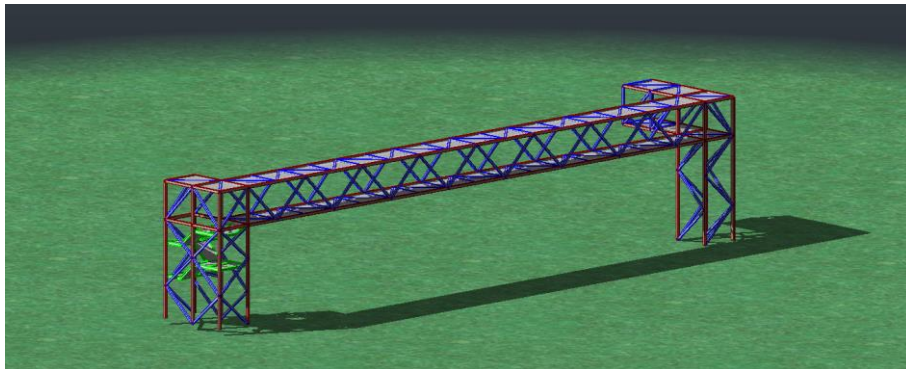




**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**



## **Dimensionamento de um Passadiço Metálico de Ligação entre dois Edifícios**

**ANDRÉ FILIPE RODRIGUES DOMINGOS**

Licenciado em Engenharia Civil

Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Civil – Ramo de Estruturas

Orientadores:

Doutor, Luciano Alberto do Carmo Jacinto

Júri:

Presidente: Doutor, Paulo Jorge Henriques Mendes

Vogais:

Licenciado Especialista, José António Fontelas dos Santos Viseu

Doutor, Luciano Alberto do Carmo Jacinto

Novembro de 2019



# AGRADECIMENTOS

Este projeto faz parte de um percurso acadêmico de vários anos com o objetivo de obter o grau de mestre no ramo de estruturas de Engenharia Civil.

Desde já quero agradecer aos Engenheiros Luciano Jacinto e Paulo Pedro a orientação, a paciência, a disponibilidade, os conselhos e as sugestões que foram essenciais para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho. Quero agradecer, igualmente, ao Engenheiro Santos Viseu a disponibilidade manifestada.

Agradeço ao Exército Português a possibilidade de utilizar o projeto de arquitetura pelo qual não seria possível a realização deste T.F.M.

Não esqueço, também, os meus colegas de curso, amigos e camaradas, Tiago Eduardo, João Machado, Zé Machado, André Pereira, entre outros, o companheirismo, a ajuda e o apoio no decorrer do meu percurso académico.

Aos meus pais, irmã e restante família o auxílio durante todos estes anos, os valores transmitidos e todos os sacrifícios que fizeram para que este sonho se tornasse realidade.



# RESUMO

O presente Trabalho Final de Mestrado tem como objetivo o desenvolvimento do Projeto do “DIMENSIONAMENTO DE UM PASSADIÇO DE LIGAÇÃO ENTRE DOIS EDIFÍCIOS”, e faz parte do Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Estruturas, com a finalidade de obtenção do Grau de Mestre.

Este projeto consiste no dimensionamento de uma estrutura de aço e das fundações em betão armado, tendo como base o projeto de arquitetura do Arquiteto Pedro Batardo e o estudo geológico-geotécnico realizado “in situ” por uma empresa da especialidade.

O projeto de arquitetura foi disponibilizado pelo Exército Português, e compreende uma ponte pedonal de ligação entre os edifícios H01 e A01 localizados no Hospital das Forças Armadas no Lumiar em Lisboa.

Este passadiço com o vão de 48.3 metros e uma área em planta de 173 m<sup>2</sup> é constituída por um caixão treliçado ligado a duas torres metálicas.

O estudo e dimensionamento foi realizado com base nos Eurocódigos, tendo-se recorrido a um software de cálculo tridimensional baseado no método de elementos finitos, o “AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL 2019”, na determinação dos esforços e no estudo dinâmico.

PALAVRAS-CHAVE: Passadiço Pedonal; Estrutura Metálica; Estrutura em treliça;  
Eurocódigos Estruturais; Ligações; Análise Dinâmica.



# ABSTRACT

The Final Master Work aims at presenting the project entitled "DESIGN OF A STEEL FOOTBRIDGE CONNECTING TWO BUILDINGS", integrated in the Civil Engineering Master - Specialization in Structures, for the purpose of obtaining the Master Degree.

This project consists of the dimensioning of a steel structure and foundations in reinforced concrete, based on the architectural project by Architect Pedro Batardo and the geological-geotechnical study carried out "in situ" by a specialty company.

The Portuguese Army provided the architectural project, witch comprises a pedestrian bridge connecting buildings H01 and A01 located in the Hospital das Armed Forces at Lumiar in Lisbon.

This walkway with a span of 48.3 meters and a plant area of 173 m<sup>2</sup> consists of a boxed truss attached to two metal towers.

The Eurocodes provided the basis for the study and dimensioning of the structure. We resorted on a three-dimensional calculation software based on the finite element method, the "AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL 2019", on the determination of efforts and the dynamic study.

Keywords: Footbridge; Steel Structure; Structural Eurocodes; Steel Truss; Steel Joints;  
Dynamic analysis.



# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1	ENQUADRAMENTO.....	1
1.2	DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA E LIMITAÇÕES ESTRUTURAIS.....	2
1.3	RELATÓRIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO.....	5
<b>2</b>	<b>MATERIAIS ESTRUTURAIS.....</b>	<b>7</b>
2.1	AÇO NA ESTRUTURA METÁLICA.....	7
2.2	BETÃO E AÇO NAS ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO.....	8
<b>3</b>	<b>AÇÕES.....</b>	<b>11</b>
3.1	AÇÕES PERMANENTES.....	11
3.1.1	PESO PRÓPRIO.....	11
3.1.2	REstantes CARGAS PERMANENTES.....	12
3.2	AÇÕES VARIÁVEIS.....	13
3.2.1	SOBRECARGA.....	13
3.2.2	VENTO.....	13
3.2.3	TEMPERATURA.....	21
3.2.4	SISMO.....	24
3.2.5	NEVE.....	31
3.2.6	ANÁLISE DINÂMICA.....	32
<b>4</b>	<b>COMBINAÇÃO DE AÇÕES.....</b>	<b>33</b>
4.1	ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS.....	33
4.2	ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO.....	34
4.3	RESUMO DAS COMBINAÇÕES DE AÇÕES.....	35
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA E CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO.....</b>	<b>37</b>
5.1	IMPERFEIÇÕES DA ESTRUTURA.....	38
5.2	ANÁLISE GLOBAL.....	39
5.3	VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS ELEMENTOS METÁLICOS.....	40
5.3.1	CLASSIFICAÇÃO DAS SECÇÕES TRANSVERSAIS.....	40
5.3.2	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (N).....	42
5.3.3	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (N).....	43

5.3.4	RESISTÊNCIA AO MOMENTO FLETOR (M) .....	43
5.3.5	RESISTÊNCIA AO ESFORÇO TRANSVERSO (V).....	44
5.3.6	RESISTÊNCIA À TORÇÃO (T).....	44
5.3.7	RESISTÊNCIA À TORÇÃO COM ESFORÇO TRANSVERSO (T+V).....	47
5.3.8	RESISTÊNCIA À FLEXÃO COM ESFORÇO TRANSVERSO (V+M) .....	47
5.3.9	RESISTÊNCIA À FLEXÃO COMPOSTA (N+M).....	48
5.3.10	RESISTÊNCIA À FLEXÃO COMPOSTA COM ESFORÇO TRANSVERSO (N+V+M) .....	50
5.3.11	RESISTÊNCIA À FLEXÃO DESVIADA COM ESFORÇO AXIAL (N+M <sub>Y</sub> +M <sub>Z</sub> ). 50	
5.3.12	RESISTÊNCIA À ENCURVADURA DE ELEMENTOS UNIFORMES COMPRIMIDOS (N).....	51
5.3.13	RESISTÊNCIA À ENCURVADURA PARA ELEMENTOS UNIFORMES À FLEXÃO (M) .....	54
5.3.14	RESISTÊNCIA À ENCURVADURA DE ELEMENTOS UNIFORMES EM FLEXÃO COMPOSTA COM COMPRESSÃO (N+M).....	56
5.4	VERIFICAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES .....	58
5.4.1	DEFORMADA VERTICAL .....	58
5.4.2	DEFORMADA HORIZONTAL.....	59
5.5	VERIFICAÇÃO DO CRITÉRIO DE CONFORTO DEVIDO À AÇÃO DE PEÕES (ANÁLISE DINÂMICA) .....	60
5.5.1	CLASSIFICAÇÃO DA CLASSE DO PASSADIÇO.....	61
5.5.2	COEFICIENTES DE COMPORTAMENTO E DE AMORTECIMENTO .....	61
5.5.3	CLASSIFICAÇÃO DAS FREQUÊNCIAS PRÓPRIAS DA ESTRUTURA.....	61
5.5.4	AÇÕES .....	62
5.6	VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES .....	64
5.6.1	LIGAÇÕES APARAFUSADAS .....	64
5.6.2	LIGAÇÕES SOLDADAS .....	68
5.6.3	JUNTAS SOLDADAS DE PERFIS TUBULARES .....	69
5.7	VERIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO .....	73
5.7.1	ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO.....	73
5.7.2	SAPATAS.....	74
<b>6</b>	<b>PRÉ-DIMENSIONAMENTO .....</b>	<b>77</b>
6.1	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS DOS PAINÉIS VERTICAIS E HORIZONTAIS DA ESTRUTURA DA PONTE.....	78

