4,00	1,55	0,61	4,54	151,49	OK	0,09
16	19	66,75	16,00	12,00	2,58	0,79	12,56	418,67	OK	0,16
	20	66,75	16,00	12,00	2,58	0,79	12,56	418,67	OK	0,16
	35	4,55	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,05
17	20	66,75	16,00	12,00	2,58	0,79	12,56	418,67	OK	0,16
	21	66,80	16,00	8,00	2,58	0,68	10,84	361,33	OK	0,18
	36	30,75	7,42	4,00	1,55	0,61	4,54	151,49	OK	0,20
	37	0,00	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,00
	38	20,53	7,42	4,00	1,55	0,61	4,54	151,49	OK	0,14
18	21	66,80	16,00	8,00	2,58	0,68	10,84	361,33	OK	0,18
	22	66,80	16,00	8,00	2,58	0,68	10,84	361,33	OK	0,18
	39	4,55	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,05
19	22	66,80	16,00	8,00	2,58	0,68	10,84	361,33	OK	0,18
	23	85,65	16,00	8,00	2,58	0,68	10,84	361,33	OK	0,24
	40	13,31	7,42	4,00	1,55	0,61	4,54	151,49	OK	0,09
	41	0,00	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,00
	42	16,02	4,58	4,00	1,45	0,64	2,92	97,33	OK	0,16
20	23	85,65	16,00	8,00	2,58	0,68	10,84	361,33	OK	0,24
	24	85,65	16,00	8,00	2,58	0,68	10,84	361,33	OK	0,24
	43	4,53	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,05
21	24	85,65	16,00	12,00	2,58	0,79	12,56	418,67	OK	0,20
	25	104,34	16,00	12,00	2,58	0,79	12,56	418,67	OK	0,25
	44	10,24	4,58	4,00	1,45	0,64	2,92	97,33	OK	0,11
	45	0,00	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,00
	46	12,51	4,58	4,00	1,45	0,64	2,92	97,33	OK	0,13
22	25	104,34	16,00	12,00	2,58	0,79	12,56	418,67	OK	0,25
	26	104,34	16,00	12,00	2,58	0,79	12,56	418,67	OK	0,25
	47	4,51	3,62	4,00	1,02	0,75	2,70	89,90	OK	0,05
NÓ	BARRAS	SOLCITAÇÃO TRAÇÃO (kN)	LIGAÇÕES COM PARAFUSOS							
			Ruptura seção líquida							
			An (cm2)	lc (cm)	ec (cm)	Ct	Ae (cm2)	Nt,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
A	3	133,97	19,41	2,85	2,95	0,60	11,65	388,18	OK	0,35
	15	104,29	14,21	2,85	2,58	0,60	8,53	284,27	OK	0,37
B	14	96,21	19,41	2,85	2,95	0,60	11,65	388,18	OK	0,25
	26	104,34	14,21	2,85	2,58	0,60	8,53	284,27	OK	0,37

DIMENSIONAMENTO À COMPRESSÃO																									
BARRA	PERFIL UTILIZADO	SOLICITAÇÃO DE COMPRESSÃO (kN)	Ag (cm2)	Lx=Ly=Lz (cm)	Kx=Ky	Kz	Kx1Lx1	Nex (kN)	Ney (kN)	Nez (kN)	Ne (kN)	Elementos AA				Elementos AL				Q	λ0	χ	Nc,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
												(b/t)	(b/t)lim	bef (cm)	Qa	(b/t)	(b/t)lim	(b/t)lim sup	Qs						
1	W 410x46,1	39,50	59,20	600,00	2,00	1,00	-	2150,75	70,46	958,58	70,46	51,00	35,87	27,17	0,90	6,25	13,48	24,80	1,00	0,90	5,11	0,03	56,17	OK	0,70
2	W 410x46,1	31,99	59,20	600,00	2,00	1,00	-	2150,75	70,46	958,58	70,46	51,00	35,87	27,17	0,90	6,25	13,48	24,80	1,00	0,90	5,11	0,03	56,17	OK	0,57
3	L 4"x7/16"	100,18	21,35	143,56	1,00	1,00	332,31	371,80	-	-	371,80	-	-	-	-	9,14	10,83	21,91	1,00	1,00	1,41	0,44	292,22	OK	0,34
4	L 4"x7/16"	91,17	21,35	125,00	1,00	1,00	318,39	405,02	-	-	405,02	-	-	-	-	9,14	10,83	21,91	1,00	1,00	1,35	0,47	312,78	OK	0,29
5	L 4"x7/16"	91,17	21,35	125,00	1,00	1,00	318,39	405,02	-	-	405,02	-	-	-	-	9,14	10,83	21,91	1,00	1,00	1,35	0,47	312,78	OK	0,29
6	L 4"x7/16"	73,04	21,35	125,00	1,00	1,00	318,39	405,02	-	-	405,02	-	-	-	-	9,14	10,83	21,91	1,00	1,00	1,35	0,47	312,78	OK	0,23
7	L 4"x7/16"	73,04	21,35	125,00	1,00	1,00	318,39	405,02	-	-	405,02	-	-	-	-	9,14	10,83	21,91	1,00	1,00	1,35	0,47	312,78	OK	0,23
8	L 4"x7/16"	54,72	21,35	125,00	1,00	1,00	318,39	405,02	-	-	405,02	-	-	-	-	9,14	10,83	21,91	1,00	1,00	1,35	0,47	312,78	OK	0,17
9	L 4"x7/16"	54,72	21,35	125,00	1,00	1,00	318,39	405,02	-	-	405,02	-	-	-	-	9,14	10,83	21,91	1,00	1,00	1,35	0,47	312,78	OK	0,17
10	L 4"x7/16"	73,04	21,35	125,00	1,00	1,00	318,39	405,02	-	-	405,02	-	-	-	-	9,14	10,83	21,91	1,00	1,00	1,35	0,47	312,78	OK	0,23
11	L 4"x7/16"	73,04	21,35	125,00	1,00	1,00	318,39	405,02	-	-	405,02	-	-	-	-	9,14	10,83	21,91	1,00	1,00	1,35	0,47	312,78	OK	0,23
12	L 4"x7/16"	91,17	21,35	125,00	1,00	1,00	318,39	405,02	-	-	405,02	-	-	-	-	9,14	10,83	21,91	1,00	1,00	1,35	0,47	312,78	OK	0,29
13	L 4"x7/16"	91,17	21,35	125,00	1,00	1,00	318,39	405,02	-	-	405,02	-	-	-	-	9,14	10,83	21,91	1,00	1,00	1,35	0,47	312,78	OK	0,29
14	L 4"x7/16"	100,18	21,35	143,56	1,00	1,00	332,31	371,80	-	-	371,80	-	-	-	-	9,14	10,83	21,91	1,00	1,00	1,41	0,44	292,22	OK	0,34
15	L 3,5"x3/8"	137,58	16,00	146,55	1,00	1,00	307,91	251,92	-	-	251,92	-	-	-	-	9,34	10,83	21,91	1,00	1,00	1,48	0,40	200,56	OK	0,69
16	L 3,5"x3/8"	140,18	16,00	129,37	1,00	1,00	295,03	274,41	-	-	274,41	-	-	-	-	9,34	10,83	21,91	1,00	1,00	1,42	0,43	216,22	OK	0,65
17	L 3,5"x3/8"	108,82	16,00	129,37	1,00	1,00	295,03	274,41	-	-	274,41	-	-	-	-	9,34	10,83	21,91	1,00	1,00	1,42	0,43	216,22	OK	0,50
18	L 3,5"x3/8"	111,41	16,00	129,37	1,00	1,00	295,03	274,41	-	-	274,41	-	-	-	-	9,34	10,83	21,91	1,00	1,00	1,42	0,43	216,22	OK	0,52
19	L 3,5"x3/8"	80,21	16,00	129,37	1,00	1,00	295,03	274,41	-	-	274,41	-	-	-	-	9,34	10,83	21,91	1,00	1,00	1,42	0,43	216,22	OK	0,37
20	L 3,5"x3/8"	82,80	16,00	129,37	1,00	1,00	295,03	274,41	-	-	274,41	-	-	-	-	9,34	10,83	21,91	1,00	1,00	1,42	0,43	216,22	OK	0,38
21	L 3,5"x3/8"	77,53	16,00	129,37	1,00	1,00	295,03	274,41	-	-	274,41	-	-	-	-	9,34	10,83	21,91	1,00	1,00	1,42	0,43	216,22	OK	0,36
22	L 3,5"x3/8"	75,68	16,00	129,37	1,00	1,00	295,03	274,41	-	-	274,41	-	-	-	-	9,34	10,83	21,91	1,00	1,00	1,42	0,43	216,22	OK	0,35
23	L 3,5"x3/8"	96,43	16,00	129,37	1,00	1,00	295,03	274,41	-	-	274,41	-	-	-	-	9,34	10,83	21,91	1,00	1,00	1,42	0,43	216,22	OK	0,45
24	L 3,5"x3/8"	94,57	16,00	129,37	1,00	1,00	295,03	274,41	-	-	274,41	-	-	-	-	9,34	10,83	21,91	1,00	1,00	1,42	0,43	216,22	OK	0,44
25	L 3,5"x3/8"	115,48	16,00	129,37	1,00	1,00	295,03	274,41	-	-	274,41	-	-	-	-	9,34	10,83	21,91	1,00	1,00	1,42	0,43	216,22	OK	0,53
26	L 3,5"x3/8"	113,62	16,00	146,55	1,00	1,00	307,91	251,92	-	-	251,92	-	-	-	-	9,34	10,83	21,91	1,00	1,00	1,48	0,40	200,56	OK	0,57
27	L 1,25"x1/4"	9,00	3,62	33,33	1,00	1,00	92,68	76,53	-	-	76,53	-	-	-	-	5,00	10,83	21,91	1,00	1,00	1,28	0,51	57,34	OK	0,16
28	L 2"x3/16"	10,20	4,58	141,67	1,00	1,00	227,64	44,57	-	-	44,57	-	-	-	-	10,67	10,83	21,91	1,00	1,00	1,88	0,25	35,53	OK	0,29
29	L 1,25"x1/4"	0,26	3,62	66,67	1,00	1,00	117,68	47,46	-	-	47,46	-	-	-	-	5,00	10,83	21,91	1,00	1,00	1,62	0,33	37,84	OK	0,01
30	L 2"x3/16"	18,57	4,58	141,67	1,00	1,00	227,64	44,57	-	-	44,57	-	-	-	-	10,67	10,83	21,91	1,00	1,00	1,88	0,25	35,53	OK	0,52
31	L 1,25"x1/4"	8,98	3,62	100,00	1,00	1,00	155,08	27,33	-	-	27,33	-	-	-	-	5,00	10,83	21,91	1,00	1,00	2,14	0,19	21,79	OK	0,41
32	L 2"x3/16"	13,25	4,58	182,76	1,00	1,00	279,02	29,67	-	-	29,67	-	-	-	-	10,67	10,83	21,91	1,00	1,00	2,31	0,16	23,65	OK	0,56
33	L 1,25"x1/4"	0,26	3,62	133,33	1,00	1,00	196,75	16,98	-	-	16,98	-	-	-	-	5,00	10,83	21,91	1,00	1,00	2,71	0,12	13,54	OK	0,02
34	L 2"x5/16"	23,90	7,42	182,76	1,00	1,00	277,42	44,89	-	-	44,89	-	-	-	-	6,40	10,83	21,91	1,00	1,00	2,39	0,15	35,79	OK	0,67
35	L 1,25"x1/4"	8,95	3,62	166,67	1,00	1,00	238,41	11,56	-	-	11,56	-	-	-	-	5,00	10,83	21,91	1,00	1,00	3,29	0,08	9,22	OK	0,97
36	L 2"x5/16"	17,27	7,42	235,85	1,00	1,00	343,77	29,23	-	-	29,23	-	-	-	-	6,40	10,83	21,91	1,00	1,00	2,96	0,10	23,30	OK	0,74
37	L 1,25"x1/4"	0,33	3,62	200,00	1,00	1,00	280,08	8,38	-	-	8,38	-	-	-	-	5,00	10,83	21,91	1,00	1,00	3,86	0,06	6,68	OK	0,05
38	L 2"x5/16"	17,27	7,42	235,85	1,00	1,00	343,77	29,23	-	-	29,23	-	-	-	-	6,40	10,83	21,91	1,00	1,00	2,96	0,10	23,30	OK	0,74
39	L 1,25"x1/4"	6,06	3,62	166,67	1,00	1,00	238,41	11,56	-	-	11,56	-	-	-	-	5,00	10,83	21,91	1,00	1,00	3,29	0,08	9,22	OK	0,66
40	L 2"x5/16"	15,98	7,42	182,76	1,00	1,00	277,42	44,89	-	-	44,89	-	-	-	-	6,40	10,83	21,91	1,00	1,00	2,39	0,15	35,79	OK	0,45
41	L 1,25"x1/4"	0,26	3,62	133,33	1,00	1,00	196,75	16,98	-	-	16,98	-	-	-	-	5,00	10,83	21,91	1,00	1,00	2,71	0,12	13,54	OK	0,02
42	L 2"x3/16"	13,25	4,58	182,76	1,00	1,00	279,02	29,67	-	-	29,67	-	-	-	-	10,67	10,83	21,91	1,00	1,00	2,31	0,16	23,65	OK	0,56
43	L 1,25"x1/4"	6,09	3,62	100,00	1,00	1,00	155,08	27,33	-	-	27,33	-	-	-	-	5,00	10,83	21,91	1,00	1,00	2,14	0,19	21,79	OK	0,28
44	L 2"x3/16"	12,44	4,58	141,67	1,00	1,00	227,64	44,57	-	-	44,57	-	-	-	-	10,67	10,83	21,91	1,00	1,00	1,88	0,25	35,53	OK	0,35
45	L 1,25"x1/4"	0,26	3,62	66,67	1,00	1,00	117,68	47,46	-	-	47,46	-	-	-	-	5,00	10,83	21,91	1,00	1,00	1,62	0,33	37,84	OK	0,01
46	L 2"x3/16"	10,20	4,58	141,67	1,00	1,00	227,64	44,57	-	-	44,57	-	-	-	-	10,67	10,83	21,91	1,00	1,00	1,88	0,25	35,53	OK	0,29
47	L 1,25"x1/4"	6,12	3,62	33,33	1,00	1,00	92,68	76,53	-	-	76,53	-	-	-	-	5,00	10,83	21,91	1,00	1,00	1,28	0,51	57,34	OK	0,11

DIMENSIONAMENTO AO MOMENTO FLETOR														
BARRA	PERFIL UTILIZADO	SOLICITAÇÃO DE FLEXÃO (kNm)	FLA			FLM				FLT				
			λ	λ_p	λ_r	λ	λ_p	λ_r		Lb	ry	λ	λ_p	λ_r
1	W 410x46,1	32,00	54,43	90,53	137,24	6,25	9,15	23,89		600,00	2,95	203,62	42,38	122,51
2	W 410x46,1	31,40	54,43	90,53	137,24	6,25	9,15	23,89		600,00	2,95	203,62	42,38	122,51
			Mr (kNcm)	Mpl (kNcm)	Minel (kNcm)	Mcr (kNcm)	Mr (kNcm)	Mpl (kNcm)	Minel (kNcm)	Cb	Mcr (kNcm)	Mr (kNcm)	Mpl (kNcm)	Minel (kNcm)
1	W 410x46,1	32,00	26865,15	30742,95	33740,07	275099,14	18805,61	30742,95	33091,61	2,69	23089,83	18805,61	30742,95	6721,73
2	W 410x46,1	31,40	26865,15	30742,95	33740,07	275099,14	18805,61	30742,95	33091,61	3,00	25791,81	18805,61	30742,95	6721,73
			Regime	Mn atuante	Mn (kNcm)	Regime	Mn atuante	Mn (kNcm)		Regime		Mn atuante	Mn (kNcm)	
1	W 410x46,1	32,00	Plastificação	Mpl	30742,95	Plastificação	Mpl	30742,95		Elástico		Mcr	23089,83	
2	W 410x46,1	31,40	Plastificação	Mpl	30742,95	Plastificação	Mpl	30742,95		Elástico		Mcr	25791,81	
			Mrd (kNm)	Verificação	Sd/Rd									
1	W 410x46,1	32,00	209,91	OK	0,15									
2	W 410x46,1	31,40	234,47	OK	0,13									

DIMENSIONAMENTO AO ESFORÇO CORTANTE											
BARRA	PERFIL UTILIZADO	SOLICITAÇÃO DE CORTE (kN)	f_v, med (kN/cm ²)	λ	λ_p	λ_r	Regime	Vpl (kN)	Vrd (kN)	Verificação	Sd/Rd
1	W 410x46,1	19,80	0,33	54,43	59,22	73,76	Plastificação	583,95	530,86	OK	0,04
2	W 410x46,1	19,80	0,33	54,43	59,22	73,76	Plastificação	583,95	530,86	OK	0,04

COMBINAÇÃO DE ESFORÇOS											
BARRA	PERFIL UTILIZADO	SOLICITAÇÃO DE TRAÇÃO (kN)	Nt,Rd (kN)	SOLICITAÇÃO DE COMPRESSÃO (kN)	Nc,Rd (kN)	SOLICITAÇÃO DE FLEXÃO (kNm)	Mrd (kNm)	Combinação tração		Combinação compressão	
								Valor	Verificação	Valor	Verificação
1	W 410x46,1	29,25	1856,73	39,50	56,17	32,00	209,91	0,16	OK	0,84	OK
2	W 410x46,1	29,25	1856,73	31,99	56,17	31,40	234,47	0,14	OK	0,69	OK

DIMENSIONAMENTO LIGAÇÕES SOLDADAS NAS BARRAS DA TRELIÇA																	
NÓ	BARRAS	SOLCITAÇÃO TRACÇÃO (kN)	SOLCITAÇÃO COMPRESSÃO (kN)	VERIFICAÇÃO METAL SOLDADA													
				t chapa (cm)	t barra (cm)	Filete solda						Ruptura da solda, Fw,Rd (kN)	Escoamento metal base, Frd (kN)	Frd solda (kN)	Verificação	Sd/Rd T	Sd/Rd C
						b mín (cm)	b máx (cm)	b (cm)	a (cm)	L mín (cm)	L (cm)						
1	3	133,97	39,50	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,91	0,27
	4	117,53	31,99	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,79	0,22
	27	4,51	115,48	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,03	0,78
	28	18,65	113,62	0,50	0,48	0,30	0,48	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,13	0,77
2	4	117,53	31,99	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,79	0,22
	5	117,53	100,18	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,79	0,68
	29	0,00	9,00	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,00	0,18
3	5	117,53	100,18	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,79	0,68
	6	84,80	91,17	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,57	0,62
	30	10,24	10,20	0,50	0,48	0,30	0,48	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,21	0,21
	31	4,53	0,26	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,09	0,01
	32	23,93	18,57	0,50	0,48	0,30	0,48	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,49	0,38
4	6	84,80	91,17	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,86	0,93
	7	84,80	91,17	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,86	0,93
	33	0,00	8,98	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,00	0,18
5	7	84,80	91,17	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,86	0,93
	8	52,22	73,04	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,53	0,74
	34	13,31	13,25	0,50	0,79	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,27	0,27
	35	4,55	0,26	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,09	0,01
	36	30,75	23,90	0,50	0,79	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,62	0,48
6	8	52,22	73,04	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,53	0,74
	9	52,22	73,04	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,53	0,74
	37	0,00	8,95	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,00	0,18
7	9	52,22	73,04	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,53	0,74
	10	63,29	54,72	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,64	0,56
	38	20,53	17,27	0,50	0,79	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,42	0,35
	39	4,55	0,33	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,09	0,01
	40	13,31	17,27	0,50	0,79	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,27	0,35
8	10	63,29	54,72	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,64	0,56
	11	63,29	54,72	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,64	0,56
	41	0,00	6,06	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,00	0,12
9	11	63,29	54,72	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,64	0,56
	12	85,19	73,04	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,86	0,74
	42	16,02	15,98	0,50	0,48	0,30	0,48	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,33	0,32
	43	4,53	0,26	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,09	0,01
	44	10,24	13,25	0,50	0,48	0,30	0,48	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,21	0,27
10	12	85,19	73,04	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,86	0,74
	13	85,19	73,04	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,86	0,74
	45	0,00	6,09	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,00	0,12
11	13	85,19	73,04	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,86	0,74
	14	96,21	91,17	0,50	1,11	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,98	0,93
	46	12,51	12,44	0,50	0,48	0,30	0,48	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,25	0,25
	47	4,51	0,26	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,09	0,01
12	15	104,29	91,17	0,50	0,95	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,71	0,62
	16	104,29	100,18	0,50	0,95	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,71	0,68
	27	4,51	115,48	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,03	0,78
13	16	104,29	100,18	0,50	0,95	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,71	0,68
	17	85,60	137,58	0,50	0,95	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,58	0,93
	28	18,65	113,62	0,50	0,48	0,30	0,48	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,13	0,77
	29	0,00	9,00	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,00	0,18
	30	10,24	10,20	0,50	0,48	0,30	0,48	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,21	0,21
14	17	85,60	137,58	0,50	0,95	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,58	0,93
	18	85,60	140,18	0,50	0,95	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,58	0,95
	31	4,53	0,26	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,09	0,01
15	18	85,60	140,18	0,50	0,95	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,58	0,95
	19	66,75	108,82	0,50	0,95	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,45	0,74
	32	23,93	18,57	0,50	0,48	0,30	0,48	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,49	0,38
	33	0,00	8,98	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,00	0,18
16	34	13,31	13,25	0,50	0,79	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,27	0,27
	19	66,75	108,82	0,50	0,95	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,45	0,74
	20	66,75	111,41	0,50	0,95	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,45	0,75
17	35	4,55	0,26	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,09	0,01
	20	66,75	111,41	0,50	0,95	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	12,00	147,83	180,65	147,83	OK	0,45	0,75
	21	66,80	80,21	0,50	0,95	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,68	0,81
	36	30,75	23,90	0,50	0,79	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,62	0,48
	37	0,00	8,95	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,00	0,18
18	38	20,53	17,27	0,50	0,79	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,42	0,35
	21	66,80	80,21	0,50	0,95	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,68	0,81
	22	66,80	82,80	0,50	0,95	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,68	0,84
	39	4,55	0,33	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,09	0,01
19	22	66,80	82,80	0,50	0,95	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,68	0,84
	23	85,65	77,53	0,50	0,95	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	8,00	98,55	120,44	98,55	OK	0,87	0,79
	40	13,31	17,27	0,50	0,79	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,27	0,35
	41	0,00	6,06	0,50	0,64	0,30	0,50	0,40	0,28	4,00	4,00	49,28	60,22	49,28	OK	0,00	0,12
20	42	16,02	15,98	0,50	0,48	0,3											

DIMENSIONAMENTO LIGAÇÕES SOLDADAS NAS BARRAS DA TRELIÇA										
NÓ	BARRAS	SOLCITAÇÃO TRAÇÃO (kN)	SOLCITAÇÃO COMPRESSÃO (kN)	VERIFICAÇÃO NO METAL BASE (PERFIS)						
				t chapa (cm)	L (cm)	b perfil (cm)	Colapso por rasgamento			
							Ant (cm2)	Anv=Agv (cm2)	Ft,Rd (kN)	Verificação
1	3	133,97	39,50	0,50	12,00	10,16	5,08	12,00	353,33	OK
	4	117,53	31,99	0,50	12,00	10,16	5,08	12,00	353,33	OK
	27	4,51	115,48	0,50	12,00	3,18	1,59	12,00	236,92	OK
	28	18,65	113,62	0,50	12,00	5,08	2,54	12,00	268,67	OK
2	4	117,53	31,99	0,50	12,00	10,16	5,08	12,00	353,33	OK
	5	117,53	100,18	0,50	12,00	10,16	5,08	12,00	353,33	OK
	29	0,00	9,00	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
3	5	117,53	100,18	0,50	12,00	10,16	5,08	12,00	353,33	OK
	6	84,80	91,17	0,50	12,00	10,16	5,08	12,00	353,33	OK
	30	10,24	10,20	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
	31	4,53	0,26	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
4	32	23,93	18,57	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
	6	84,80	91,17	0,50	8,00	10,16	5,08	8,00	292,00	OK
	7	84,80	91,17	0,50	8,00	10,16	5,08	8,00	292,00	OK
	33	0,00	8,98	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
5	7	84,80	91,17	0,50	8,00	10,16	5,08	8,00	292,00	OK
	8	52,22	73,04	0,50	8,00	10,16	5,08	8,00	292,00	OK
	34	13,31	13,25	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
	35	4,55	0,26	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
	36	30,75	23,90	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
6	8	52,22	73,04	0,50	8,00	10,16	5,08	8,00	292,00	OK
	9	52,22	73,04	0,50	8,00	10,16	5,08	8,00	292,00	OK
	37	0,00	8,95	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
7	9	52,22	73,04	0,50	8,00	10,16	5,08	8,00	292,00	OK
	10	63,29	54,72	0,50	8,00	10,16	5,08	8,00	292,00	OK
	38	20,53	17,27	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
	39	4,55	0,33	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
	40	13,31	17,27	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
8	10	63,29	54,72	0,50	8,00	10,16	5,08	8,00	292,00	OK
	11	63,29	54,72	0,50	8,00	10,16	5,08	8,00	292,00	OK
	41	0,00	6,06	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
9	11	63,29	54,72	0,50	8,00	10,16	5,08	8,00	292,00	OK
	12	85,19	73,04	0,50	8,00	10,16	5,08	8,00	292,00	OK
	42	16,02	15,98	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
	43	4,53	0,26	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
10	44	10,24	13,25	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
	12	85,19	73,04	0,50	8,00	10,16	5,08	8,00	292,00	OK
	13	85,19	73,04	0,50	8,00	10,16	5,08	8,00	292,00	OK
	45	0,00	6,09	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
11	13	85,19	73,04	0,50	8,00	10,16	5,08	8,00	292,00	OK
	14	96,21	91,17	0,50	8,00	10,16	5,08	8,00	292,00	OK
	46	12,51	12,44	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
	47	4,51	0,26	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
12	15	104,29	91,17	0,50	12,00	8,89	4,45	12,00	332,17	OK
	16	104,29	100,18	0,50	12,00	8,89	4,45	12,00	332,17	OK
	27	4,51	115,48	0,50	12,00	3,18	1,59	12,00	236,92	OK
13	16	104,29	100,18	0,50	12,00	8,89	4,45	12,00	332,17	OK
	17	85,60	137,58	0,50	12,00	8,89	4,45	12,00	332,17	OK
	28	18,65	113,62	0,50	12,00	5,08	2,54	12,00	268,67	OK
	29	0,00	9,00	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
	30	10,24	10,20	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
14	17	85,60	137,58	0,50	12,00	8,89	4,45	12,00	332,17	OK
	18	85,60	140,18	0,50	12,00	8,89	4,45	12,00	332,17	OK
	31	4,53	0,26	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
15	18	85,60	140,18	0,50	12,00	8,89	4,45	12,00	332,17	OK
	19	66,75	108,82	0,50	12,00	8,89	4,45	12,00	332,17	OK
	32	23,93	18,57	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
	33	0,00	8,98	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
	34	13,31	13,25	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
16	19	66,75	108,82	0,50	12,00	8,89	4,45	12,00	332,17	OK
	20	66,75	111,41	0,50	12,00	8,89	4,45	12,00	332,17	OK
	35	4,55	0,26	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
17	20	66,75	111,41	0,50	12,00	8,89	4,45	12,00	332,17	OK
	21	66,80	80,21	0,50	8,00	8,89	4,45	8,00	270,83	OK
	36	30,75	23,90	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
	37	0,00	8,95	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
	38	20,53	17,27	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
18	21	66,80	80,21	0,50	8,00	8,89	4,45	8,00	270,83	OK
	22	66,80	82,80	0,50	8,00	8,89	4,45	8,00	270,83	OK
	39	4,55	0,33	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
19	22	66,80	82,80	0,50	8,00	8,89	4,45	8,00	270,83	OK
	23	85,65	77,53	0,50	8,00	8,89	4,45	8,00	270,83	OK
	40	13,31	17,27	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
	41	0,00	6,06	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
	42	16,02	15,98	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
20	23	85,65	77,53	0,50	8,00	8,89	4,45	8,00	270,83	OK
	24	85,65	75,68	0,50	8,00	8,89	4,45	8,00	270,83	OK
	43	4,53	0,26	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
21	24	85,65	75,68	0,50	12,00	8,89	4,45	12,00	332,17	OK
	25	104,34	96,43	0,50	12,00	8,89	4,45	12,00	332,17	OK
	44	10,24	13,25	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
	45	0,00	6,09	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK
	46	12,51	12,44	0,50	4,00	5,08	2,54	4,00	146,00	OK
22	25	104,34	96,43	0,50	12,00	8,89	4,45	12,00	332,17	OK
	26	104,34	94,57	0,50	12,00	8,89	4,45	12,00	332,17	OK
	47	4,51	0,26	0,50	4,00	3,18	1,59	4,00	114,25	OK

LIGAÇÕES DA TRELIÇA NOS PILARES					
NÓ	BARRAS TRELIÇA	SOLCITAÇÃO TRAÇÃO (kN)	Ângulo (graus)	Fv (kN)	Fh (kN)
A	3	133,97	0,00	0,00	133,97
	15	104,29	15,00	26,99	100,73
B	14	96,21	0,00	0,00	96,21
	26	104,34	15,00	27,00	100,78

SOLDA DA CHAPA HORIZONTAL NO PILAR													
NÓ	Chapa de topo pilar			Filete de solda						Ruptura da solda, Fw,Rd (kN)	Escoamento metal base, Frd (kN)	Frd solda (kN)	Verificação
	b (cm)	h (cm)	t (cm)	b mín (cm)	b máx (cm)	b (cm)	a (cm)	L mín (cm)	L (cm)				
A	14,00	40,30	1,00	0,50	0,55	0,50	0,35	4,00	35,70	549,75	671,81	549,75	OK
B	14,00	40,30	1,00	0,50	0,55	0,50	0,35	4,00	35,70	549,75	671,81	549,75	OK

VERIFICAÇÃO METAL BASE (CHAPA HORIZONTAL)											
NÓ	Chapa de topo pilar			Elementos tracionados				Cisalhamento			
	b (cm)	h (cm)	t (cm)	Ag=Ae (cm2)	Frd, e (kN)	Frd, r (kN)	Verificação	Ag=Anv (cm2)	Frd, e (kN)	Frd, r (kN)	Verificação
A	14,00	40,30	1,00	564,20	17695,36	18806,67	OK	14,00	263,45	280,00	OK
B	14,00	40,30	1,00	564,20	17695,36	18806,67	OK	14,00	263,45	280,00	OK

SOLDA DA CHAPA VERTICAL NA CHAPA HORIZONTAL													
NÓ	Chapa vertical			Filete de solda						Ruptura da solda, Fw,Rd (kN)	Escoamento metal base, Frd (kN)	Frd solda (kN)	Verificação
	b (cm)	h (cm)	t (cm)	b mín (cm)	b máx (cm)	b (cm)	a (cm)	L mín (cm)	L (cm)				
A	40,30	20,00	1,00	0,50	0,85	0,50	0,35	4,00	40,30	620,59	758,37	620,59	OK
B	40,30	20,00	1,00	0,50	0,85	0,50	0,35	4,00	40,30	620,59	758,37	620,59	OK

LIGAÇÕES PARAFUSADAS DA TRELIÇA NA CHAPA VERTICAL														
NÓ	BARRAS TRELIÇA	b barra (cm)	t barra (cm)	t chapa (cm)	db parafuso (pol)	db parafuso (cm)	Quantidade parafusos	d furo (cm)	d centro borda (cm)	d mín centro borda (cm)	d mín entre centro de furos (cm)	d mín borda de furos (cm)	d máx centro de furos (cm)	d máx centro borda (cm)
A	3	10,16	1,11	1,00	1"	2,54	1,00	2,85	4,52	3,20	6,86	2,54	24,00	12,00
	15	8,89	0,95	1,00	1"	2,54	1,00	2,85	3,97	3,20	6,86	2,54	22,85	11,42
B	14	10,16	1,11	1,00	1"	2,54	1,00	2,85	4,52	3,20	6,86	2,54	24,00	12,00
	26	8,89	0,95	1,00	1"	2,54	1,00	2,85	3,97	3,20	6,86	2,54	22,85	11,42

VERIFICAÇÃO RESISTÊNCIA PARAFUSOS										
NÓ	BARRAS TRELIÇA	SOLCITAÇÃO TRAÇÃO (kN)	Resistência ao cisalhamento - pc não passa				Pressão de contato nos furos			
			Ab (cm2)	Fv,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd	Rasgamento	Esmagamento	Fd,Rd (kN)	Verificação
A	3	133,97	5,07	309,65	OK	0,43	162,73	254,00	162,73	OK
	15	104,29	5,07	309,65	OK	0,34	128,47	241,81	128,47	OK
B	14	96,21	5,07	309,65	OK	0,31	162,73	254,00	162,73	OK
	26	104,34	5,07	309,65	OK	0,34	128,47	241,81	128,47	OK

VERIFICAÇÃO NO METAL BASE (CHAPA VERTICAL+PERFIS)										
NÓ	BARRAS TRELIÇA	SOLCITAÇÃO TRAÇÃO (kN)	Chapa vertical		Colapso por rasgamento da chapa vertical					
			h (cm)	t (cm)	Ant (cm2)	Anv (cm2)	Agv (cm2)	Ft,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
A	3	133,97	20,00	1,00	13,50	3,10	4,52	511,82	OK	0,26
	15	104,29	20,00	1,00	14,13	2,54	3,97	521,88	OK	0,20
B	14	96,21	20,00	1,00	13,50	3,10	4,52	511,82	OK	0,19
	26	104,34	20,00	1,00	14,13	2,54	3,97	521,88	OK	0,20
NÓ	BARRAS	SOLCITAÇÃO TRAÇÃO (kN)	b perfil (cm)	t perfil (cm)	Colapso por rasgamento do perfil					
					Ant (cm2)	Anv (cm2)	Agv (cm2)	Ft,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
A	3	133,968	10,16	1,11	3,44	3,44	5,03	183,66	OK	0,73
	15	104,285	8,89	0,95	2,42	2,42	3,78	129,17	OK	0,81
B	14	96,214	10,16	1,11	3,44	3,44	5,03	183,66	OK	0,52
	26	104,337	8,89	0,95	2,42	2,42	3,78	129,17	OK	0,81

LIGAÇÕES PARAFUSADAS DAS BARRAS COM EMENDAS													
BARRA	b barra (cm)	t barra (cm)	t chapas (cm)	db parafuso (pol)	db parafuso (cm)	Quantidade parafusos por aba	d furo (cm)	d centro borda (cm)	d mín centro borda (cm)	d mín entre centro de furos (cm)	d mín borda de furos (cm)	d máx centro de furos (cm)	d máx centro borda (cm)
6	10,16	1,11	1,11	1/2"	1,27	1,00	1,42	4,52	1,90	3,43	1,27	26,66	13,33
11	10,16	1,11	1,11	1/2"	1,27	1,00	1,42	4,52	1,90	3,43	1,27	26,66	13,33
18	8,89	0,95	0,95	1/2"	1,27	1,00	1,42	3,97	1,90	3,43	1,27	22,85	11,42
23	8,89	0,95	0,95	1/2"	1,27	1,00	1,42	3,97	1,90	3,43	1,27	22,85	11,42