6.2	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS TORRES .....	80
6.3	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS DA ESCADA .....	81
6.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	82
<b>7</b>	<b>ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO.....</b>	<b>83</b>
7.1	IMPERFEIÇÕES GEOMETRICAS .....	83
7.2	ANÁLISE GLOBAL .....	85
7.3	VERIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS.....	85
7.3.1	VERIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS .....	85
7.3.2	VERIFICAÇÃO DOS PERFIS ADOTADOS NO MODELO FINAL.....	87
7.3.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
7.4	VERIFICAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES.....	94
7.4.1	DEFORMAÇÃO LOCAL .....	94
7.4.2	DEFORMAÇÃO GLOBAL .....	95
7.5	VERIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DEVIDO À AÇÃO DE PEÕES .....	96
7.5.1	CLASSIFICAÇÃO DO RISCO DE RESSONÂNCIA.....	96
7.5.2	CLASSIFICAÇÃO DO PASSADIÇO E RÁCIO DE AMORTECIMENTO CRÍTICO.....	97
7.5.3	CASOS DE CARGA .....	97
7.5.4	VALIDAÇÃO DA FUNÇÃO APLICADA NO MODELO .....	98
7.5.5	RESULTADOS.....	98
7.5.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	100
7.6	VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES.....	101
7.6.1	LIGAÇÕES APARAFUSADAS EM PERFIS DA SÉRIE SHS COM CHAPA DE TOPO .....	101
7.6.2	LIGAÇÕES COM PERFIS IPE180 .....	105
7.6.3	LIGAÇÃO TIPO BASES DAS COLUNAS AOS PLINTOS DE BETÃO ARMADO .....	108
7.6.4	LIGAÇÕES SOLDADAS TIPO KT, K E T.....	109
7.7	VERIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO.....	112
7.7.1	PLINTOS.....	112
7.7.2	PAREDES DE BETÃO.....	113
7.7.3	SAPATAS.....	114
7.8	OUTROS ELEMENTOS ESTRUTURAIIS.....	116

7.8.1	REVESTIMENTO DOS ALÇADOS EM VIDRO LAMINADO .....	116
7.8.2	JUNTAS DE LIGAÇÃO ENTRE EDIFÍCIOS.....	116
7.8.3	PAVIMENTO METÁLICO DO PISO .....	116
7.8.4	CHAPAS METÁLICAS DO REVESTIMENTO DA COBERTURA .....	116
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>119</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>121</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>125</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – LOCALIZAÇÃO E VISTA DA ENTRADA DO HOSPITAL DAS FORÇAS ARMADAS NO LUMIAR EM LISBOA [3].	1
FIGURA 1.2 – IMPLANTAÇÃO DO PASSADIÇO METÁLICO – LIGAÇÃO DOS EDIFÍCIOS H01 E A01 [4].	2
FIGURA 1.3 – ALÇADO NORTE DA ESTRUTURA DO PASSADIÇO METÁLICO [4].	2
FIGURA 1.4 – PLANTA DO PASSADIÇO E PORMENOR DA JUNTA DE DILATAÇÃO [4].	3
FIGURA 1.5 – PORMENORES DE LIGAÇÃO DOS RUFOS LATERAIS E DA COBERTURA [4].	3
FIGURA 1.6 – ALÇADOS DO PROJETO DE ARQUITETURA [4].	3
FIGURA 1.7 – CORTE E LEGENDA COM A DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS SECUNDÁRIOS DA ESTRUTURA [4].	4
FIGURA 1.8 – LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS S1 E S2.	5
FIGURA 1.9 – CORTE GEOLÓGICO [5].	5
FIGURA 3.1 – COEFICIENTE DE FORÇA $C_{F,x}$ PARA TABULEIROS DE PONTES [13].	17
FIGURA 3.2 – AÇÕES DO VENTO - DIREÇÃO X+.	18
FIGURA 3.3 - AÇÕES DO VENTO - DIREÇÃO X-.	18
FIGURA 3.4 - AÇÕES DO VENTO - DIREÇÃO Y+.	18
FIGURA 3.5 - AÇÕES DO VENTO - DIREÇÃO Y-.	18
FIGURA 3.6 - AÇÕES DO VENTO - DIREÇÃO Z-.	19
FIGURA 3.7 – COEFICIENTE DE FORÇA $C_{F,0}$ . [13, SEC. 7.6(1)].	20
FIGURA 3.8 – COEFICIENTE DE EFEITOS DE EXTREMIDADE $\Psi_\lambda$ EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE CHEIOS $\Phi$ E DA ESBELTEZA $\lambda$ (QUADRO 3.6) [13, SEC. 7.13(2)].	20
FIGURA 3.9 – PRESSÕES DINÂMICAS DE PICO NOS ALÇADOS DAS TORRES.	21
FIGURA 3.10 – MAPA ISOTÉRMICO - TEMPERATURA MÁXIMA DO AR À SOMBRA.	22
FIGURA 3.11 - MAPA ISOTÉRMICO - TEMPERATURA MÍNIMA DO AR À SOMBRA.	22
FIGURA 3.12 – ZONAMENTO DO TERRITÓRIO - SISMOS TIPO 1 E 2 [16, SEC. ANEXO NACIONAL NA].	24
FIGURA 3.13 – ESPECTRO DE CÁLCULO ELÁSTICO - SISMO TIPO 1.	29
FIGURA 3.14 – ESPECTRO DE CÁLCULO ELÁSTICO - SISMO TIPO 2.	30
FIGURA 5.1 – COEFICIENTES PARCIAIS DE SEGURANÇA PARA AÇÕES E MATERIAIS [20].	37
FIGURA 5.2 – IMPERFEIÇÕES GLOBAIS EQUIVALENTES - INCLINAÇÃO INICIAL DAS COLUNAS.	38
FIGURA 5.3 – SUBSTITUIÇÃO DAS IMPERFEIÇÕES INICIAIS POR FORÇAS EQUIVALENTES.	39
FIGURA 5.4 – CLASSE DAS SECÇÕES [24].	41