VERIFICAÇÃO RESISTÊNCIA PARAFUSOS									
BARRA	SOLICITAÇÃO AXIAL (kN)	Resistência ao cisalhamento - pc não passa				Pressão de contato nos furos			
		Ab (cm2)	Fv,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd	Rasgamento	Esmagamento	Fd,Rd (kN)	Verificação
6	84,80	1,27	154,83	OK	0,55	432,12	282,19	282,19	OK
11	73,04	1,27	154,83	OK	0,47	432,12	282,19	282,19	OK
18	111,41	1,27	154,83	OK	0,72	317,40	241,81	241,81	OK
23	96,43	1,27	154,83	OK	0,62	317,40	241,81	241,81	OK

VERIFICAÇÃO NO METAL BASE									
BARRAS	SOLICITAÇÃO AXIAL (kN)	b perfil (cm)	t perfil (cm)	Colapso por rasgamento					
				Ant (cm2)	Anv (cm2)	Agv (cm2)	Ft,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
6	84,803	10,16	1,11	8,48	8,48	10,05	436,68	OK	0,19
11	73,042	10,16	1,11	8,48	8,48	10,05	436,68	OK	0,17
18	111,414	8,89	0,95	6,21	6,21	7,56	322,71	OK	0,35
23	96,427	8,89	0,95	6,21	6,21	7,56	322,71	OK	0,30

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO NAS BARRAS COM EMENDA										
BARRAS	SOLICITAÇÃO TRAÇÃO (kN)	Ruptura seção líquida								
		g (cm)	s (cm)	n parafusos	An (cm2)	Ct	Ae (cm2)	Nt,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
6	84,80	9,05	0,00	2,00	8,13	1,00	8,13	271,08	OK	0,31
11	63,29	9,05	0,00	2,00	8,13	1,00	8,13	271,08	OK	0,23
18	85,60	7,94	0,00	2,00	5,76	1,00	5,76	191,99	OK	0,45
23	85,65	7,94	0,00	2,00	5,76	1,00	5,76	191,99	OK	0,45

APÊNDICE B – Tabelas com o dimensionamento de todas as barras à tração, compressão, momento fletor, esforço cortante, combinação de esforços e ligações segundo a Norma Europeia

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO					
BARRA	PERFIL UTILIZADO	SOLICITAÇÃO DE TRAÇÃO (kN)	Esforço resistente plástico da seção bruta		
			Npl,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
1	W 200x41,7	37,68	1899,25	OK	0,02
2	W 200x41,7	37,68	1899,25	OK	0,02
3	L 4"x1/2"	147,41	858,75	OK	0,17
4	L 4"x1/2"	129,55	858,75	OK	0,15
5	L 4"x1/2"	129,55	858,75	OK	0,15
6	L 4"x1/2"	93,97	858,75	OK	0,11
7	L 4"x1/2"	93,97	858,75	OK	0,11
8	L 4"x1/2"	59,93	858,75	OK	0,07
9	L 4"x1/2"	59,93	858,75	OK	0,07
10	L 4"x1/2"	83,84	858,75	OK	0,10
11	L 4"x1/2"	83,84	858,75	OK	0,10
12	L 4"x1/2"	107,82	858,75	OK	0,13
13	L 4"x1/2"	107,82	858,75	OK	0,13
14	L 4"x1/2"	119,88	858,75	OK	0,14
15	L 4"x1/2"	134,18	858,75	OK	0,16
16	L 4"x1/2"	134,19	858,75	OK	0,16
17	L 4"x1/2"	109,93	858,75	OK	0,13
18	L 4"x1/2"	109,93	858,75	OK	0,13
19	L 4"x1/2"	85,57	858,75	OK	0,10
20	L 4"x1/2"	85,56	858,75	OK	0,10
21	L 4"x1/2"	85,63	858,75	OK	0,10
22	L 4"x1/2"	85,64	858,75	OK	0,10
23	L 4"x1/2"	110,00	858,75	OK	0,13
24	L 4"x1/2"	110,00	858,75	OK	0,13
25	L 4"x1/2"	134,26	858,75	OK	0,16
26	L 4"x1/2"	134,25	858,75	OK	0,16
27	L 1"x1/4"	5,96	100,82	OK	0,06
28	L 1,5"x1/4"	20,25	157,98	OK	0,13
29	L 1"x1/4"	0,00	100,82	OK	0,00
30	L 1,5"x1/4"	13,28	157,98	OK	0,08
31	L 1"x1/4"	5,96	100,82	OK	0,06
32	L 1,5"x1/4"	26,02	157,98	OK	0,16
33	L 1"x1/4"	0,00	100,82	OK	0,00
34	L 1,5"x1/4"	17,21	157,98	OK	0,11
35	L 1"x1/4"	5,97	100,82	OK	0,06
36	L 1,5"x1/4"	33,51	157,98	OK	0,21
37	L 1"x1/4"	0,00	100,82	OK	0,00
38	L 1,5"x1/4"	22,57	157,98	OK	0,14
39	L 1"x1/4"	5,97	100,82	OK	0,06
40	L 1,5"x1/4"	17,21	157,98	OK	0,11
41	L 1"x1/4"	0,00	100,82	OK	0,00
42	L 1,5"x1/4"	17,54	157,98	OK	0,11
43	L 1"x1/4"	5,96	100,82	OK	0,06
44	L 1,5"x1/4"	13,28	157,98	OK	0,08
45	L 1"x1/4"	0,00	100,82	OK	0,00
46	L 1,5"x1/4"	13,68	157,98	OK	0,09
47	L 1"x1/4"	5,96	100,82	OK	0,06

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO						
NÓ	BARRAS	SOLCITAÇÃO TRAÇÃO (kN)	LIGAÇÕES COM SOLDAS			
			Esforço resistente da seção útil			
			Anet (cm2)	Nu,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
1	3	147,41	24,19	783,76	OK	0,19
	4	129,55	24,19	783,76	OK	0,17
	27	5,96	2,84	92,02	OK	0,06
	28	20,25	4,45	144,18	OK	0,14
2	4	129,55	24,19	783,76	OK	0,17
	5	129,55	24,19	783,76	OK	0,17
	29	0,00	2,84	92,02	OK	0,00
3	5	129,55	24,19	783,76	OK	0,17
	6	93,97	24,19	783,76	OK	0,12
	30	13,28	4,45	144,18	OK	0,09
	31	5,96	2,84	92,02	OK	0,06
	32	26,02	4,45	144,18	OK	0,18
4	6	93,97	24,19	783,76	OK	0,12
	7	93,97	24,19	783,76	OK	0,12
	33	0,00	2,84	92,02	OK	0,00
5	7	93,97	24,19	783,76	OK	0,12
	8	59,93	24,19	783,76	OK	0,08
	34	17,21	4,45	144,18	OK	0,12
	35	5,97	2,84	92,02	OK	0,06
	36	33,51	4,45	144,18	OK	0,23
6	8	59,93	24,19	783,76	OK	0,08
	9	59,93	24,19	783,76	OK	0,08
	37	0,00	2,84	92,02	OK	0,00
7	9	59,93	24,19	783,76	OK	0,08
	10	83,84	24,19	783,76	OK	0,11
	38	22,57	4,45	144,18	OK	0,16
	39	5,97	2,84	92,02	OK	0,06
	40	17,21	4,45	144,18	OK	0,12
8	10	83,84	24,19	783,76	OK	0,11
	11	83,84	24,19	783,76	OK	0,11
	41	0,00	2,84	92,02	OK	0,00
9	11	83,84	24,19	783,76	OK	0,11
	12	107,82	24,19	783,76	OK	0,14
	42	17,54	4,45	144,18	OK	0,12
	43	5,96	2,84	92,02	OK	0,06
	44	13,28	4,45	144,18	OK	0,09
10	12	107,82	24,19	783,76	OK	0,14
	13	107,82	24,19	783,76	OK	0,14
	45	0,00	2,84	92,02	OK	0,00
11	13	107,82	24,19	783,76	OK	0,14
	14	119,88	24,19	783,76	OK	0,15
	46	13,68	4,45	144,18	OK	0,09
	47	5,96	2,84	92,02	OK	0,06
12	15	134,18	24,19	783,76	OK	0,17
	16	134,19	24,19	783,76	OK	0,17
	27	5,96	2,84	92,02	OK	0,06
13	16	134,19	24,19	783,76	OK	0,17
	17	109,93	24,19	783,76	OK	0,14
	28	20,25	4,45	144,18	OK	0,14
	29	0,00	2,84	92,02	OK	0,00
	30	13,28	4,45	144,18	OK	0,09
14	17	109,93	24,19	783,76	OK	0,14
	18	109,93	24,19	783,76	OK	0,14
	31	5,96	2,84	92,02	OK	0,06
15	18	109,93	24,19	783,76	OK	0,14
	19	85,57	24,19	783,76	OK	0,11
	32	26,02	4,45	144,18	OK	0,18
	33	0,00	2,84	92,02	OK	0,00
	34	17,21	4,45	144,18	OK	0,12
16	19	85,57	24,19	783,76	OK	0,11
	20	85,56	24,19	783,76	OK	0,11
	35	5,97	2,84	92,02	OK	0,06
17	20	85,56	24,19	783,76	OK	0,11
	21	85,63	24,19	783,76	OK	0,11
	36	33,51	4,45	144,18	OK	0,23
	37	0,00	2,84	92,02	OK	0,00
	38	22,57	4,45	144,18	OK	0,16
18	21	85,63	24,19	783,76	OK	0,11
	22	85,64	24,19	783,76	OK	0,11
	39	5,97	2,84	92,02	OK	0,06
19	22	85,64	24,19	783,76	OK	0,11
	23	110,00	24,19	783,76	OK	0,14
	40	17,21	4,45	144,18	OK	0,12
	41	0,00	2,84	92,02	OK	0,00
	42	17,54	4,45	144,18	OK	0,12
20	23	110,00	24,19	783,76	OK	0,14
	24	110,00	24,19	783,76	OK	0,14
	43	5,96	2,84	92,02	OK	0,06
21	24	110,00	24,19	783,76	OK	0,14
	25	134,26	24,19	783,76	OK	0,17
	44	13,28	4,45	144,18	OK	0,09
	45	0,00	2,84	92,02	OK	0,00
	46	13,68	4,45	144,18	OK	0,09
22	25	134,26	24,19	783,76	OK	0,17
	26	134,25	24,19	783,76	OK	0,17
	47	5,96	2,84	92,02	OK	0,06

NÓ	BARRAS	SOLCITAÇÃO TRAÇÃO (kN)	LIGAÇÕES COM PARAFUSOS						
			Esforço resistente da seção útil						
			Anet (cm2)	p1 (cm)	d0 (cm)	-	Nu,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
A	3	147,41	22,33	6,03	2,74	-	281,18	OK	0,52
	15	134,18	22,33	6,03	2,74	-	281,18	OK	0,48
B	14	119,88	22,33	6,03	2,74	-	281,18	OK	0,43
	26	134,25	22,33	6,03	2,74	-	281,18	OK	0,48

DIMENSIONAMENTO À COMPRESSÃO																														
BARRA	PERFIL UTILIZADO	SOLICITAÇÃO DE COMPRESSÃO (kN)	Componentes internos comprimidos			Banzos em consola			Classe dos perfis I	Cantoneiras			Nc,Rd (kN)	Verificação	L (cm)	Kx=Ky	Kz	Kx1Lx1	Nex (kN)	Ney (kN)	Nez (kN)	Ncr (kN)	λ	Curva de flambagem	α	Φ	χ	Nb,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
			(c/t)	Classe	(c/t)lim classe	(c/t)	Classe	(c/t)lim classe		(c/t)	Classe	(c/t)lim classe																		
1	W 200x41,7	43,28	21,81	1	26,73	7,03	1	7,29	1	-	-	-	1845,75	OK	600,00	2,00	1,00	-	563,94	123,51	2394,44	123,51	3,87	d	0,76	9,37	0,06	103,14	OK	0,42
2	W 200x41,7	35,23	21,81	1	26,73	7,03	1	7,29	1	-	-	-	1845,75	OK	600,00	2,00	1,00	-	563,94	123,51	2394,44	123,51	3,87	d	0,76	9,37	0,06	103,14	OK	0,34
3	L 4"x1/2"	129,50	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	143,56	1,00	1,00	330,87	420,12	-	-	420,12	0,60	b	0,34	0,75	0,84	698,57	OK	0,19
4	L 4"x1/2"	117,80	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	121,82	1,00	1,00	314,57	464,80	-	-	464,80	0,57	b	0,34	0,73	0,85	710,72	OK	0,17
5	L 4"x1/2"	117,80	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	121,82	1,00	1,00	314,57	464,80	-	-	464,80	0,57	b	0,34	0,73	0,85	710,72	OK	0,17
6	L 4"x1/2"	94,31	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	121,82	1,00	1,00	314,57	464,80	-	-	464,80	0,57	b	0,34	0,73	0,85	710,72	OK	0,13
7	L 4"x1/2"	94,31	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	121,82	1,00	1,00	314,57	464,80	-	-	464,80	0,57	b	0,34	0,73	0,85	710,72	OK	0,13
8	L 4"x1/2"	70,72	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	121,82	1,00	1,00	314,57	464,80	-	-	464,80	0,57	b	0,34	0,73	0,85	710,72	OK	0,10
9	L 4"x1/2"	70,72	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	121,82	1,00	1,00	314,57	464,80	-	-	464,80	0,57	b	0,34	0,73	0,85	710,72	OK	0,10
10	L 4"x1/2"	94,31	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	121,82	1,00	1,00	314,57	464,80	-	-	464,80	0,57	b	0,34	0,73	0,85	710,72	OK	0,13
11	L 4"x1/2"	94,31	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	121,82	1,00	1,00	314,57	464,80	-	-	464,80	0,57	b	0,34	0,73	0,85	710,72	OK	0,13
12	L 4"x1/2"	117,80	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	121,82	1,00	1,00	314,57	464,80	-	-	464,80	0,57	b	0,34	0,73	0,85	710,72	OK	0,17
13	L 4"x1/2"	117,80	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	121,82	1,00	1,00	314,57	464,80	-	-	464,80	0,57	b	0,34	0,73	0,85	710,72	OK	0,17
14	L 4"x1/2"	129,50	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	143,56	1,00	1,00	330,87	420,12	-	-	420,12	0,60	b	0,34	0,75	0,84	698,57	OK	0,19
15	L 4"x1/2"	150,89	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	146,55	1,00	1,00	333,11	414,48	-	-	414,48	0,60	b	0,34	0,75	0,84	696,86	OK	0,22
16	L 4"x1/2"	153,68	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	124,14	1,00	1,00	316,30	459,71	-	-	459,71	0,57	b	0,34	0,73	0,85	709,45	OK	0,22
17	L 4"x1/2"	119,56	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	124,14	1,00	1,00	316,30	459,71	-	-	459,71	0,57	b	0,34	0,73	0,85	709,45	OK	0,17
18	L 4"x1/2"	122,34	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	124,14	1,00	1,00	316,30	459,71	-	-	459,71	0,57	b	0,34	0,73	0,85	709,45	OK	0,17
19	L 4"x1/2"	88,33	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	124,14	1,00	1,00	316,30	459,71	-	-	459,71	0,57	b	0,34	0,73	0,85	709,45	OK	0,12
20	L 4"x1/2"	91,12	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	124,14	1,00	1,00	316,30	459,71	-	-	459,71	0,57	b	0,34	0,73	0,85	709,45	OK	0,13
21	L 4"x1/2"	85,46	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	124,14	1,00	1,00	316,30	459,71	-	-	459,71	0,57	b	0,34	0,73	0,85	709,45	OK	0,12
22	L 4"x1/2"	83,47	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	124,14	1,00	1,00	316,30	459,71	-	-	459,71	0,57	b	0,34	0,73	0,85	709,45	OK	0,12
23	L 4"x1/2"	106,27	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	124,14	1,00	1,00	316,30	459,71	-	-	459,71	0,57	b	0,34	0,73	0,85	709,45	OK	0,15
24	L 4"x1/2"	104,28	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	124,14	1,00	1,00	316,30	459,71	-	-	459,71	0,57	b	0,34	0,73	0,85	709,45	OK	0,15
25	L 4"x1/2"	127,19	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	124,14	1,00	1,00	316,30	459,71	-	-	459,71	0,57	b	0,34	0,73	0,85	709,45	OK	0,18
26	L 4"x1/2"	125,21	-	-	-	-	-	-	-	8,00	2	8,10	834,56	OK	146,55	1,00	1,00	333,11	414,48	-	-	414,48	0,60	b	0,34	0,75	0,84	696,86	OK	0,18
27	L 1"x1/4"	9,76	-	-	-	-	-	-	-	4,00	1	7,29	97,98	OK	53,87	1,00	1,00	95,12	36,21	-	-	36,21	1,01	b	0,34	1,15	0,59	57,76	OK	0,17
28	L 1,5"x1/4"	13,26	-	-	-	-	-	-	-	6,00	1	7,29	153,53	OK	136,39	1,00	1,00	207,29	26,78	-	-	26,78	1,45	b	0,34	1,76	0,36	55,62	OK	0,24
29	L 1"x1/4"	0,26	-	-	-	-	-	-	-	4,00	1	7,29	97,98	OK	87,37	1,00	1,00	133,53	18,38	-	-	18,38	1,42	b	0,34	1,72	0,37	36,56	OK	0,01
30	L 1,5"x1/4"	20,18	-	-	-	-	-	-	-	6,00	1	7,29	153,53	OK	137,55	1,00	1,00	208,74	26,41	-	-	26,41	1,46	b	0,34	1,78	0,36	55,01	OK	0,37
31	L 1"x1/4"	9,74	-	-	-	-	-	-	-	4,00	1	7,29	97,98	OK	120,86	1,00	1,00	175,40	10,65	-	-	10,65	1,87	b	0,34	2,52	0,24	23,20	OK	0,42
32	L 1,5"x1/4"	17,16	-	-	-	-	-	-	-	6,00	1	7,29	153,53	OK	178,56	1,00	1,00	260,00	17,02	-	-	17,02	1,82	b	0,34	2,42	0,25	38,13	OK	0,45
33	L 1"x1/4"	0,26	-	-	-	-	-	-	-	4,00	1	7,29	97,98	OK	154,35	1,00	1,00	217,26	6,94	-	-	6,94	2,31	b	0,34	3,53	0,16	15,81	OK	0,02
34	L 1,5"x1/4"	26,00	-	-	-	-	-	-	-	6,00	1	7,29	153,53	OK	180,79	1,00	1,00	262,79	16,66	-	-	16,66	1,83	b	0,34	2,46	0,24	37,42	OK	0,69
35	L 1"x1/4"	9,72	-	-	-	-	-	-	-	4,00	1	7,29	97,98	OK	187,85	1,00	1,00	259,13	4,88	-	-	4,88	2,76	b	0,34	4,73	0,12	11,42	OK	0,85
36	L 1,5"x1/4"	22,23	-	-	-	-	-	-	-	6,00	1	7,29	153,53	OK	233,30	1,00	1,00	328,43	10,67	-	-	10,67	2,29	b	0,34	3,49	0,16	25,13	OK	0,88
37	L 1"x1/4"	0,31	-	-	-	-	-	-	-	4,00	1	7,29	97,98	OK	221,35	1,00	1,00	301,00	3,62	-	-	3,62	3,20	b	0,34	6,14	0,09	8,62	OK	0,04
38	L 1,5"x1/4"	22,23	-	-	-	-	-	-	-	6,00	1	7,29	153,53	OK	233,30	1,00	1,00	328,43	10,67	-	-	10,67	2,29	b	0,34	3,49	0,16	25,13	OK	0,88
39	L 1"x1/4"	6,63	-	-	-	-	-	-	-	4,00	1	7,29	97,98	OK	187,85	1,00	1,00	259,13	4,88	-	-	4,88	2,76	b	0,34	4,73	0,12	11,42	OK	0,58
40	L 1,5"x1/4"	17,52	-	-	-	-	-	-	-	6,00	1	7,29	153,53	OK	180,79	1,00	1,00	262,79	16,66	-	-	16,66	1,83	b	0,34	2,46	0,24	37,42	OK	0,47
41	L 1"x1/4"	0,26	-	-	-	-	-	-	-	4,00	1	7,29	97,98	OK	154,35	1,00	1,00	217,26	6,94	-	-	6,94	2,31	b	0,34	3,53	0,16	15,81	OK	0,02
42	L 1,5"x1/4"	17,16	-	-	-	-	-	-	-	6,00	1	7,29	153,53	OK	178,56	1,00	1,00	260,00	17,02	-	-	17,02	1,82	b	0,34	2,42	0,25	38,13	OK	0,45
43	L 1"x1/4"	6,64	-	-	-	-	-	-	-	4,00	1	7,29	97,98	OK	120,86	1,00	1,00	175,40	10,65	-	-	10,65	1,87	b	0,34	2,52	0,24	23,20	OK	0,29
44	L 1,5"x1/4"	13,61	-	-	-	-	-	-	-	6,00	1	7,29	153,53	OK	137,55	1,00	1,00	208,74	26,41	-	-	26,41	1,46	b	0,34	1,78	0,36	55,01	OK	0,25
45	L 1"x1/4"	0,26	-	-	-	-	-	-	-	4,00	1	7,29	97,98	OK	87,37	1,00	1,00	133,53	18,38	-	-	18,38	1,42	b	0,34	1,72	0,37	36,56	OK	0,01
46	L 1,5"x1/4"	13,26	-	-	-	-	-	-	-	6,00	1	7,29	153,53	OK	136,39	1,00	1,00	207,29	26,78	-	-	26,78	1,45	b	0,34	1,76	0,36	55,62	OK	0,24
47	L 1"x1/4"	6,67	-	-	-	-	-	-	-	4,00	1	7,29	97,98	OK	53,87	1,00	1,00	95,12	36,21	-	-	36,21	1,01	b	0,34	1,15	0,59	57,76	OK	0,12