FIGURA 5.5 – VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES À TRAÇÃO. ....	42
FIGURA 5.6 - VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES À COMPRESSÃO.....	43
FIGURA 5.7 - VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES À FLEXÃO. ....	43
FIGURA 5.8 - VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES AO ESFORÇO TRANSVERSO. ....	44
FIGURA 5.9 – SEÇÃO SUBMETIDA A TORÇÃO UNIFORME E NÃO UNIFORME [24, SEC. 3.5.1]..	45
FIGURA 5.10 – DEFORMAÇÕES E TENSÕES DEVIDAS À DEFORMAÇÃO DOS BANZOS.....	46
FIGURA 5.11 - VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES À TORÇÃO COM ESFORÇO TRANSVERSO. ....	47
FIGURA 5.12 - VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES À FLEXÃO COM ESFORÇO TRANSVERSO. ....	47
FIGURA 5.13 - FLUXOGRAMA PARA A VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES À FLEXÃO COMPOSTA. ....	48
FIGURA 5.14 - VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À ENCURVADURA DE ELEMENTOS UNIFORMES COMPRIMIDOS.....	51
FIGURA 5.15 - VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À ENCURVADURA DE ELEMENTOS UNIFORMES EM FLEXÃO [6], [25], [26].....	54
FIGURA 5.16 – DESLOCAMENTOS VERTICAIS A CONSIDERAR [6, SEC. ANEXO NACIONAL NA]. ....	59
FIGURA 5.17 – METODOLOGIA PARA VERIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE CONFORTO [32].....	60
FIGURA 5.18 – CRITÉRIOS DE CONFORTO - ACELERAÇÕES PARA VIBRAÇÕES VERTICAIS (QUADRO À ESQUERDA) E PARA AÇÕES HORIZONTAIS (QUADRO À DIREITA) [32]. ....	61
FIGURA 5.19 –FREQUÊNCIAS VS “RANGES” [32]. ....	62
FIGURA 5.20 – VALORES DE $\Psi$ PARA VIBRAÇÕES VERTICAIS À ESQUERDA E À DIREITA PARA VIBRAÇÕES LATERAIS [32].....	63
FIGURA 5.21 – VALORES DE $\Psi$ PARA VIBRAÇÕES VERTICAIS CONSIDERADOS À ESQUERDA E À DIREITA PARA VIBRAÇÕES LATERAIS [32]. ....	64
FIGURA 5.22 – EXCENTRICIDADES DAS JUNTAS [8]. ....	69
FIGURA 5.23 – JUNTA KT [8].....	71
FIGURA 5.24 – MODELOS DISCRETOS DE ESCORAS E TIRANTES [1]. ....	75
FIGURA 6.1 - TRELIÇA DO PASSADIÇO TIPO “WARREN TRUSS”. ....	77
FIGURA 6.2 –TRELIÇA DA CONSOLA DO PASSADIÇO NA TORRE 2 DO TIPO “CULMANN TRUSS”. ....	78
FIGURA 6.3 – CORTE TRANSVERSAL DA TRELIÇA - AÇÕES. ....	78
FIGURA 6.4 – MODELO DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DA TRELIÇA TIPO “WARREN” [37].....	79
FIGURA 6.5 – PÓRTICO TRANSVERSAL. ....	80
FIGURA 7.1 – FORÇAS HORIZONTAIS EQUIVALENTES NA DIREÇÃO Y (PP E RCP). ....	84
FIGURA 7.2 – RÁCIOS DAS BARRAS [38].....	85

FIGURA 7.3 – RÁCIO DAS BARRAS DAS CORDAS DA PONTE E DAS TORRES [38].....	86
FIGURA 7.4 – RÁCIO DAS BARRAS DA DIAGONAIS DA PONTE E DAS TORRES - TRELIÇAS EXTERIORES [38]. .....	86
FIGURA 7.5 - RÁCIO DAS DIAGONAIS E PRUMOS - PAINEL HORIZONTAL INFERIR DA PONTE [38]. .....	86
FIGURA 7.6 - RÁCIO DAS LONGARINAS DE APOIO DOS DEGRAUS DA ESCADA [38]. .....	87
FIGURA 7.7 – IDENTIFICAÇÃO DA BARRA Nº272 [38].....	88
FIGURA 7.8 – IDENTIFICAÇÃO DA BARRA Nº62 [38].....	89
FIGURA 7.9 – IDENTIFICAÇÃO DA BARRA Nº40 (SHS 140X5 MAIS SOLICITADO) [38].....	90
FIGURA 7.10 – LOCALIZAÇÃO DA BARRA Nº164 [38].....	91
FIGURA 7.11 LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DO ELEMENTO Nº194 (IPE 180 MAIS SOLICITADOS) [38]. .....	92
FIGURA 7.12 – MODELO FINAL COM INDICAÇÃO DOS PERFIS ADOTADOS [38]. .....	93
FIGURA 7.13 – RÁCIOS DE TODAS AS BARRAS DA ESTRUTURA [38]. .....	94
FIGURA 7.14 – LOCALIZAÇÃO DO NÓ 112. ....	98
FIGURA 7.15 - ACELERAÇÃO NO NÓ 112 PARA A FREQUÊNCIA DE 3.02 HZ. ....	98
FIGURA 7.16 - ACELERAÇÃO NO NÓ 112 PARA A FREQUÊNCIA DE 6.04 HZ. ....	99
FIGURA 7.17 - ACELERAÇÃO NO NÓ 112 PARA A FREQUÊNCIA DE 3.29 HZ. ....	99
FIGURA 7.18 –ACELERAÇÃO NO NÓ 112 PARA A FREQUÊNCIA DE 6.58 HZ. ....	99
FIGURA 7.19 –ACELERAÇÃO NO NÓ 112 PARA A FREQUÊNCIA 2.29 HZ.....	100
FIGURA 7.20 – NÓS 220 NA PONTE E 31 NA CONSOLA.....	100
FIGURA 7.21 - ACELERAÇÕES NOS NÓS 31 “AMARELO” E 220 “LARANJA” PARA A FREQUÊNCIA 4.58 HZ.....	100
FIGURA 7.22 – LOCALIZAÇÃO DA LIGAÇÃO DO NÓ 97. ....	102
FIGURA 7.23 – TENSÕES NA LIGAÇÃO DO NÓ Nº97 [40]. .....	103
FIGURA 7.24 – LOCALIZAÇÃO DA LIGAÇÃO DO NÓ 13. ....	103
FIGURA 7.25 – LOCALIZAÇÃO DA LIGAÇÃO DO NÓ 24. ....	104
FIGURA 7.26 – LOCALIZAÇÃO DA LIGAÇÃO DO NÓ 25. ....	105
FIGURA 7.27 – TENSÕES NA LIGAÇÃO ENTRE IPE’S [40].....	106
FIGURA 7.28 – LIGAÇÃO APARAFUSADA ENTRE PERFIS IPE180 – TIPO “T”. .....	106
FIGURA 7.29 – LIGAÇÃO DOS IPE’S 180 AO PILAR [40]. .....	107
FIGURA 7.30 – LIGAÇÃO APARAFUSADA DAS DIAGONAIS A UM MONTANTE. ....	107
FIGURA 7.31 – LIGAÇÃO IPE180 – SHS250X8 [40]. .....	108
FIGURA 7.32 - NÓ DE LIGAÇÃO COLUNA-PLINTO. ....	108
FIGURA 7.33 – LIGAÇÃO COLUNA-PLINTO [40].....	109
FIGURA 7.34 – LIGAÇÕES MAIS SOLICITADAS DO TIPO K.....	109
FIGURA 7.35 – LIGAÇÃO MAIS SOLICITADA DO TIPO KT .....	109

FIGURA 7.36 – LIGAÇÃO TIPO K - CORDA SHS 250x8 + DIAGONAIS SHS150x6.3 [38]. ....	110
FIGURA 7.37 – LIGAÇÃO TIPO K - CORDA SHS250x8 + DIAGONAIS SHS140x5 [38]. ....	110
FIGURA 7.38 – LIGAÇÃO TIPO KT - DIAGONAIS E PRUMO SHS120x5 + CORDA SHS250x8 [38]. .....	111
FIGURA 7.39 – LIGAÇÃO DO NÓ 2 [40]. ....	112
FIGURA 7.40 – AÇÕES NA PAREDE P2 - AÇÕES [43]. ....	114
FIGURA 7.41 – ESFORÇOS E REAÇÕES NA PAREDE P2 [43]. ....	114

# ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 2.1 – VALORES NOMINAIS DAS TENSÕES DE CEDÊNCIA $F_y$ E ÚLTIMA À TRAÇÃO $F_u$ - SECÇÕES TUBULARES LAMINADAS A QUENTE [6].	7
QUADRO 2.2 - VALORES NOMINAIS DAS TENSÕES DE CEDÊNCIA $F_y$ E ÚLTIMA À TRAÇÃO $F_u$ - AÇOS ESTRUTURAIS LAMINADOS A QUENTE [6].	7
QUADRO 2.3 – VALORES NOMINAIS DAS TENSÕES DE CEDÊNCIA $F_{yB}$ E DE ROTURA À TRAÇÃO $F_{uB}$ - PARAFUSOS [8].	8
QUADRO 2.4 – VALORES CARACTERÍSTICOS E DE CÁLCULO DA TENSÃO DE CEDÊNCIA À TRAÇÃO E EXTENSÕES [10].	8
QUADRO 2.5 – CARACTERÍSTICAS DA RESISTÊNCIA E DEFORMAÇÃO DO BETÃO [9].	8
QUADRO 3.1 – PESO VOLÚMICO DOS MATERIAIS [11].	11
QUADRO 3.2 – VALORES DAS RESTANTES CARGAS PERMANENTES (RCP)	12
QUADRO 3.3 – AÇÕES. [12, SEC. 5.3].	13
QUADRO 3.4 – VALOR BÁSICO DA VELOCIDADE DO VENTO [13].	14
QUADRO 3.5 – CATEGORIA DE TERRENO E RESPECTIVOS PARÂMETROS [13, SEC. ANEXO NACIONAL NA].	14
QUADRO 3.6 - ESBELTEZA EFETIVA $\lambda$ [13, SEC. ANEXO NACIONAL NA]	20
QUADRO 3.7 – AÇÃO DO VENTO.	21
QUADRO 3.8 – VARIAÇÃO DIFERENCIAL DE TEMPERATURA.	23
QUADRO 3.9 – TEMPERATURAS.	24
QUADRO 3.10 – AÇÃO SÍSMICA EM LISBOA EM FUNÇÃO DO ZONAMENTO SÍSMICO [16, SEC. ANEXO NACIONAL NA].	25
QUADRO 3.11 – TIPOS DE TERRENO [16].	26
QUADRO 3.12 – PARÂMETROS DO ESPECTRO DE RESPOSTA ELÁSTICO - AÇÃO SÍSMICA TIPO 1 [16, SEC. ANEXO NACIONAL NA].	28
QUADRO 3.13 – PARÂMETROS DO ESPECTRO DE RESPOSTA ELÁSTICO - AÇÃO SÍSMICA TIPO 2 [16, SEC. ANEXO NACIONAL NA].	28
QUADRO 3.14 – PARÂMETROS DOS ESPECTROS DE RESPOSTA ELÁSTICOS VERTICAIS [16, SEC. ANEXO NACIONAL NA].	28
QUADRO 3.15 – PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DOS SISMOS.	29
QUADRO 3.16 – SISMOS CONSIDERADOS NO MODELO.	31
QUADRO 3.17 – FREQUÊNCIAS MÍNIMAS DE DISPENSA DA ANÁLISE DINÂMICA [19].	32
QUADRO 4.1 – VALORES RECOMENDADOS DE $\Psi$ EM PONTES [19, SEC. ANNEX A2-TABLE A2.2].	33
QUADRO 5.1 - LIMITES MÁXIMOS DAS RELAÇÕES LARGURA-ESPESSURA PARA COMPONENTES INTERNOS COMPRIMIDOS.	41

QUADRO 5.2 - LIMITES MÁXIMOS DAS RELAÇÕES LARGURA-ESPESSURA PARA COMPONENTES DE BANZOS EM CONSOLA COMPRIMIDOS.....	42
QUADRO 5.3 - TENSÕES TANGENCIAIS E CONSTANTE DE TORÇÃO EM SECÇÕES CORRENTES [24].....	46
QUADRO 5.4 - FATORES DE IMPERFEIÇÃO PARA CURVAS DE ENCURVADURA [6, SEC. 6.3.1.1]. .....	52
QUADRO 5.5 – ESCOLHA DA CURVA DE ENCURVADURA EM FUNÇÃO DA SECÇÃO TRANSVERSAL [6, SEC. 6.3.1.1].....	53
QUADRO 5.6 – CURVAS DE ENCURVADURA LATERAL PARA SECÇÕES TRANSVERSAIS [4]. ...	55
QUADRO 5.7 – FATORES DE IMPERFEIÇÃO PARA CURVAS DE ENCURVADURA LATERAL [4].	55
QUADRO 5.8 – FATORES DE INTERAÇÃO $K_T$ PARA ELEMENTOS NÃO SUSCETÍVEIS À DEFORMAÇÃO POR TORÇÃO [6, SEC. ANEXO B].....	57
QUADRO 5.9 - FATORES DE INTERAÇÃO $K_T$ PARA ELEMENTOS SUSCETÍVEIS À DEFORMAÇÃO POR TORÇÃO [6, SEC. ANEXO B].....	57
QUADRO 5.10 – COEFICIENTES DE MOMENTO UNIFORME EQUIVALENTE DOS QUADROS 5.8 E 5.9[6, SEC. ANEXO B].	58
QUADRO 5.11 – VALORES RECOMENDADOS PARA LIMITES DOS DESLOCAMENTOS VERTICAIS [6, SEC. ANEXO NACIONAL NA].....	59
QUADRO 5.12 – LIMITES RECOMENDADOS PARA DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS. ....	59
QUADRO 5.13 – ACELERAÇÕES MÁXIMAS PARA VERIFICAÇÃO DO CRITÉRIO DE CONFORTO [19].....	60
QUADRO 5.14 – CLASSIFICAÇÃO DO PASSADIÇO SEGUNDO O MÉTODO “SÉTRA” [32].....	61
QUADRO 5.15 – DENSIDADE DE PEÕES POR $m^2$ [32]. ....	62
QUADRO 5.16 - CASOS CONSIDERADOS SEGUNDO A CLASSE E O RISCO DE RESSONÂNCIA [32]. .....	62
QUADRO 5.17 – RÁCIO DE AMORTECIMENTO CRÍTICO [32]. ....	62
QUADRO 5.18 – CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDA SINUSOIDAL - CASO 1. ....	63
QUADRO 5.19 – CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDA SINUSOIDAL - CASO 2. ....	63
QUADRO 5.20 – CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDA SINUSOIDAL PARA CLASSE I - CASO 3. .....	64
QUADRO 5.21 – CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDA SINUSOIDAL PARA CLASSE II - CASO 3. .....	64
QUADRO 5.22 - CATEGORIAS DE LIGAÇÕES APARAFUSADAS [8]. ....	65
QUADRO 5.23 – VALORES DE $K_S$ [8].....	68
QUADRO 5.24 – CLASSIFICAÇÃO ADOTADA PARA AS SUPERFÍCIES DE ATRITO [34].....	68
QUADRO 5.25 – FATOR DE CORRELAÇÃO $B_W$ PARA SOLDADURAS DE ÂNGULO [8, SEC. 4]. ....	69

QUADRO 5.26 – DOMÍNIO DE VALIDADE DAS JUNTAS SOLDADAS ENTRE DIAGONAIS DO TIPO CHS E RHS E CORDAS RHS [8].....	70
QUADRO 5.27 – CONDIÇÕES SUPLEMENTARES PARA A UTILIZAÇÃO DO QUADRO 5.29 [8]... 70	
QUADRO 5.28 – REFORÇO COM CHAPAS DE BANZO DE MODO A IMPEDIR FENÓMENOS DE ROTURAS EM LIGAÇÕES [8].....	71
QUADRO 5.29 – VALORES DE CÁLCULO DO ESFORÇO NORMAL RESISTENTE DE JUNTAS SOLDADAS EM PERFIS TUBULARES COM SECÇÃO QUADRADA OU CIRCULAR [8]. ....	72
QUADRO 5.30 – COEFICIENTES “C”.....	73
QUADRO 5.31 - COEFICIENTES PARCIAIS - AÇÕES ( $\Gamma_F$ ) .....	75
QUADRO 5.32 - COEFICIENTES PARCIAIS - PARÂMETROS DO SOLO ( $\Gamma_M$ ) .....	76
QUADRO 5.33 - COEFICIENTES PARCIAIS - CAPACIDADES RESISTENTES ( $\Gamma_R$ ) DAS FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS.....	76
QUADRO 6.1 – AÇÕES NA TRELIÇA DA PONTE.....	78
QUADRO 6.2 – ESFORÇOS NOS CORDÕES MAIS SOLICITADOS. ....	80
QUADRO 6.3 - ESFORÇOS NAS DIAGONAIS MAIS SOLICITADAS DOS PAINÉIS HORIZONTAIS E VERTICAIS.....	80
QUADRO 6.4 – PERFIS ADOTADOS.....	80
QUADRO 6.5 – AÇÕES - TORRES.....	81
QUADRO 6.6 – ESFORÇO NOS CORDÕES DAS COLUNAS.....	81
QUADRO 6.7 - ESFORÇOS CONDICIONANTES NOS CORDÕES DAS COLUNAS.....	81
QUADRO 6.8 - ESFORÇO NA DIAGONAL MAIS SOLICITADA. ....	81
QUADRO 6.9 – AÇÕES. ....	82
QUADRO 6.10 – DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS DA ESCADA.....	82
QUADRO 7.1 – BARRAS MAIS SOLICITADAS - RÁCIOS.....	84
QUADRO 7.2 - BARRAS MENOS SOLICITADAS - RÁCIOS. ....	84
QUADRO 7.3 – CÁLCULO DO FATOR CRÍTICO ( $A_{CR}$ ).....	85
QUADRO 7.4 – COMPARAÇÃO DOS RÁCIOS DOS ESFORÇOS NA SECÇÃO DA BARRA Nº272 - FOLHA DE CÁLCULO/“ROBOT STRUCTURAL”.....	88
QUADRO 7.5 – COMPARAÇÃO DOS RÁCIOS DO DIMENSIONAMENTO À ENCURVADURA DA BARRA Nº272 - FOLHA DE CÁLCULO/“ROBOT STRUCTURAL”. ....	88
QUADRO 7.6 - COMPARAÇÃO DOS RÁCIOS DOS ESFORÇOS NA SECÇÃO NA BARRA Nº62 - FOLHA DE CÁLCULO/“ROBOT STRUCTURAL”.....	89
QUADRO 7.7 - COMPARAÇÃO DOS RÁCIOS DO DIMENSIONAMENTO À ENCURVADURA DA BARRA Nº62 - FOLHA DE CÁLCULO/“ROBOT STRUCTURAL”. ....	90
QUADRO 7.8 – COMPARAÇÃO DOS RÁCIOS DOS ESFORÇOS NA SECÇÃO NA BARRA Nº40 - FOLHA DE CÁLCULO/“ROBOT STRUCTURAL”.....	90