DIMENSIONAMENTO AO MOMENTO FLETOR														
BARRA	PERFIL UTILIZADO	SOLICITAÇÃO DE FLEXÃO (kNm)	Componentes internos comprimidos			Banzos em consola			Classe dos perfis I	Módulo de flexão utilizado, W (cm ³)		Mc,Rd (kNm)	Verificação	Sd/Rd
			(c/t)	Classe	(c/t)lim classe	(c/t)	Classe	(c/t)lim classe						
1	W 200x41,7	105,00	21,81	1	58,32	N.A.			1	Wpl	615,36	212,30	OK	0,49
2	W 200x41,7	103,00	21,81	1	58,32	N.A.			1	Wpl	615,36	212,30	OK	0,49

BARRA	PERFIL UTILIZADO	SOLICITAÇÃO DE FLEXÃO (kNm)	L (cm)	Mcr (kNcm)	λ_{Lt}	Curva de flambagem		Φ_{Lt}	χ_{Lt}	Mb,Rd (kNm)	Verificação	Sd/Rd
						Curva	α_{Lt}					
1	W 200x41,7	105,00	600,00	21585,15	0,99	a	0,21	1,07	0,67	142,53	OK	0,74
2	W 200x41,7	103,00	600,00	21585,15	0,99	a	0,21	1,07	0,67	142,53	OK	0,72

DIMENSIONAMENTO AO ESFORÇO CORTANTE								
BARRA	PERFIL UTILIZADO	SOLICITAÇÃO DE CORTE (kN)	Classe	Distribuição	Av (cm ²)	Vpl,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
1	W 200x41,7	34,70	1	Plástica	25,86	515,18	OK	0,07
2	W 200x41,7	34,40	1	Plástica	25,86	515,18	OK	0,07

COMBINAÇÃO DE ESFORÇOS					
BARRA	PERFIL UTILIZADO	SOLICITAÇÃO DE CORTE (kN)	Vpl,Rd (kN)	Ved/Vpl,Rd	
				Relação	Conclusão
1	W 200x41,7	34,70	515,18	0,07	Manter Mc,Rd
2	W 200x41,7	34,40	515,18	0,07	Manter Mc,Rd

FLEXÃO COMPOSTA UNIFORME									
BARRA	PERFIL UTILIZADO	SOLICITAÇÃO DE TRAÇÃO (kN)	Npl,Rd (kN)	SOLICITAÇÃO DE COMPRESSÃO (kN)	Nc,Rd (kN)	Condições para recalculer Mc,Rd			
						Ned/Npl,Rd	Ned/Nc,Rd	Fórmula 37	Conclusão
1	W 200x41,7	37,68	1899,25	43,28	1845,75	0,02	0,02	231,32	Manter Mc,Rd
2	W 200x41,7	37,68	1899,25	35,23	1845,75	0,02	0,02	231,32	Manter Mc,Rd

FLEXÃO COMPOSTA CONSIDERANDO FLAMBAGEM										
BARRA	PERFIL UTILIZADO	SOLICITAÇÃO DE COMPRESSÃO (kN)	Nrk (kN)	SOLICITAÇÃO DE FLEXÃO (kNm)	My,rk (kNm)	χ_y	χ_{Lt}	kyy	Combinação	
									Valor	Verificação
1	W 200x41,7	43,28	1899,25	105,00	212,30	0,06	0,67	0,53	0,80	OK
2	W 200x41,7	35,23	1899,25	103,00	212,30	0,06	0,67	0,51	0,70	OK

DIMENSIONAMENTO LIGAÇÕES SOLDADAS NAS BARRAS DA TRELIÇA																
NÓ	BARRAS	SOLCITAÇÃO TRACÇÃO (kN)	SOLCITAÇÃO COMPRESSÃO (kN)	VERIFICAÇÃO SOLDA												
				t chapa (cm)	t barra (cm)	Filete de solda					β_w	f v,w,d	F w,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd T	Sd/Rd C
						b (cm)	a (cm)	L mín (cm)	L máx (cm)	L (cm)						
1	3	147,41	129,50	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	10,00	0,90	23,09	163,30	OK	0,90	0,79
	4	129,55	117,80	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	10,00	0,90	23,09	163,30	OK	0,79	0,72
	27	5,96	9,76	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,12	0,20
	28	20,25	13,26	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,41	0,27
2	4	129,55	117,80	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	9,00	0,90	23,09	146,97	OK	0,88	0,80
	5	129,55	117,80	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	9,00	0,90	23,09	146,97	OK	0,88	0,80
	29	0,00	0,26	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,00	0,01
3	5	129,55	117,80	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	9,00	0,90	23,09	146,97	OK	0,88	0,80
	6	93,97	94,31	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,96	0,96
	30	13,28	20,18	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,27	0,41
	31	5,96	9,74	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,12	0,20
	32	26,02	17,16	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,53	0,35
4	6	93,97	94,31	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,96	0,96
	7	93,97	94,31	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,96	0,96
	33	0,00	0,26	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,00	0,01
5	7	93,97	94,31	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,96	0,96
	8	59,93	70,72	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,61	0,72
	34	17,21	26,00	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,35	0,53
	35	5,97	9,72	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,12	0,20
	36	33,51	22,23	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,68	0,45
6	8	59,93	70,72	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,61	0,72
	9	59,93	70,72	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,61	0,72
	37	0,00	0,31	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,00	0,01
7	9	59,93	70,72	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,61	0,72
	10	83,84	94,31	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,86	0,96
	38	22,57	22,23	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,46	0,45
	39	5,97	6,63	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,12	0,14
	40	17,21	17,52	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,35	0,36
8	10	83,84	94,31	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,86	0,96
	11	83,84	94,31	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,86	0,96
	41	0,00	0,26	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,00	0,01
9	11	83,84	94,31	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,86	0,96
	12	107,82	117,80	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	9,00	0,90	23,09	146,97	OK	0,73	0,80
	42	17,54	17,16	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,36	0,35
	43	5,96	6,64	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,12	0,14
	44	13,28	13,61	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,27	0,28
10	12	107,82	117,80	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	9,00	0,90	23,09	146,97	OK	0,73	0,80
	13	107,82	117,80	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	9,00	0,90	23,09	146,97	OK	0,73	0,80
	45	0,00	0,26	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,00	0,01
11	13	107,82	117,80	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	9,00	0,90	23,09	146,97	OK	0,73	0,80
	14	119,88	129,50	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	9,00	0,90	23,09	146,97	OK	0,82	0,88
	46	13,68	13,26	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,28	0,27
	47	5,96	6,67	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,12	0,14
12	15	134,18	150,89	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	10,00	0,90	23,09	163,30	OK	0,82	0,92
	16	134,19	153,68	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	10,00	0,90	23,09	163,30	OK	0,82	0,94
	27	5,96	9,76	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,12	0,20
13	16	134,19	153,68	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	10,00	0,90	23,09	163,30	OK	0,82	0,94
	17	109,93	119,56	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	10,00	0,90	23,09	163,30	OK	0,67	0,73
	28	20,25	13,26	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,41	0,27
	29	0,00	0,26	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,00	0,01
	30	13,28	20,18	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,27	0,41
14	17	109,93	119,56	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	9,00	0,90	23,09	146,97	OK	0,75	0,81
	18	109,93	122,34	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	9,00	0,90	23,09	146,97	OK	0,75	0,83
	31	5,96	9,74	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,12	0,20
15	18	109,93	122,34	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	9,00	0,90	23,09	146,97	OK	0,75	0,83
	19	85,57	88,33	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,87	0,90
	32	26,02	17,16	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,53	0,35
	33	0,00	0,26	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,00	0,01
	34	17,21	26,00	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,35	0,53
16	19	85,57	88,33	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,87	0,90
	20	85,56	91,12	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,87	0,93
	35	5,97	9,72	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,12	0,20
	20	85,56	91,12	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,87	0,93
17	21	85,63	85,46	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,87	0,87
	36	33,51	22,23	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,68	0,45
	37	0,00	0,31	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,00	0,01
	38	22,57	22,23	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,46	0,45
	21	85,63	85,46	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,87	0,87
18	22	85,64	83,47	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,87	0,85
	39	5,97	6,63	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,12	0,14
	22	85,64	83,47	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	6,00	0,90	23,09	97,98	OK	0,87	0,85
19	23	110,00	106,27	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	9,00	0,90	23,09	146,97	OK	0,75	0,72
	40	17,21	17,52	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,35	0,36
	41	0,00	0,26	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,00	0,01
	42	17,54	17,16	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,36	0,35
	23	110,00	106,27	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	9,00	0,90	23,09	146,97	OK	0,75	0,72
20	24	110,00	104,28	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	9,00	0,90	23,09	146,97	OK	0,75	0,71
	43	5,96	6,64	0,40	0,64	0,50	0,35	3,00	53,03	3,00	0,90	23,09	48,99	OK	0,12	0,14
	24	110,00	104,28	0,40	1,27	0,50	0,35	3,00	53,03	9,00	0,90	23,09	146,97	OK	0,75	0,71
21	25	134,26	127,19	0,40	1,27	0										

LIGAÇÕES DA TRELIÇA NOS PILARES					
NÓ	BARRAS TRELIÇA	SOLCITAÇÃO TRAÇÃO (kN)	Ângulo (graus)	Fv (kN)	Fh (kN)
A	3	147,41	0,00	0,00	147,41
	15	134,18	15,00	34,73	129,61
B	14	119,88	0,00	0,00	119,88
	26	134,25	15,00	34,75	129,68

SOLDA DA CHAPA HORIZONTAL NO PILAR													
NÓ	Chapa de topo pilar			t pilar (cm)	Filete de solda					β_w	f v w,d	F w,Rd (kN)	Verificação
	b (cm)	h (cm)	t (cm)		b (cm)	a (cm)	L mín (cm)	L máx (cm)	L (cm)				
A	16,60	20,50	1,00	0,72	0,60	0,42	3,00	63,64	15,70	0,90	23,09	307,66	OK
B	16,60	20,50	1,00	0,72	0,60	0,42	3,00	63,64	15,70	0,90	23,09	307,66	OK

SOLDA DA CHAPA VERTICAL NA CHAPA HORIZONTAL													
NÓ	Chapa vertical			t chapa horiz (cm)	Filete de solda					β_w	f v w,d	F w,Rd (kN)	Verificação
	b (cm)	h (cm)	t (cm)		b (cm)	a (cm)	L mín (cm)	L máx (cm)	L (cm)				
A	20,50	20,00	1,30	1,00	0,50	0,35	3,00	53,03	20,50	0,90	23,09	334,76	OK
B	20,50	20,00	1,30	1,00	0,50	0,35	3,00	53,03	20,50	0,90	23,09	334,76	OK

LIGAÇÕES PARAFUSADAS DA TRELIÇA NA CHAPA VERTICAL														
NÓ	BARRAS TRELIÇA	b barra (cm)	t barra (cm)	t chapa (cm)	Parafuso	d parafuso (cm)	Quantidade parafusos	d furo (cm)	d centro borda (cm)	d mín centro borda, e1=e2 (cm)	d mín centro de furos, p1 (cm)	d mín borda de furos (cm)	d máx centro de furos, p1 (cm)	d máx centro borda, e1=e2 (cm)
A	3	10,16	1,27	1,30	1"	2,54	1,00	2,74	4,45	3,29	6,03	3,29	17,78	9,08
	15	10,16	1,27	1,30	1"	2,54	1,00	2,74	4,45	3,29	6,03	3,29	17,78	9,08
B	14	10,16	1,27	1,30	1"	2,54	1,00	2,74	4,45	3,29	6,03	3,29	17,78	9,08
	26	10,16	1,27	1,30	1"	2,54	1,00	2,74	4,45	3,29	6,03	3,29	17,78	9,08

VERIFICAÇÃO RESISTÊNCIA PARAFUSOS											
NÓ	BARRAS TRELIÇA	SOLCITAÇÃO TRAÇÃO (kN)	Resistência ao cisalhamento - pc não passa				Resistência ao esmagamento				
			Ap (cm2)	Fv,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd	Fb,Rd	Limite	Fb,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
A	3	147,41	5,07	341,12	OK	0,43	156,99	174,19	156,99	OK	0,94
	15	134,18	5,07	341,12	OK	0,39	156,99	174,19	156,99	OK	0,85
B	14	119,88	5,07	341,12	OK	0,35	156,99	174,19	156,99	OK	0,76
	26	134,25	5,07	341,12	OK	0,39	156,99	174,19	156,99	OK	0,86