QUADRO 7.9 - COMPARAÇÃO DOS RÁCIOS DOS ESFORÇOS NA SECÇÃO NA BARRA Nº164 - FOLHA DE CÁLCULO/“ROBOT STRUCTURAL”.....	91
QUADRO 7.10 – COMPARAÇÃO DOS RÁCIOS DE DIMENSIONAMENTO À ENCURVADURA NA BARRA Nº164 - FOLHA DE CÁLCULO/“ROBOT STRUCTURAL”.....	92
QUADRO 7.11 - COMPARAÇÃO DOS RÁCIOS DOS ESFORÇOS NA SECÇÃO NA BARRA Nº194 - FOLHA DE CÁLCULO/“ROBOT STRUCTURAL”.....	93
QUADRO 7.12 – COMPARAÇÃO DOS RÁCIOS DE DIMENSIONAMENTO À ENCURVADURA NA BARRA Nº164 - FOLHA DE CÁLCULO/“ROBOT STRUCTURAL”.....	93
QUADRO 7.13 – VERIFICAÇÃO DAS FLECHAS.....	94
QUADRO 7.14 – VERIFICAÇÃO DA FLECHA NA BARRA Nº164.....	95
QUADRO 7.15 – FLECHAS MÁXIMAS NA PONTE.....	95
QUADRO 7.16 - FLECHAS MÁXIMAS NAS TORRES.....	96
QUADRO 7.17 – MODOS DE VIBRAÇÃO EXCLUINDO A MASSA DOS PEÕES.....	96
QUADRO 7.18 - MODOS DE VIBRAÇÃO INCLUINDO A MASSA DOS PEÕES.....	97
QUADRO 7.19 – CÁLCULO DAS FORÇAS $F_0$ [32].....	97
QUADRO 7.20 – RESULTADOS DAS FREQUÊNCIAS VERSUS ACELERAÇÕES.....	101
QUADRO 7.21 – VERIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO DO NÓ 97.....	102
QUADRO 7.22 - VERIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO DO NÓ 13.....	104
QUADRO 7.23 - VERIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO DO NÓ 24.....	104
QUADRO 7.24 - VERIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO 25.....	105
QUADRO 7.25 – VERIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO APARAFUSADA.....	108
QUADRO 7.26 – CONDIÇÕES DE VALIDADE NAS LIGAÇÕES TIPO K.....	110
QUADRO 7.27 – OUTRAS CONDIÇÕES DE VERIFICAÇÃO (QUADRO 5.29).....	110
QUADRO 7.28 – CONDIÇÕES DE VALIDADE DAS LIGAÇÕES TIPO K.....	111
QUADRO 7.29 – OUTRAS CONDIÇÕES A RESPEITAR.....	111
QUADRO 7.30 – CONDIÇÕES DE VALIDADE DAS LIGAÇÕES TIPO KT.....	111
QUADRO 7.31 – ESFORÇOS NOS PLINTOS P1.....	113
QUADRO 7.32 – ESFORÇOS NAS BASES DOS PILARES DA TORRE 2.....	113

# LISTA DE SÍMBOLOS

## Siglas gerais:

<i>EC'X'-'Y'</i>	<i>Eurocódigo 'X' – parte 'Y'</i>
<i>IPE</i>	<i>Perfis metálicos de secção em I</i>
<i>PP</i>	<i>Peso próprio</i>
<i>SC</i>	<i>Sobrecarga</i>
<i>SHS</i>	<i>Perfis metálicos de secção quadrada</i>
<i>RCP</i>	<i>Restante carga permanente</i>
<i>TFM</i>	<i>Trabalho final de mestrado</i>
<i>W</i>	<i>Ação do Vento</i>
$\Delta T$	<i>Variação de temperatura</i>

## Siglas utilizadas nos Capítulos 1, 2, 3 e 4:

$a_g$	<i>Valor de cálculo da aceleração à superfície de um terreno do tipo A (m/s<sup>2</sup>)</i>
$a_{gr}$	<i>Valor de referência da aceleração máxima à superfície de um terreno do tipo A (m/s<sup>2</sup>)</i>
$a_{vg}$	<i>Valor de cálculo da aceleração à superfície do terreno na direção vertical (m/s<sup>2</sup>);</i>
$A_{Ed}$	<i>Valor de cálculo da ação sísmica</i>
$A_{Ek}$	<i>Valor característicos da ação sísmica</i>
$A_{ref,x}$	<i>Área de referência na direção X</i>
$c$	<i>Coefficiente de força do vento</i>
$c_{ceason}$	<i>Coefficiente de sazão (valor a adotar de 1 segundo anexo nacional do EC1-1-4)</i>
$c_{dir}$	<i>Coefficiente de direção (valor a adotar de 1 segundo anexo nacional do EC1-1-4)</i>
$c_e(z)$	<i>Coefficiente de exposição.</i>
$c_{f,x}$	<i>Coefficiente de força para tabuleiros de pontes na direção X (perpendicular ao elemento), obtido pela Figura 3.1</i>
$c_s c_d$	<i>Coefficiente estrutural (visto o EC1-1-4 (capítulo 8.4) remeter para a parte de edifícios, e as torres possuírem menos de 15 metros e estrutura em planta regular, admite-se o valor de <math>c_s c_d = 1</math>)</i>
$C_0(z)$	<i>Coefficiente de orografia, valor recomendado de 1 visto a estrutura localizar-se numa zona plana e não se enquadrar no ponto 4.4.3 do EC1-1-4</i>
$C_r(z_{min})$	<i>Cálculo do coeficiente de rugosidade para o valor de <math>z_{min}</math> obtido no Quadro 3.5</i>

$E$	Representa a resultante da combinação dos esforços das várias direções da ação sísmica
$E_{cm}$	Valor do módulo de elasticidade secante do betão
$E_d$	Ação sísmica
$E_{Ed}$	Resultante dos esforços da ação sísmica
$E_{Edx}$	Representa a resultante dos esforços devidos à aplicação da ação sísmica segundo o eixo horizontal X escolhido para a estrutura
$E_{Edy}$	Representa a resultante dos esforços devidos à aplicação da ação sísmica segundo o eixo horizontal ortogonal Y da estrutura
$E_{Edz}$	Representa a resultante dos esforços devidos à aplicação da componente vertical da ação sísmica
$E_{i0}$	Representa os esforços devidos à aplicação da ação sísmica segundo o eixo horizontal X escolhido para a estrutura para o modo de vibração $i$
$E.L.U.$	Estado limite último
$E.L.Ut.$	Estado limite utilização
$E_{n0}$	Representa os esforços devidos à aplicação da ação sísmica segundo o eixo horizontal X escolhido para a estrutura para o modo de vibração $n$
$f_{ck}$	Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias de idade
$f_{cm}$	Valor médio da tensão de rotura do betão à compressão
$f_{ctk}$	Valor característico da tensão de rotura do betão à tração simples
$f_{ctm}$	Valor médio da tensão de rotura do betão à tração simples
$f_{yb}$	Valor de cálculo da tensão de cedência à tração
$f_{yd}$	Valor de cálculo da tensão de cedência à tração
$f_{ub}$	Valor da tensão de rotura à tração dos parafusos
$f_{yk}$	Valor característico da tensão de cedência à tração
$F_w$	Força do vento em resultante (kN)
$F_{w,x}$	Força do vento em X do elemento, perpendicular ao elemento (kN)
$G_{k,j}$	Cargas permanentes;
$I_v(z)$	Turbulência do vento
$k_l$	Coefficiente de turbulência, valor recomendado de 1
$k_r$	Coefficiente de terreno
$q$	Coefficiente de comportamento
$q_{ed}$	Carga atuante
$q_b$	Pressão dinâmica de referência ( $N/m^2$ )
$q_{fk}$	Carga vertical atuante na ação da sobrecarga