VERIFICAÇÃO NO METAL BASE (CHAPA VERTICAL+PERFIS)									
NÓ	BARRAS TRELIÇA	SOLCITAÇÃO TRAÇÃO (kN)	Chapa vertical		Colapso por rasgamento da chapa vertical				
			h (cm)	t (cm)	Ant (cm2)	Anv (cm2)	Veff,1,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
A	3	147,41	20,00	1,30	17,62	4,00	713,76	OK	0,21
	15	134,18	20,00	1,30	17,62	4,00	713,76	OK	0,19
B	14	119,88	20,00	1,30	17,62	4,00	713,76	OK	0,17
	26	134,25	20,00	1,30	17,62	4,00	713,76	OK	0,19
NÓ	BARRAS	SOLCITAÇÃO TRAÇÃO (kN)	b perfil (cm)	t perfil (cm)	Colapso por rasgamento do perfil				
					Ant (cm2)	Anv (cm2)	Veff,1,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
A	3	147,41	10,16	1,27	3,91	3,91	218,38	OK	0,68
	15	134,18	10,16	1,27	3,91	3,91	218,38	OK	0,61
B	14	119,88	10,16	1,27	3,91	3,91	218,38	OK	0,55
	26	134,25	10,16	1,27	3,91	3,91	218,38	OK	0,61

LIGAÇÕES PARAFUSADAS DAS BARRAS COM EMENDAS													
BARRA	b barra (cm)	t barra (cm)	t chapas (cm)	Parafuso	d parafuso (cm)	Quantidade parafusos por aba	d furo (cm)	d centro borda (cm)	d mín centro borda, e1=e2 (cm)	d mín centro de furos, p1 (cm)	d mín borda de furos (cm)	d máx centro de furos, p1 (cm)	d máx centro borda, e1=e2 (cm)
6	10,16	1,27	1,27	1/2"	1,27	1,00	1,37	4,45	1,64	3,01	1,64	17,78	9,08
11	10,16	1,27	1,27	1/2"	1,27	1,00	1,37	4,45	1,64	3,01	1,64	17,78	9,08
18	10,16	1,27	1,27	1/2"	1,27	1,00	1,37	4,45	1,64	3,01	1,64	17,78	9,08
23	10,16	1,27	1,27	1/2"	1,27	1,00	1,37	4,45	1,64	3,01	1,64	17,78	9,08

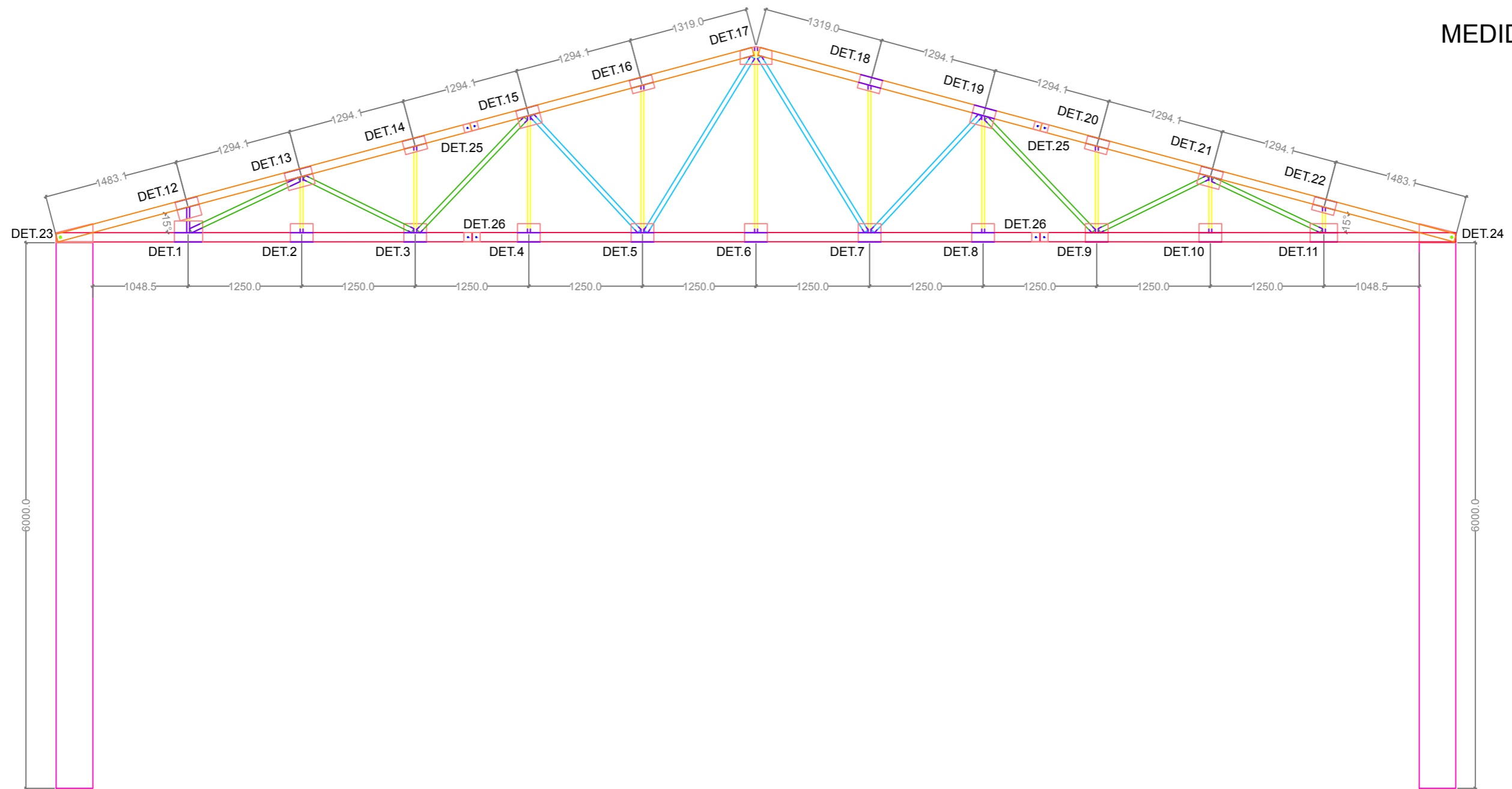
VERIFICAÇÃO RESISTÊNCIA PARAFUSOS										
BARRA	SOLCITAÇÃO AXIAL (kN)	Resistência ao cisalhamento - pc não passa				Resistência ao esmagamento				
		Ap (cm2)	Fv,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd	Fb,Rd	Limite	Fb,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
6	94,31	1,27	170,56	OK	0,55	290,32	174,19	174,19	OK	0,54
11	94,31	1,27	170,56	OK	0,55	290,32	174,19	174,19	OK	0,54
18	122,34	1,27	170,56	OK	0,72	290,32	174,19	174,19	OK	0,70
23	110,00	1,27	170,56	OK	0,64	290,32	174,19	174,19	OK	0,63

VERIFICAÇÃO NO METAL BASE								
BARRA	SOLCITAÇÃO AXIAL (kN)	b perfil (cm)	t perfil (cm)	Colapso por rasgamento do perfil				
				Ant (cm2)	Anv (cm2)	Veff,1,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
6	94,31	10,16	1,27	9,55	9,55	534,04	OK	0,18
11	94,31	10,16	1,27	9,55	9,55	534,04	OK	0,18
18	122,34	10,16	1,27	9,55	9,55	534,04	OK	0,23
23	110,00	10,16	1,27	9,55	9,55	534,04	OK	0,21

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO NAS BARRAS COM EMENDA								
BARRA	SOLCITAÇÃO TRAÇÃO (kN)	Esforço resistente da seção útil						
		p (cm)	s (cm)	n parafusos	Anet (cm2)	Nu,Rd (kN)	Verificação	Sd/Rd
6	93,97	8,89	0,00	2,00	9,42	305,32	OK	0,31
11	83,84	8,89	0,00	2,00	9,42	305,32	OK	0,27
18	109,93	8,89	0,00	2,00	9,42	305,32	OK	0,36
23	110,00	8,89	0,00	2,00	9,42	305,32	OK	0,36

APÊNDICE C – Plantas da configuração final dos pórticos

MEDIDAS EM [mm]



LEGENDA DE CORES

	CHAPAS DE LIGAÇÃO
	L 1.25" x 1/4"
	L 2" x 3/16"
	L 2" x 5/16"
	L 3.5" x 3/8"
	L 4" x 7/16"
	PARAFUSOS 1"
	PARAFUSOS 1/2"
	SOLDA ELETRODO E7015
	W 410x46.1