$q_{fk}$	<i>Carga horizontal atuante na ação da sobrecarga</i>
$q_p(z)$	<i>Pressão dinâmica de pico (N/m<sup>2</sup>)</i>
$Q_{k,I}$	<i>Ação variável de base</i>
$Q_{k,i}$	<i>Restantes ações variáveis</i>
$S$	<i>Coefficiente do solo</i>
$S_d(T)$	<i>Espectro de cálculo</i>
$S_e(T)$	<i>Espectro de resposta elástica horizontal da aceleração à superfície do terreno</i>
<i>SPT</i>	<i>Ensaio de penetração padrão (“Standard Penetration Test”)</i>
$S_{ve}(T)$	<i>Espectro de resposta elástica vertical da aceleração à superfície do terreno</i>
$T$	<i>Período de vibração de um sistema linear com um grau de liberdade</i>
$T_B$	<i>Limite inferior do período no patamar de aceleração espectral constante</i>
$T_C$	<i>Limite superior do período no patamar de aceleração espectral constante</i>
$T_D$	<i>Valor que define no espectro o início do ramo de deslocamento constante</i>
$T_{e,max}$	<i>Componente da variação uniforme de temperatura máxima (°C)</i>
$T_{e,min}$	<i>Componente da variação uniforme de temperatura mínima (°C)</i>
$T_{max}$	<i>Temperatura máxima do ar à sombra com probabilidade anual de não ser excedida 0.02 (equivalente a um período médio de retorno de 50 anos)(°C)</i>
$T_{min}$	<i>Temperatura mínima do ar à sombra com probabilidade anual de ser excedida 0.02 (equivalente a um período médio de retorno de 50 anos)(°C)</i>
$T_0$	<i>Temperatura inicial do elemento estrutural no momento em que são introduzidos constrangimentos, para o caso em questão vai-se utilizar o valor de 15°C (°C)</i>
$v_b$	<i>Valor de referência da velocidade do vento (m/s)</i>
$v_{b,0}$	<i>Valor de referência básico da velocidade do vento (m/s)</i>
$v_m(z)$	<i>Velocidade média do vento em função da altura (m/s)</i>
$W$	<i>Ação do Vento</i>
$z$	<i>Altura, podendo este valor variar até ao valor máximo da cota da obra em estudo (m)</i>
$z_0$	<i>Obtido no Quadro 3.5 (m)</i>
$z_{0,II}$	<i>Valor do <math>z_0</math> para a categoria de terreno II (<math>z_{0,II} = 0,05</math> m)</i>
$\beta$	<i>Coefficiente correspondente ao limite inferior do espectro de cálculo (<math>\beta = 0.2</math>)</i>
$\beta_{in}$	<i>Relação entre frequências angulares de dois modos de vibração <math>i</math> e <math>n</math>;</i>
$\gamma$	<i>Peso volúmico</i>
$\gamma_c$	<i>Coefficiente parcial relativo ao betão</i>

$\gamma_I$	<i>Coefficiente de importância</i>
$\gamma_{M0}$	<i>Coefficiente parcial de segurança para a resistência de secções transversais de qualquer classe</i>
$\gamma_{M1}$	<i>Coefficiente parcial de segurança para a resistência dos elementos em relação a fenómenos de encurvadura, avaliada através de verificações individuais de cada elemento</i>
$\gamma_{M2}$	<i>Coefficiente parcial de segurança para a resistência à rotura de secções transversais tracionadas em zonas com furos de ligação</i>
$\gamma_{M3}$	<i>Coefficiente parcial de segurança para a resistência ao escorregamento no E.L.U.</i>
$\gamma_{M3,ser}$	<i>Coefficiente parcial de segurança para a resistência ao escorregamento no E.L.Ut.</i>
$\gamma_{M4}$	<i>Coefficiente parcial de segurança para a resistência ao escorregamento de um parafuso injetado</i>
$\gamma_{M5}$	<i>Coefficiente parcial de segurança para a resistência das juntas de perfis tubulares em vigas trianguladas</i>
$\gamma_{M6,ser}$	<i>Coefficiente parcial de segurança para a resistência das cavilhas no E.L.Ut..</i>
$\gamma_{M7}$	<i>Coefficiente parcial de segurança para a resistência de pré-esforço dos parafusos de alta resistência</i>
$\gamma_s$	<i>Coefficiente parcial relativo ao aço das armaduras para betão armado ou de pré-esforço</i>
$\Delta T_{N,con}$	<i>Amplitude máxima das variações negativas (contração) da componente de temperatura uniforme em pontes (°C)</i>
$\Delta T_{N,exp}$	<i>Amplitude máxima das variações positivas (dilatação) da componente de temperatura uniforme em pontes(°C);</i>
$\Delta T_{M,cool}$	<i>Componente linear de variação diferencial negativa de temperatura (face inferior mais quente que a superior) (°C).</i>
$\Delta T_{M,heat}$	<i>Componente linear de variação diferencial positiva de temperatura (face superior mais quente que a inferior) (°C);</i>
$\epsilon_c$	<i>Extensão do betão à compressão</i>
$\epsilon_{c1}$	<i>Extensão do betão à compressão correspondente à tensão máxima <math>f_c</math></i>
$\epsilon_{cu}$	<i>Extensão última do betão à compressão</i>
$\epsilon_{yd}$	<i>Valor da extensão necessário para atingir a cedência</i>
$\zeta$	<i>Coefficiente de amortecimento;</i>
$\eta$	<i>Coefficiente de correção do amortecimento (<math>\eta = \sqrt{10 / (5 + \zeta)} \geq 0,55</math>);</i>
$\xi$	<i>Amortecimento viscoso da estrutura (expresso em percentagem).</i>
$\rho$	<i>Massa volúmica do ar, assume o valor de 1.25 (kg/m<sup>3</sup>)</i>
$\rho_{in}$	<i>Coefficiente de correlação entre os dois os modos de vibração <math>i</math> e <math>n</math>;</i>
$\psi_r$	<i>Coefficiente de redução para secções com cantos arredondados (não existe cantos arredondados, considera-se 1)</i>

$\psi_\lambda$	<i>Coefficiente de efeitos de extremidade para elementos cujas extremidades sejam livremente contornadas pelo vento (ver Quadro 3.6 e Figura 3.8)</i>
$\psi_{0,i}; \psi_{1,i}; \psi_{2,i}$	<i>Coefficientes para a determinação do valor de combinação para a ação variável (Quadro 4.1).</i>
$\omega_i$	<i>Frequências angulares dos modos de vibração i</i>
$\omega_M$	<i>Fator de redução da componente de variação diferencial de temperatura para a combinação com a componente da variação uniforme de temperatura (adotar o valor de 0.8)</i>
$\omega_n$	<i>Frequências angulares dos modos de vibração n</i>
$\omega_N$	<i>Fator de redução da componente de variação uniforme de temperatura para a combinação com a componente da variação diferencial de temperatura (adotar o valor de 0.8)</i>