PLANTA DO PÓRTICO METÁLICO

REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA

ESCOLA DE ENGENHARIA

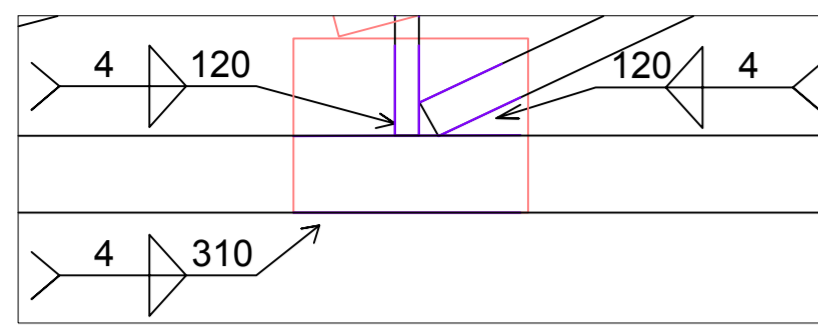
ESCALA:
1:50

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

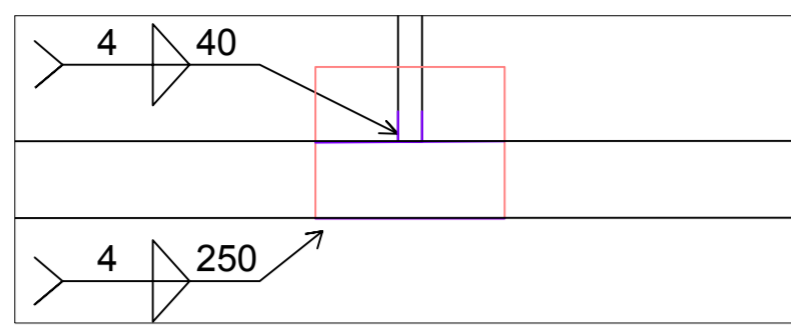
DESENHO:
RAÍSSA

DIMENSIONAMENTO
SEGUNDO A NBR 8800

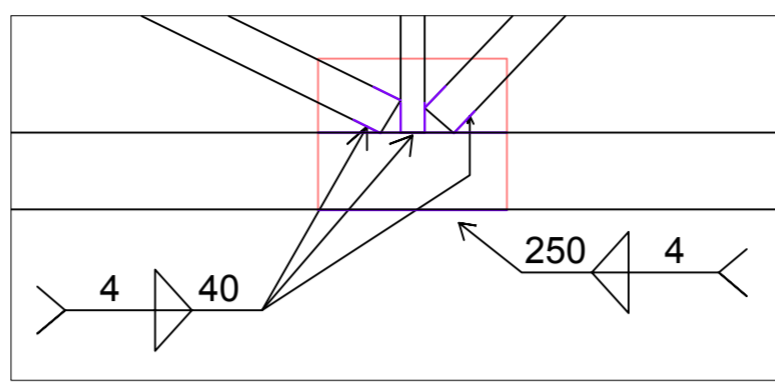
DATA:
JAN/2018



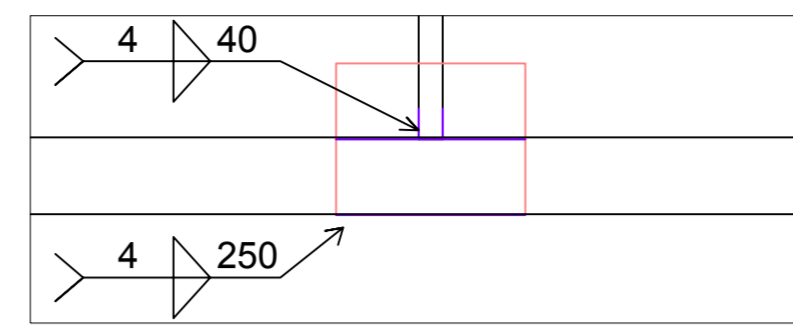
DET.1
Esc.: 1:10



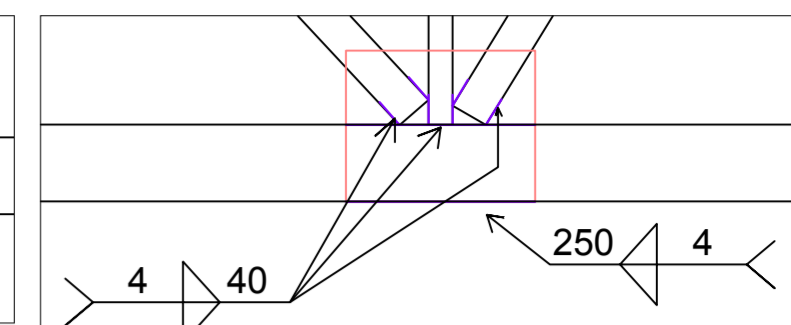
DET.2
Esc.: 1:10



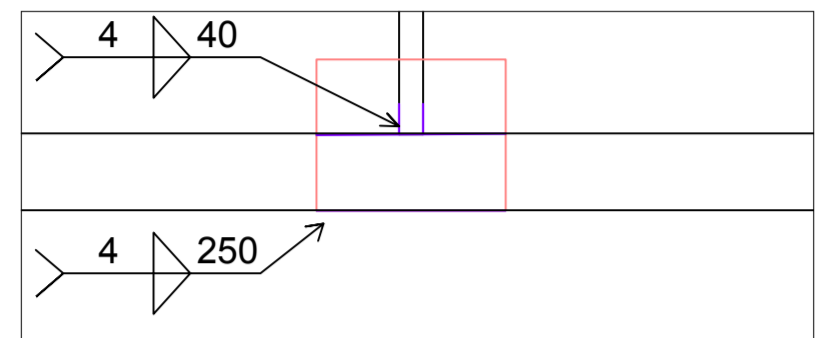
DET.3
Esc.: 1:10



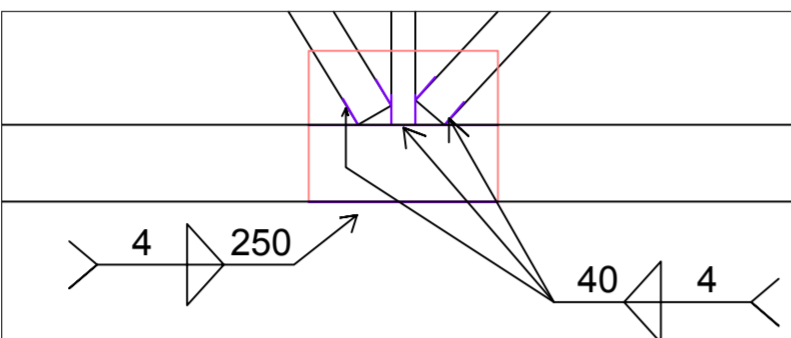
DET.4
Esc.: 1:10



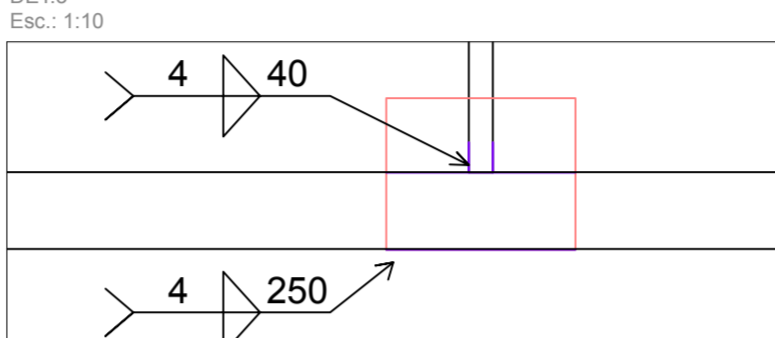
DET.5
Esc.: 1:10



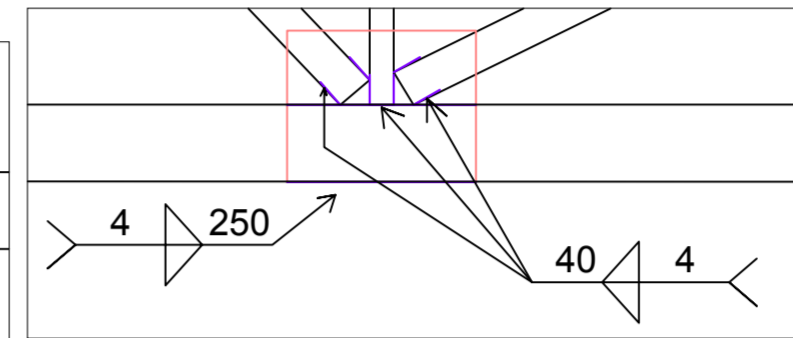
DET.6
Esc.: 1:10



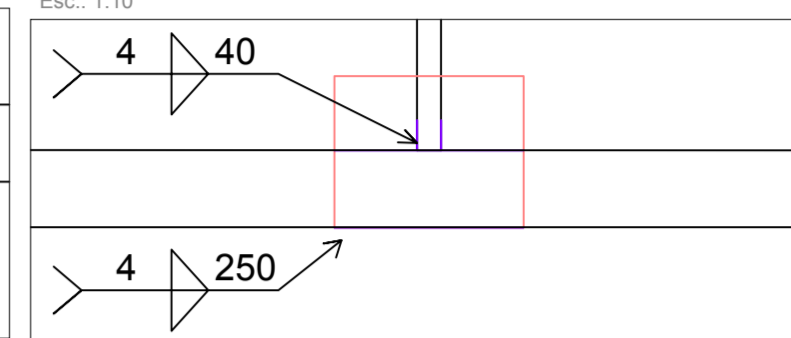
DET.7
Esc.: 1:10



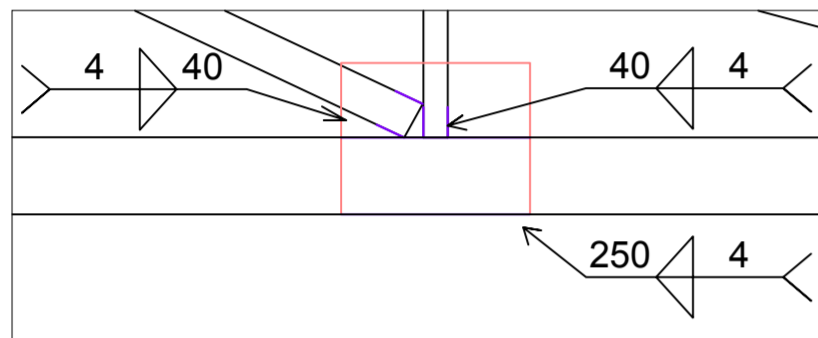
DET.8
Esc.: 1:10



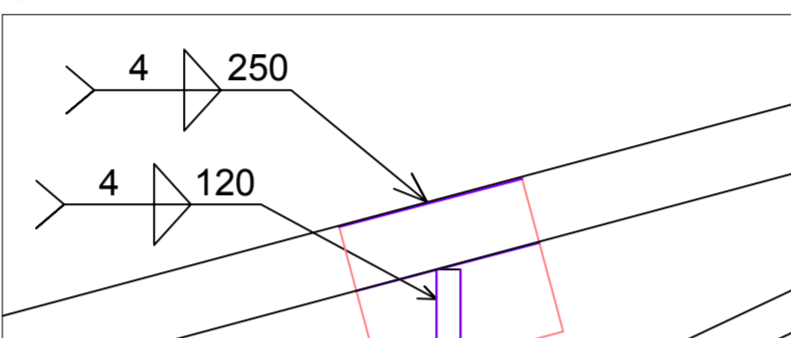
DET.9
Esc.: 1:10



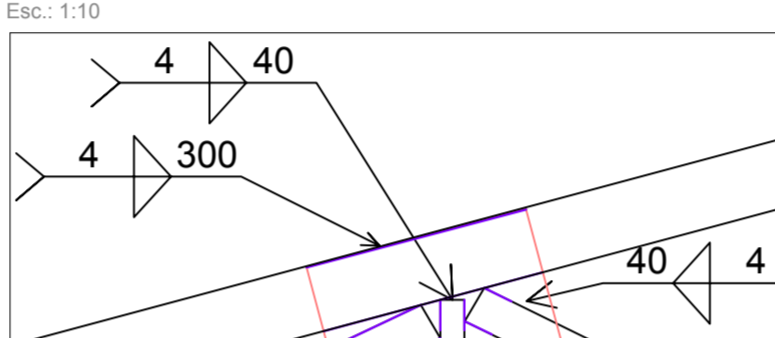
DET.10
Esc.: 1:10



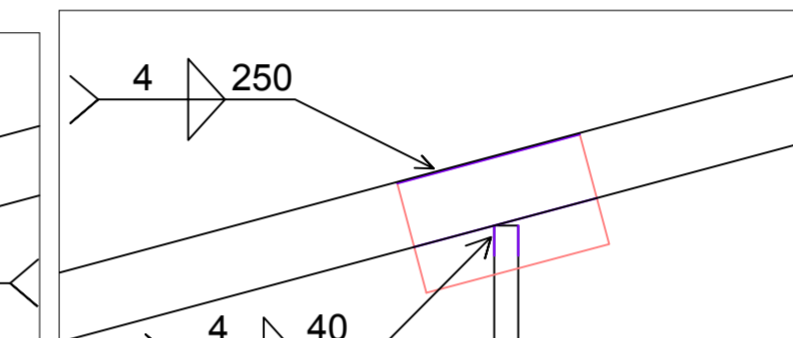
DET.11
Esc.: 1:10



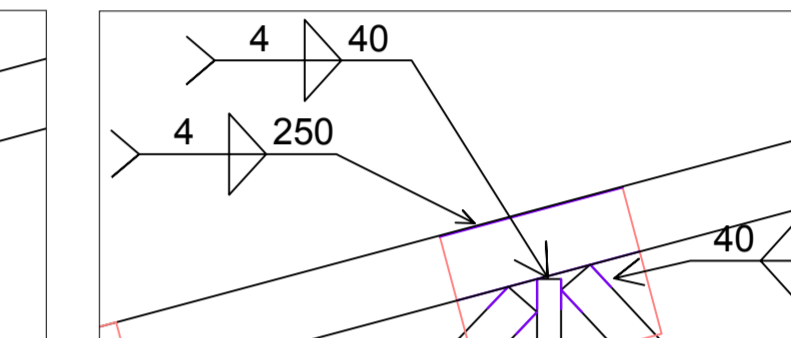
DET.12
Esc.: 1:10



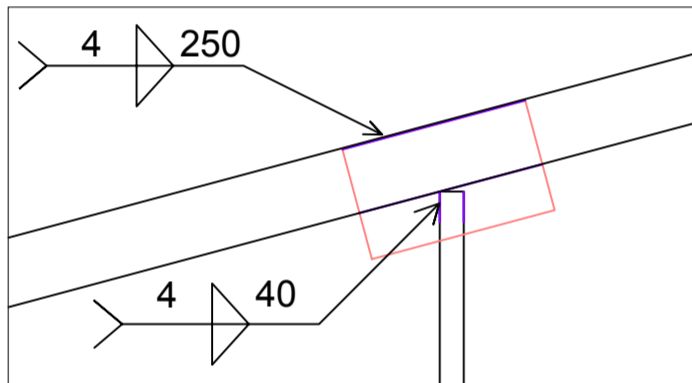
DET.13
Esc.: 1:10



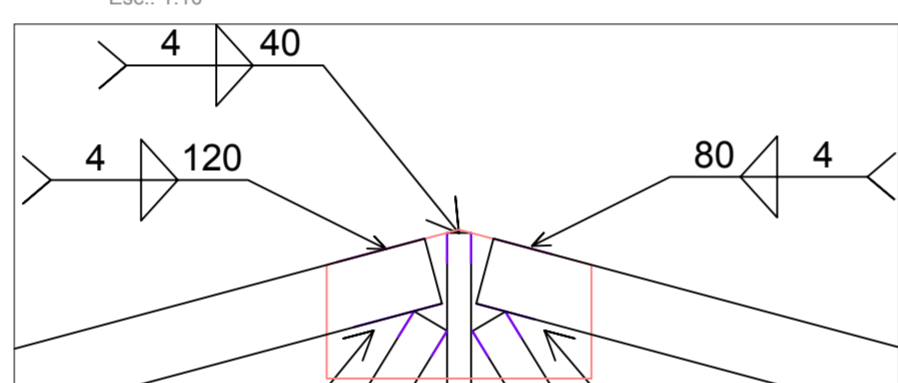
DET.14
Esc.: 1:10



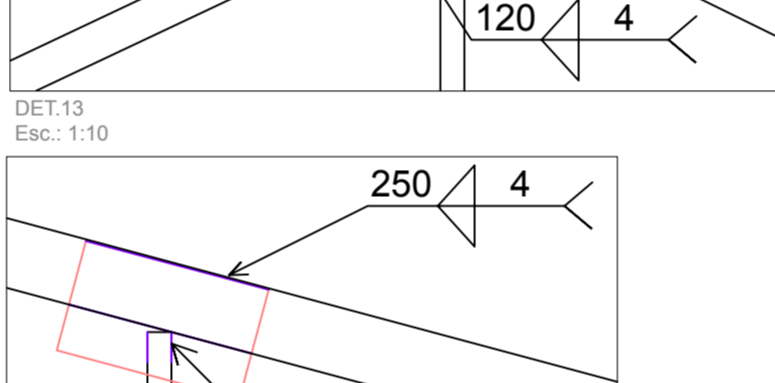
DET.15
Esc.: 1:10



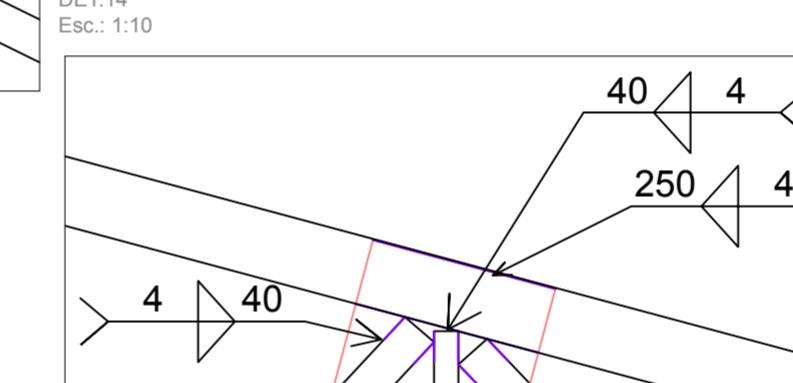
DET.16
Esc.: 1:10



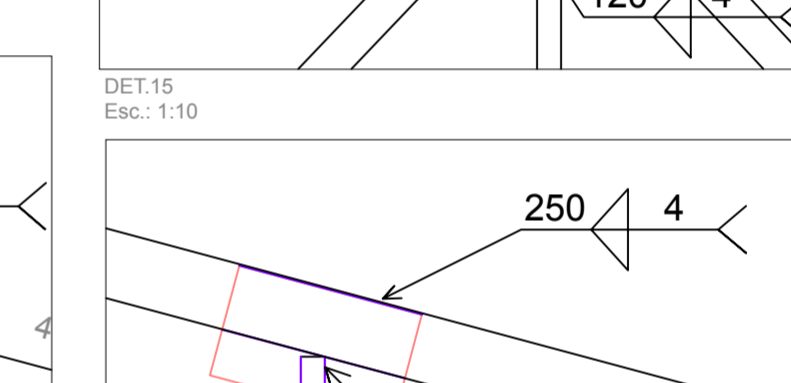
DET.17
Esc.: 1:10



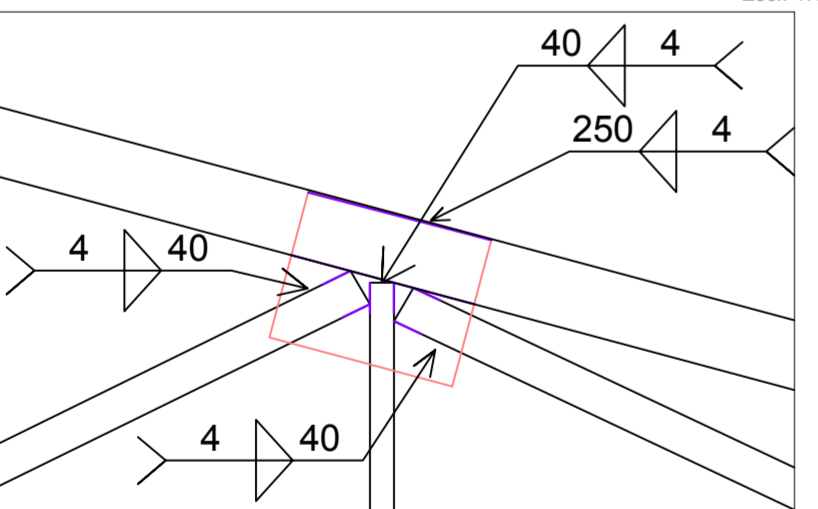
DET.18
Esc.: 1:10



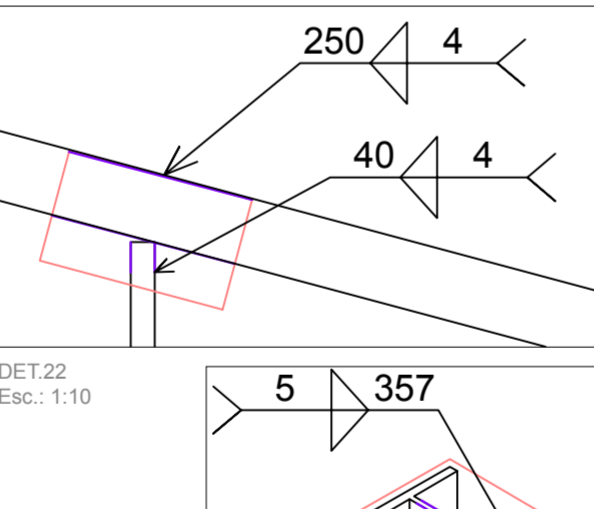
DET.19
Esc.: 1:10



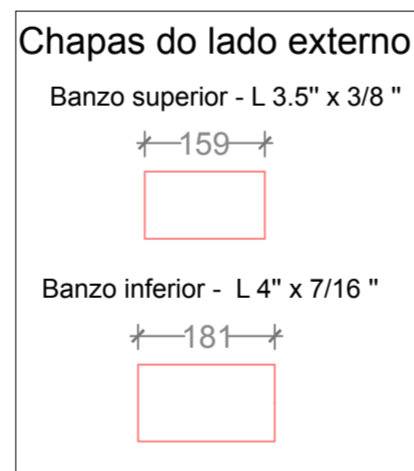
DET.20
Esc.: 1:10



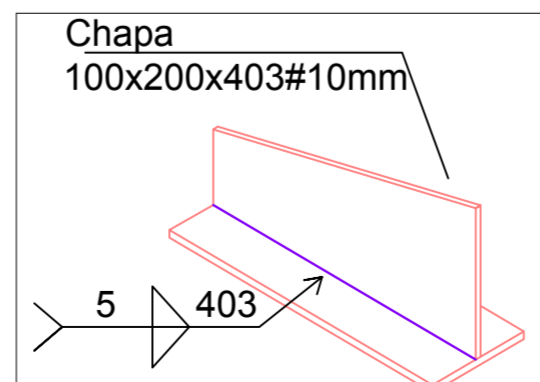
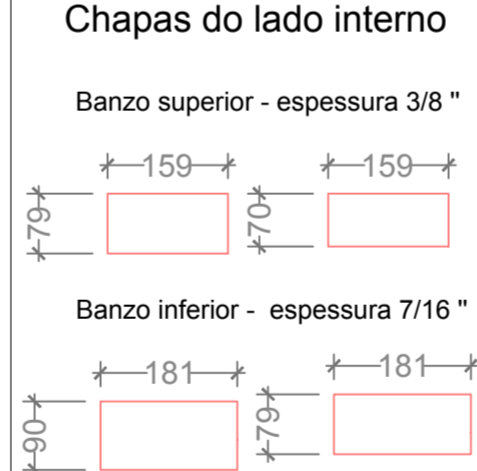
DET.21
Esc.: 1:10



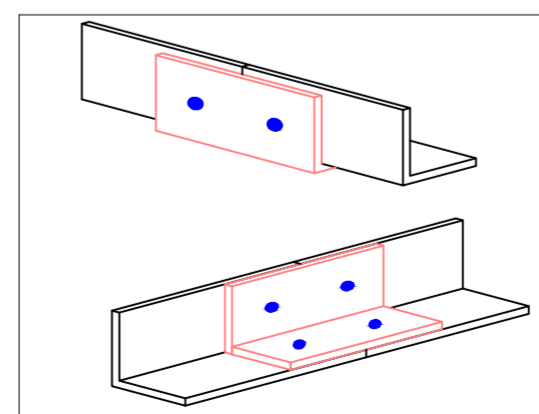
DET.22
Esc.: 1:10



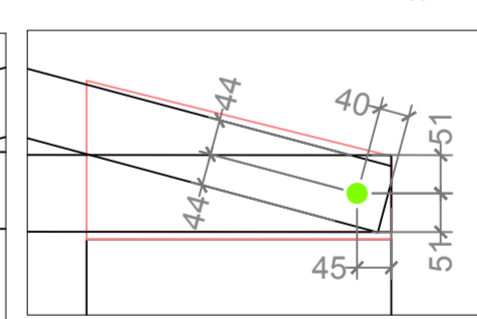
DET. CHAPAS DAS EMENDAS
Esc.: 1:10



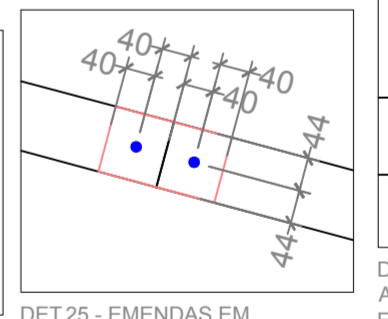
DET. CHAPA VERTICAL LIGADA NA CHAPA DE TOPO
Esc.: 1:10



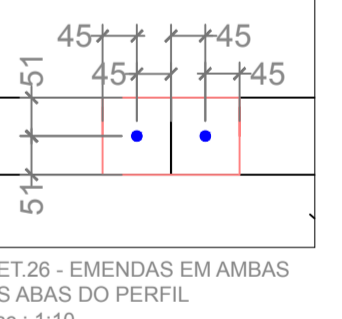
DET.23
Esc.: 1:10



DET.24
Esc.: 1:10

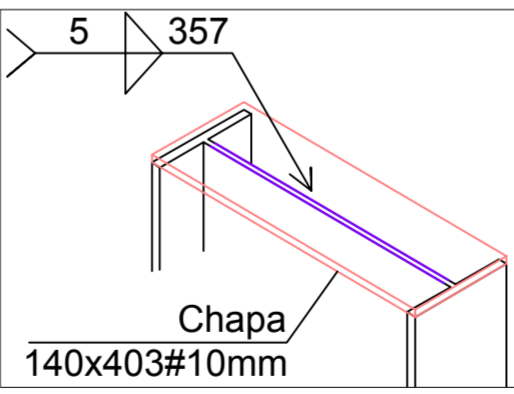


DET.25 - EMENDAS EM
AMBAS AS ABAS DO PERFIL
Esc.: 1:10

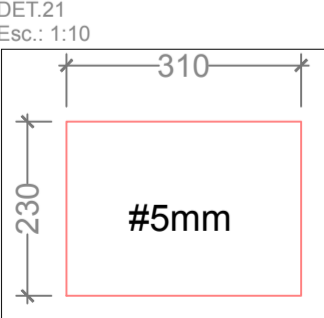


DET.26 - EMENDAS EM
AMBAS AS ABAS DO PERFIL
Esc.: 1:10

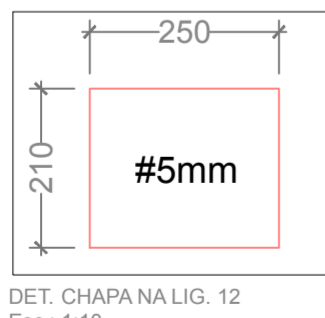
MEDIDAS EM [mm]