**Siglas utilizadas nos Capítulos 5, 6, 7 e 8:**

$a$	<i>Relação entre a área da alma e a área bruta de uma secção transversal.</i>
$a_f$	<i>Área de um bazo</i>
$a_w$	<i>Área de uma alma</i>
$A$	<i>Área de uma secção transversal do perfil ou do parafuso</i>
$A_s$	<i>Área da secção resistente do parafuso.</i>
$A_{eff}$	<i>Área efetiva de uma secção transversal</i>
$A_f$	<i>Área de um banzo</i>
$A_{net}$	<i>Área útil de uma secção transversal</i>
$A_y$	<i>Área resistente ao esforço transversal</i>
$A_w$	<i>Área da alma</i>
$b$	<i>Largura da secção transversal;</i>
$B_{p,Rd}$	<i>Valor de cálculo da resistência ao punçoamento da cabeça do parafuso e da porca.</i>
$c$	<i>Toma valores 1 a 2 para secções retangulares (ver bibliografia [1, Sec. 6.2.3])</i>
$C_d$	<i>valor de cálculo correspondente ao valor limite co critério de utilização</i>
$C_1, C_2, C_3$	<i>Constantes que depende da configuração do diagrama de momentos</i>
$d^{(*1)}$	<i>Densidade de peões (Quadro 5.15)</i>
$d^{(*2)}$	<i>Diâmetro nominal do parafuso;</i>
$d_m$	<i>Diâmetro médio do parafuso [2];</i>
$d_0$	<i>Diâmetro do furo</i>
$E$	<i>Módulo de elasticidade</i>

$E_d$	valor de cálculo do efeito das ações, tal como um esforço ou um vetor representando vários esforços
$f$	Frequência própria da estrutura de acordo com o modo de vibração associado à direção da carga.
$F_{cr}$	Valor crítico do carregamento associado à instabilidade elástica num modo global com deslocamentos laterais, determinado com base nos valores de rigidez iniciais
$F_{Ed}$	Valor de cálculo do carregamento da estrutura
$F_{b,Rd}$	Valor de cálculo da resistência ao esmagamento do parafuso;
$F_{p,C}$	Valor do cálculo do pré-esforço do parafuso
FSG	Fator de segurança global
$F_{s,Rd}$	Valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso no Estado Limite Último;
$F_{s,Rd,sev}$	Valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso no Estado Limite Utilização;
$F_{t,Ed}$	Valor de cálculo do esforço de tração por parafuso no Estado Limite Último;
$F_{t,Rd}$	Valor de cálculo da resistência à tração por parafuso;
$f_u$	Valor nominal da tensão de rotura à tração da peça de ligação mais fraca;
$F_{v,Ed}$	Valor de cálculo do esforço transversal por parafuso no Estado Limite Último;
$F_{v,Ed,ser}$	Valor de cálculo do esforço transversal por parafuso no Estado Limite Utilização;
$F_{v,Rd}$	Valor de cálculo da resistência ao esforço transversal por parafuso;
$f_{vw,d}$	Valor de cálculo da resistência ao corte da soldadura;
$F_{w,Ed}$	Valor de cálculo do esforço atuante na soldadura por unidade de comprimento;
$F_{w,Rd}$	Valor de cálculo da resistência da soldadura por unidade de comprimento;
$G$	Módulo de distorção;
$h$	Altura da estrutura em metros
$h_w$	Altura da alma
$H$	Altura do piso
$H_{Ed}$	Valor de cálculo da carga horizontal total, incluindo forças equivalentes
$i_y$	Raio de giração em relação ao eixo z-z
$i_z$	Raio de giração em relação ao eixo z-z
$I$	Momento de inércia no plano de encurvadura considerado
$I_z$	Momento de inércia no plano de encurvadura considerado (z-z)
$I_{fc}$	Momento de Inércia do banzo em relação ao eixo z

$I_t$	Constante de torção
$I_w$	Constante de empenamento
$k$	Coefficiente de encurvadura associado à flexão em torno do eixo Z (este pode tomar valores de 0,5 a 1)
$k_s$	Coefficiente de acordo com o tipo de furo
$K_w$	Coefficiente que traduz o grau de impedimento ao empenamento nas extremidades da viga ou do troço (este pode tomar valores de 0,5 a 1)
$k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$	Fatores de interação (Quadro 5.8 para elementos não suscetíveis à torção e Quadro 5.9 para elementos suscetíveis à torção)
$k_2$	Coefficiente que corresponde ao tipo da cabeça do parafuso
$L_{cr}$	Comprimento de encurvadura no plano de encurvadura considerado
$L_{cr,T}$	Comprimento de encurvadura à torção
$m$	Número de colunas num piso, incluindo apenas aquelas que estão submetidas a um esforço axial $N_{Ed}$ superior ou igual a 50% do valor médio por coluna no plano vertical considerado
$M_{b,rd}$	Valor de cálculo do esforço normal mínimo resistente à encurvadura de um elemento comprimido para o eixo y-y, eixo z-z, torção e flexão-torção;
$M_{cr}$	Valor crítico do esforço normal para o modo de encurvadura elástica considerado, determinado com base nas propriedades da secção transversal bruta
$M_{c,rd}$	Valor de cálculo do momento fletor resistente em relação a um eixo principal de uma secção transversal
$M_{Ed}$	Valor de cálculo do momento fletor atuante
$M_{el,rd}$	Valor de cálculo do momento fletor resistente elástico em relação a um eixo principal de uma secção transversal
$M_{pl,rd}$	Valor de cálculo do momento fletor resistente plástico em relação a um eixo principal de uma secção transversal
$M_{pl,y,rd}$	Valor de cálculo do momento fletor resistente plástico em relação ao eixo y-y
$M_{pl,z,rd}$	Valor de cálculo do momento fletor resistente plástico em relação ao eixo z-z
$M_{N,rd}$	Valor de cálculo do momento fletor resistente reduzido pela interação com o esforço normal
$M_{N,y,rd}$	Valor de cálculo do momento fletor resistente reduzido pela interação com o esforço normal, em relação ao eixo y-y
$M_{N,z,rd}$	Valor de cálculo do momento fletor resistente reduzido pela interação com o esforço normal, em relação ao eixo z-z
$M_{y,Ed}$	Valor de cálculo do momento fletor atuante em relação ao eixo y-y da secção transversal
$M_{z,Ed}$	Valor de cálculo do momento fletor atuante em relação ao eixo z-z da secção transversal
$n$ (*I)	Relação entre valores de cálculo de esforços normais atuante e resistente plástico.

$n$ (*2)	Número de peões a considerar no tabuleiro ( $n = \text{área}^{\text{tabuleiro}} \times d$ );
$n$ (*3)	Número de superfícies de atrito;
$N_{b,rd}$	Valor de cálculo do esforço normal mínimo resistente à encurvadura de um elemento comprimido para o eixo y-y, eixo z-z, torção e flexão-torção;
$N_{c,rd}$	Valor de cálculo do esforço normal resistente de compressão
$N_{cr}$	Valor crítico do esforço normal para o modo de encurvadura elástica considerado, determinado com base nas propriedades da secção transversal bruta;
$N_{cr,T}$	Valor crítico do esforço normal para o modo de encurvadura elástica à torção considerado, determinado com base nas propriedades da secção transversal bruta;
$N_{cr,FT}$	Valor crítico do esforço normal para o modo de encurvadura elástica à flexão-torção considerado, determinado com base nas propriedades da secção transversal bruta;
$N_{Ed}$	Valor de cálculo do esforço normal de tração atuante de cálculo
$N_{pl,rd}$	Valor de cálculo do esforço normal resistente plástico da secção bruta;
$N_{net,rd}$	Valor de cálculo do esforço normal resistente plástico de tração da secção transversal útil
$N_{rk}$	Valores característicos da resistência à compressão;
$N_{t,rd}$	Valor de cálculo do esforço normal resistente de tração
$N_{u,rd}$	Valor de cálculo do esforço normal resistente último da secção útil na zona com furos de ligação
$R_d$	valor de cálculo da resistência correspondente, de acordo com o material, perfil e secção
$t$	Espessura da chapa
$t_f$	Espessura do banzo
$t_w$	Espessura da alma
$T_{Ed}$	Valor de cálculo do momento torsor atuante
$T_{Rd}$	Valor de cálculo do momento torsor resistente
$T_{\tau}$	Momento torsor uniforme de St. Venant
$T_{t,Ed}$	Valor de cálculo do momento torsor uniforme atuante (St. Venant)
$T_{w,Ed}$	Valor de cálculo do momento torsor não uniforme atuante
$V_{c,rd}$	Valor de cálculo do esforço transversal resistente
$V_d$	Valor da ação vertical resultante
$V_{Ed}$	Valor do esforço transversal atuante
$V_k$	Valor da reação vertical resultante para a combinação característica
$V_{pl,rd}$	Valor de cálculo do esforço transversal resistente plástico