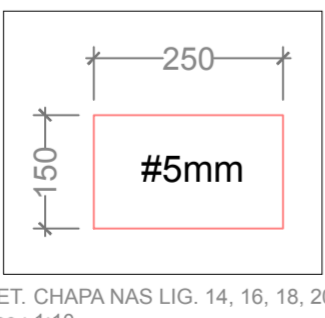
DET. CHAPA TOPO PILAR
Esc.: 1:10



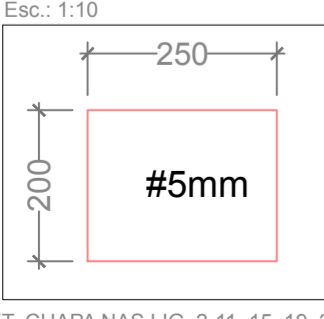
DET. CHAPA NA LIG. 1
Esc.: 1:10



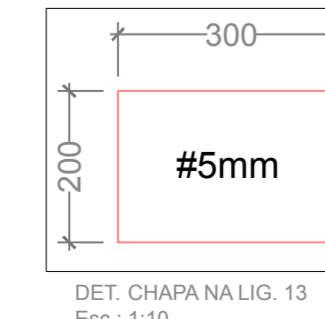
DET. CHAPA NA LIG. 12
Esc.: 1:10



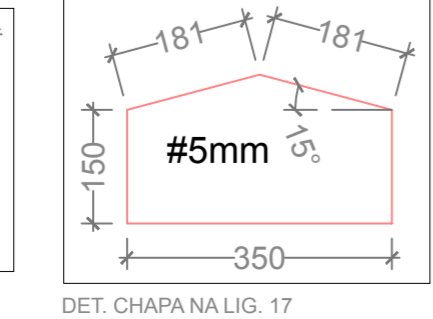
DET. CHAPA NAS LIG. 14, 16, 18, 20, 22
Esc.: 1:10



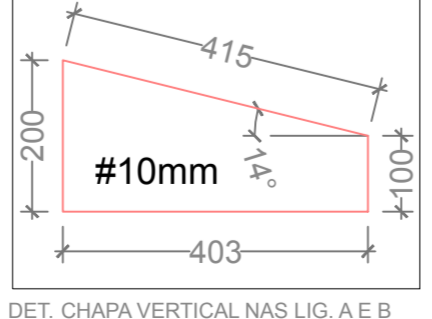
DET. CHAPA NAS LIG. 2-11, 15, 19, 21
Esc.: 1:10



DET. CHAPA NA LIG. 13
Esc.: 1:10



DET. CHAPA NA LIG. 17
Esc.: 1:10



DET. CHAPA VERTICAL NAS LIG. A E B
Esc.: 1:10

PLANTA DO PÓRTICO METÁLICO

DETALHES DE LIGAÇÕES

ESCOLA DE ENGENHARIA

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

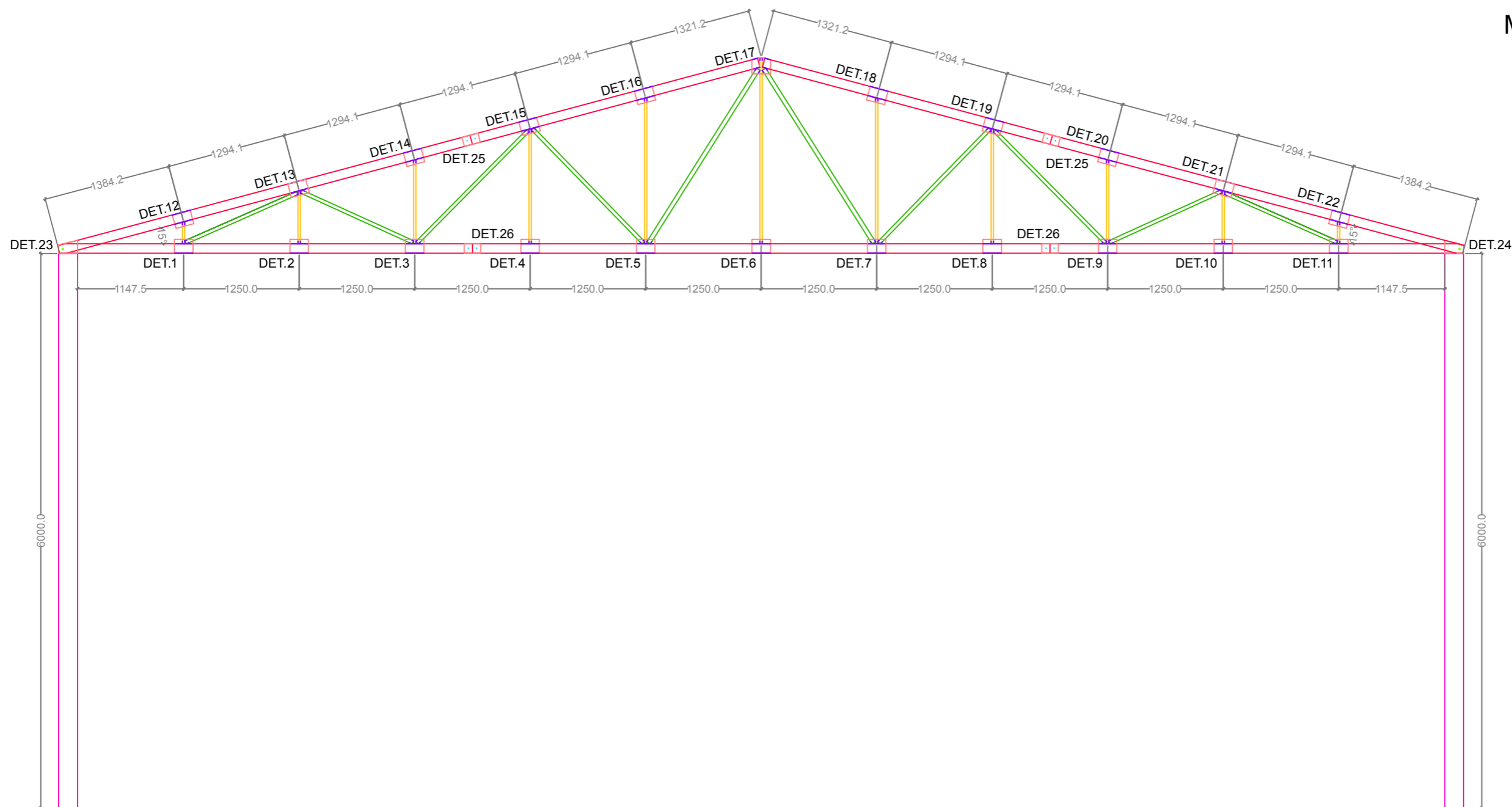
DIMENSIONAMENTO
SEGUNDO A NBR 8800

ESCALA:
INDICADA

DESENHO:
RAÍSSA

DATA:
JAN/2018

MEDIDAS EM [mm]



LEGENDA DE CORES

	CHAPAS DE LIGAÇÃO
	L 1.5" x 1/4"
	L 1" x 1/4"
	L 4" x 1/2"
	PARAFUSOS 1"
	PARAFUSOS 1/2"
	SOLDA ELETRODO E7015
	W 200x41.7

PLANTA DO PÓRTICO METÁLICO

REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA

ESCOLA DE ENGENHARIA

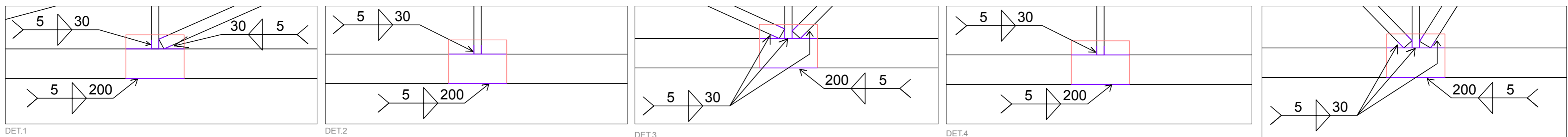
ESCALA:
1:50

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

DESENHO:
RAÍSSA

DIMENSIONAMENTO
SEGUNDO EUROCÓDIGO 3

DATA:
JAN/2018



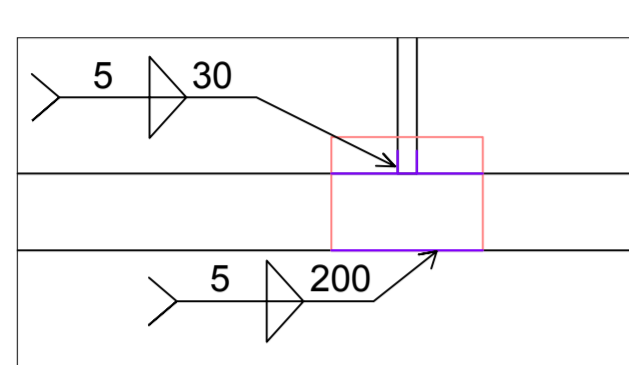
DET.1
Esc.: 1:10

DET.2
Esc.: 1:10

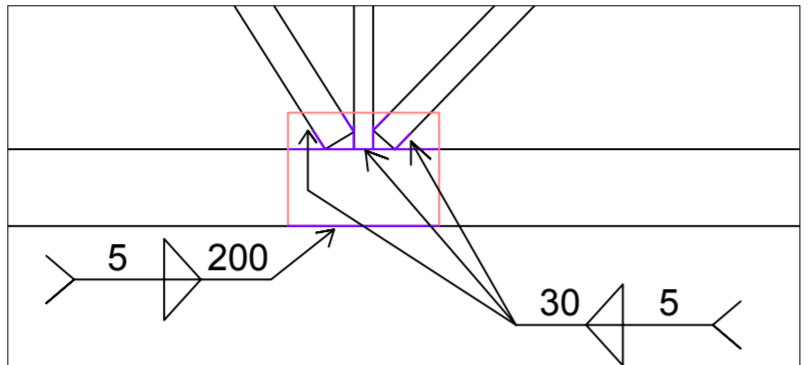
DET.3
Esc.: 1:10

DET.4
Esc.: 1:10

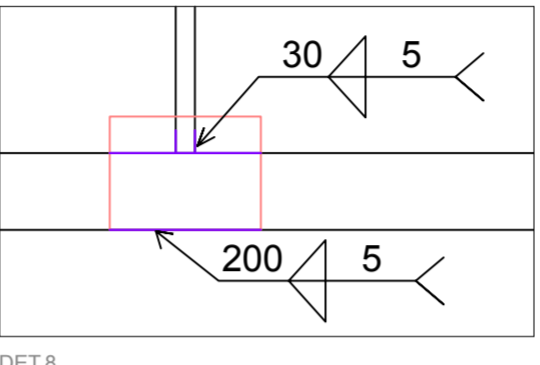
DET.5
Esc.: 1:10



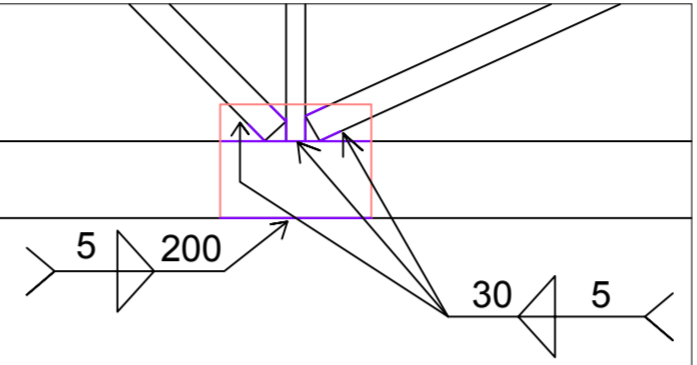
DET.6
Esc.: 1:10



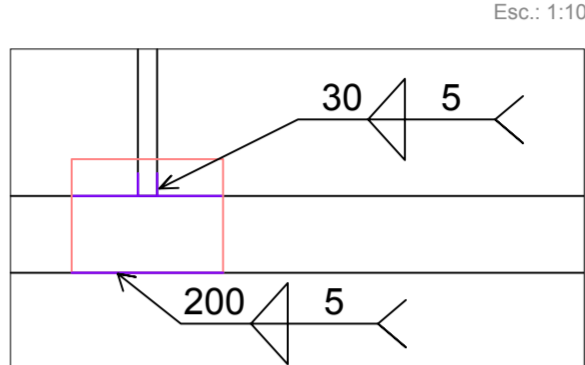
DET.7
Esc.: 1:10



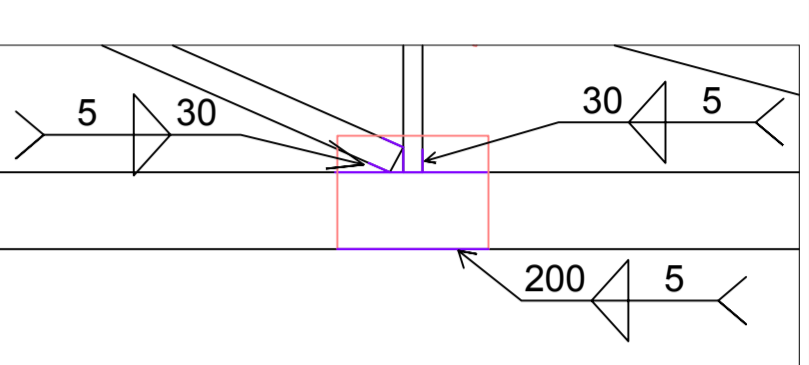
DET.8
Esc.: 1:10



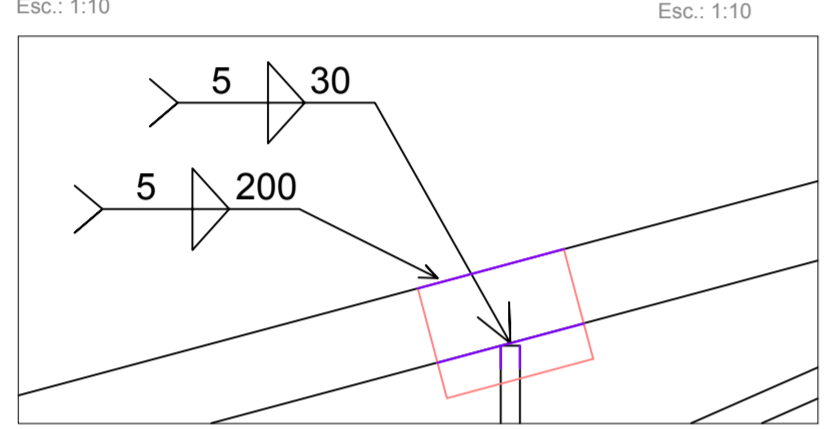
DET.9
Esc.: 1:10



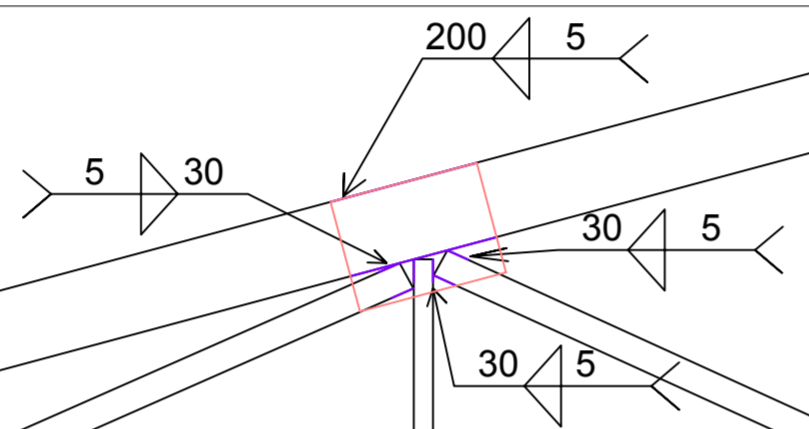
DET.10
Esc.: 1:10



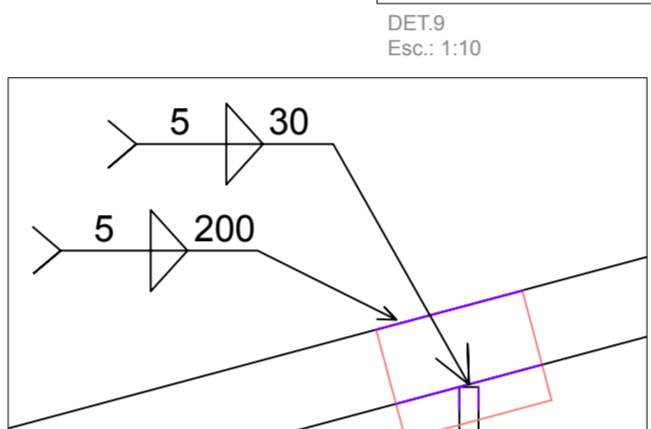
DET.11
Esc.: 1:10



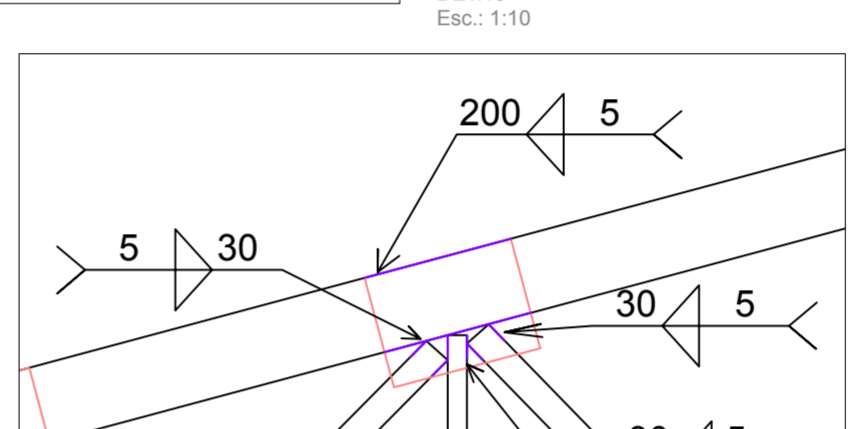
DET.12
Esc.: 1:10



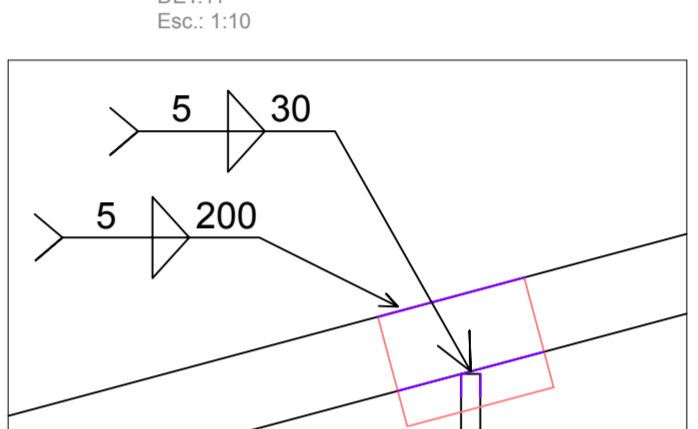
DET.13
Esc.: 1:10



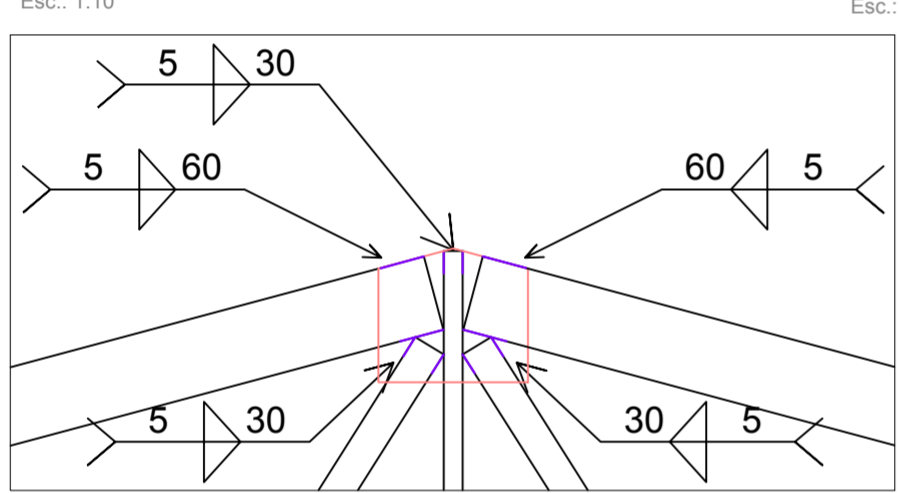
DET.14
Esc.: 1:10



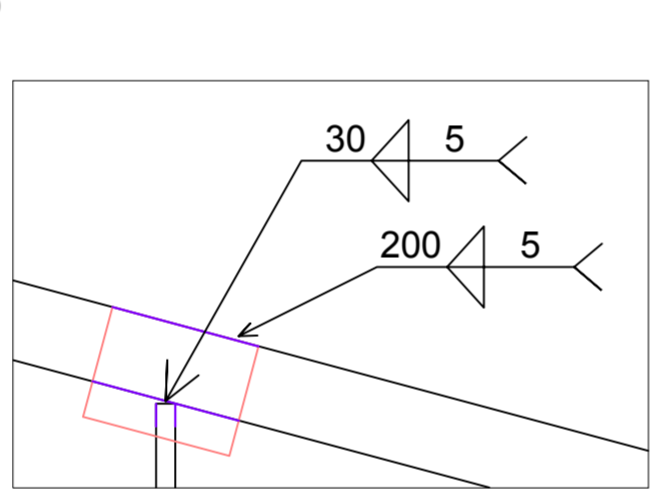
DET.15
Esc.: 1:10



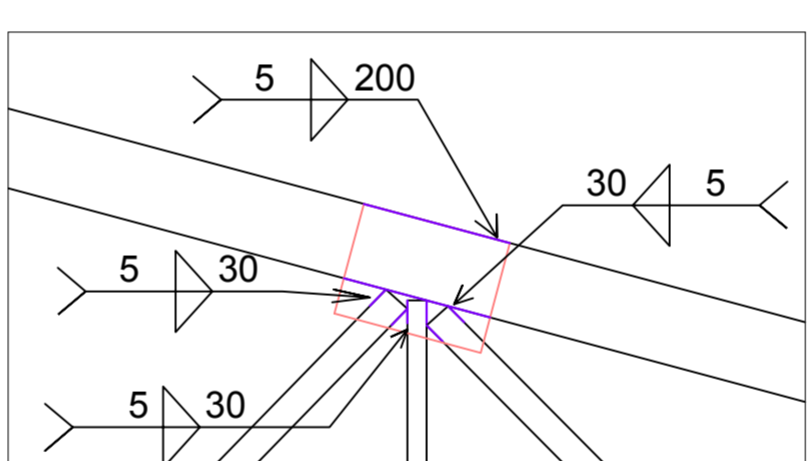
DET.16
Esc.: 1:10



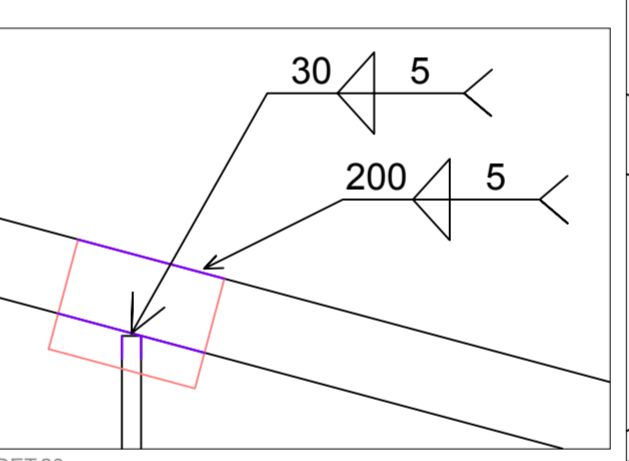
DET.17
Esc.: 1:10



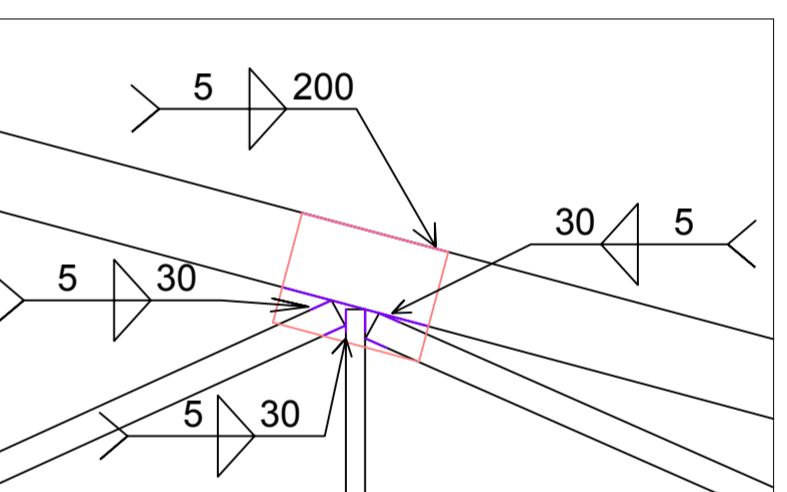
DET.18
Esc.: 1:10



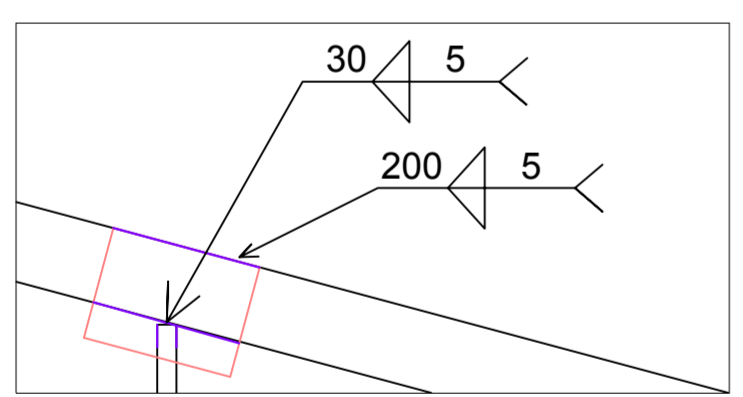
DET.19
Esc.: 1:10



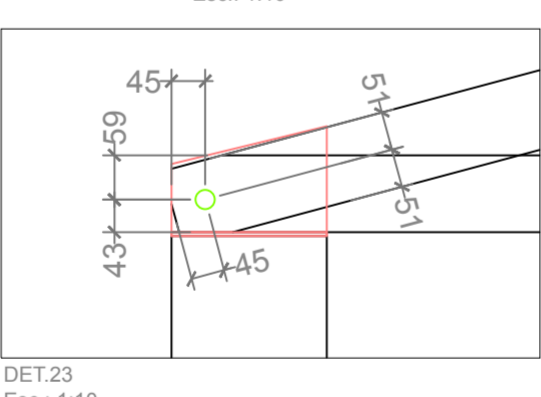
DET.20
Esc.: 1:10



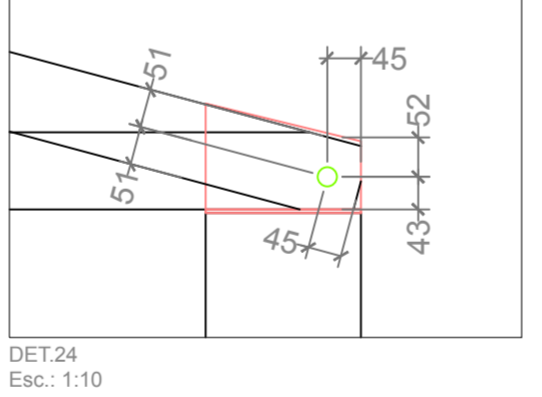
DET.21
Esc.: 1:10



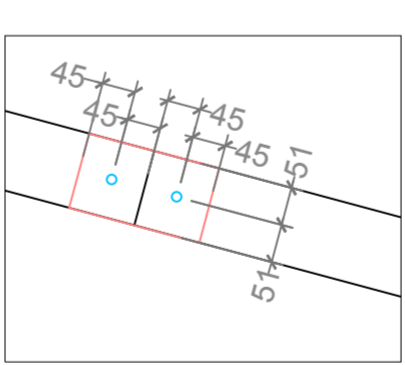
DET.22
Esc.: 1:10



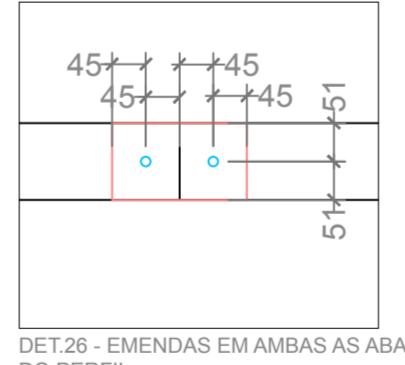
DET.23
Esc.: 1:10



DET.24
Esc.: 1:10

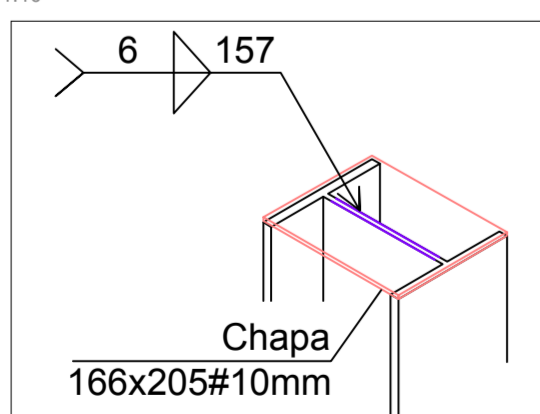


DET.25 - EMENDAS EM AMBAS AS ABAS DO PERFIL
Esc.: 1:10

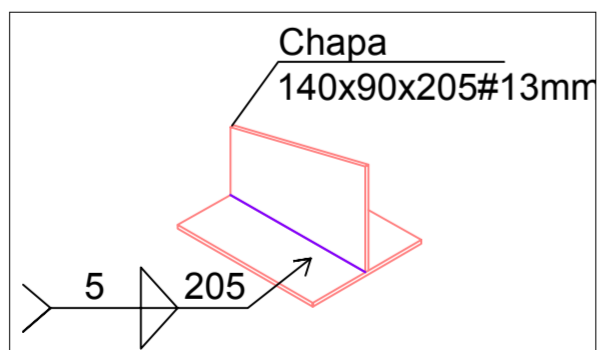


DET.26 - EMENDAS EM AMBAS AS ABAS DO PERFIL
Esc.: 1:10

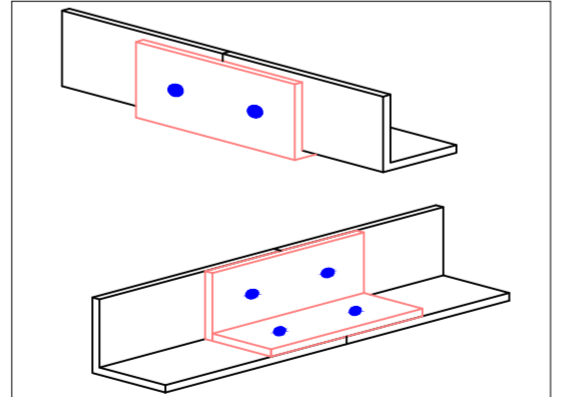
MEDIDAS EM [mm]



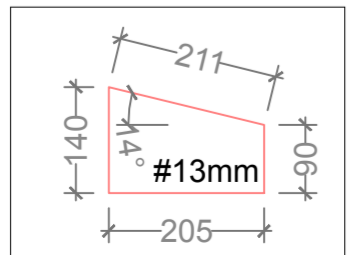
DET. CHAPA TOPO PILAR
Esc.: 1:10



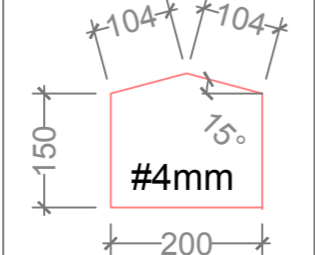
DET. CHAPA VERTICAL LIGADA NA CHAPA DE TOPO
Esc.: 1:10



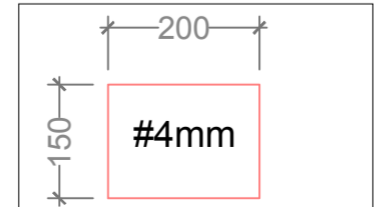
DET. DAS EMENDAS EM AMBAS AS ABAS DO PERFIL
Esc.: 1:10



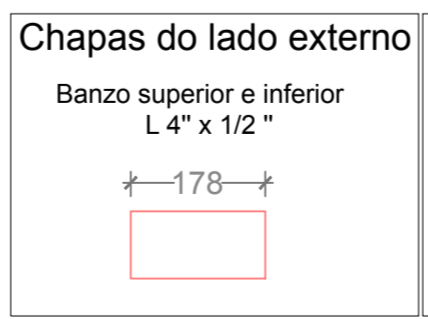
DET. CHAPA VERTICAL LIG. A E B
Esc.: 1:10



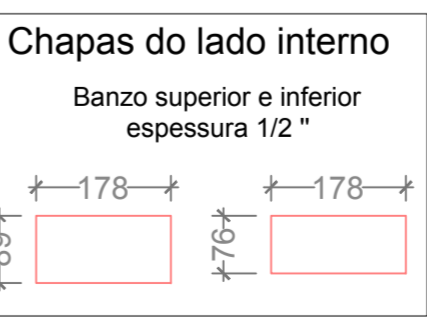
DET. CHAPA NA LIG. 17
Esc.: 1:10



DET. CHAPA NAS LIG. 1 A 16 e 18 A 22
Esc.: 1:10



DET. CHAPAS DAS EMENDAS
Esc.: 1:10



DET. CHAPAS DAS EMENDAS
Esc.: 1:10

PLANTA DO PÓRTICO METÁLICO

DETALHES DE LIGAÇÕES

ESCOLA DE ENGENHARIA

ESCALA:
INDICADA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

DESENHO:
RAÍSSA

DIMENSIONAMENTO SEGUNDO EUROCÓDIGO 3

DATA:
JAN/2018