$V_{pl,T,rd}$	Valor de cálculo do esforço transversal reduzido pelo momento torsor
$V_{tot,Ed}$	Valor de cálculo da carga vertical total transmitida pelo piso
$W_{eff,min}$	Módulo de flexão mínimo de uma secção transversal efetiva
$W_{el,min}$	Módulo de flexão elástico mínimo de uma secção transversal
$W_{pl}$	Módulo de flexão plástico de uma secção transversal
$W_{pl,y}$	Módulo de flexão plástico da secção transversal em relação ao eixo y-y;
$W_{el,y}$	Módulo de flexão elástico da secção transversal em relação ao eixo y-y;
$W_{eff,y}$	Módulo de flexão da secção transversal efetiva em relação ao eixo y-y.
$y_0$	Distância em y-y do centro de corte ao centro de gravidade da secção bruta;
$z_a$	Distância ponto de aplicação da carga transversal em relação ao centro de gravidade da secção;
$z_g$	Distância do ponto de aplicação das cargas transversais ao centro de corte da secção
$z_j$	Parâmetro que traduz o grau de assimetria da secção, em relação ao eixo y-y, sendo nulo em vigas de secção duplamente simétrica e positivo quando o banzo comprimido for o de maior momento de inércia em torno de z-z
$z_s$	Distância do centro de corte ao centro de gravidade.
$z_0$	Distância em z-z do centro de corte ao centro de gravidade da secção bruta;
$\alpha (*^1)$	Fator de imperfeição (Quadro 5.4) de acordo com a curva de encurvadura (Quadro 5.5)
$a (*^3)$	Espessura nominal efetiva de um cordão de soldadura
$\alpha_v$	Fator do plano de corte no parafuso
$\alpha_{cr}$	Fator pelo qual as ações de cálculo teriam de ser multiplicadas para provocar a instabilidade elástica num modelo global
$\alpha_{LT}$	Fator de imperfeição (Quadro 5.7) de acordo com a curva de encurvadura (Quadro 5.6);
$\beta_w$	Fator de correlação apropriado obtido no Quadro 5.25.
$\delta_{max}$	Flecha no estado final relativamente *a linha reta que une os 2 apoios;
$\delta_0$	Contra flecha da viga no estado não carregado (estado (0));
$\delta_1$	Varição da flecha da viga devida às ações permanentes imediatamente após a sua aplicação (estado (1));
$\delta_2$	Varição da flecha da viga devida à ação variável base associada aos valores de combinação das restantes ações variáveis (estado (2));
$\Delta M_{y,Ed}$ , $\Delta M_{z,Ed}$	Momento devido ao afastamento do eixo baricêntrico y-y e z-z, respetivamente (para perfis de classe 4);
$\varepsilon$	Fator que depende de $f_y$

$\eta$	<i>Coefficiente para calcular a área de corte (valor poderá ser considerado 1 de forma conservativa, ou obtido na secção 5 do EC3-1-5)</i>
$\bar{\lambda}$	<i>Esbelteza normalizada</i>
$\bar{\lambda}_{LT}$	<i>Esbelteza normalizada para encurvadura lateral;</i>
$\bar{\lambda}_{LT,0}$	<i>Comprimento do patamar das curvas de dimensionamento à encurvadura lateral de vigas constituídas por perfis laminados e soldados equivalentes;</i>
$\mu$	<i>Coefficiente de atrito de acordo com as superfícies</i>
$\rho$	<i>Coefficiente de redução para determinar valores de cálculo de momentos fletores resistentes, com ação simultânea de esforço transversal</i>
$\tau_{Ed}$	<i>Valor de cálculo da tensão tangencial na alma</i>
$\tau_{w,Ed}$	<i>Valor de cálculo das tensões devido ao momento torsor não uniforme atuante</i>
$\Phi$	<i>Valor para determinar o coeficiente de redução <math>\chi</math></i>
$\Phi_{LT}$	<i>Valor para determinar o coeficiente de redução <math>\chi</math> ;</i>
$\chi$	<i>Coefficiente de redução associado ao modo de encurvadura considerado</i>
$\chi_{LT}$	<i>Coefficiente de redução associado ao modo de encurvadura considerado;</i>
$\psi$	<i>Coefficiente de minoração das cargas de acordo com a frequência.</i>

*Notas:*

*\*1 – Corresponde ao subcapítulo 5.3*

*\*2 – Corresponde ao subcapítulo 5.5*

*\*3 – Corresponde ao subcapítulo 5.6*

# 1 INTRODUÇÃO

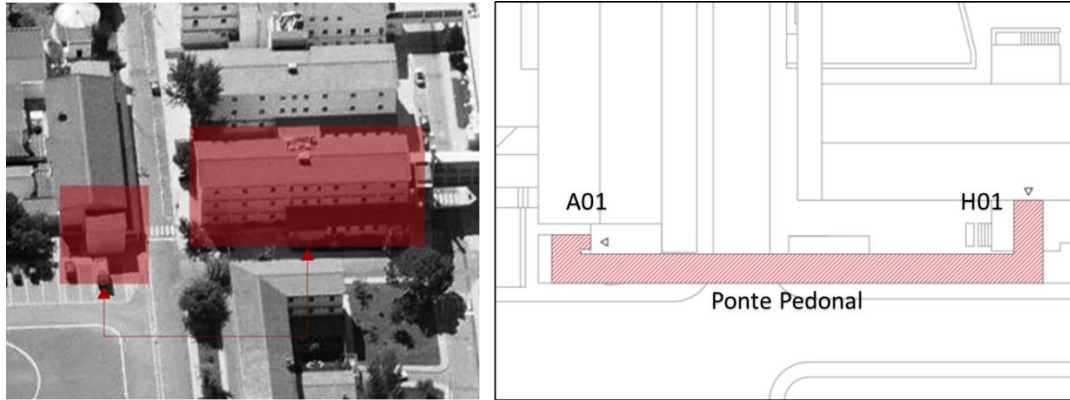
## 1.1 ENQUADRAMENTO

O presente Trabalho Final de Mestrado insere-se no Mestrado em Engenharia Civil – Especialização de Estruturas do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, e tem como tema o “DIMENSIONAMENTO DE UM PASSADIÇO DE LIGAÇÃO ENTRE DOIS EDIFÍCIOS”, a realizar no Hospital das Forças Armadas no Lumiar em Lisboa, mais concretamente na Rua Azinhaga Ulmeiros (Figura 1.1).



**Figura 1.1 – Localização e vista da entrada do Hospital das Forças Armadas no Lumiar em Lisboa [3].**

Esta obra pretende fornecer ao Hospital das Forças Armadas uma ligação aérea entre o novo espaço destinado à direção, Edifício A01, e o reservado a consultas e internamento, Edifício H01, conforme se mostra na Figura 1.2.



**Figura 1.2 – Implantação do Passadiço metálico – Ligação dos Edifícios H01 e A01 [4].**

A estrutura é constituída por uma treliça espacial ligada com continuidade a duas torres, conforme se indica no alçado da Figura 1.3.

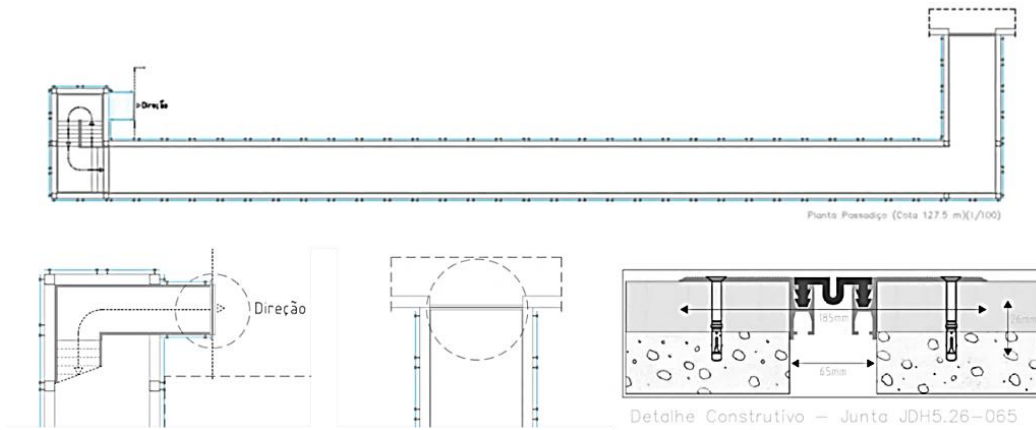


**Figura 1.3 – Alçado norte da estrutura do Passadiço metálico [4].**

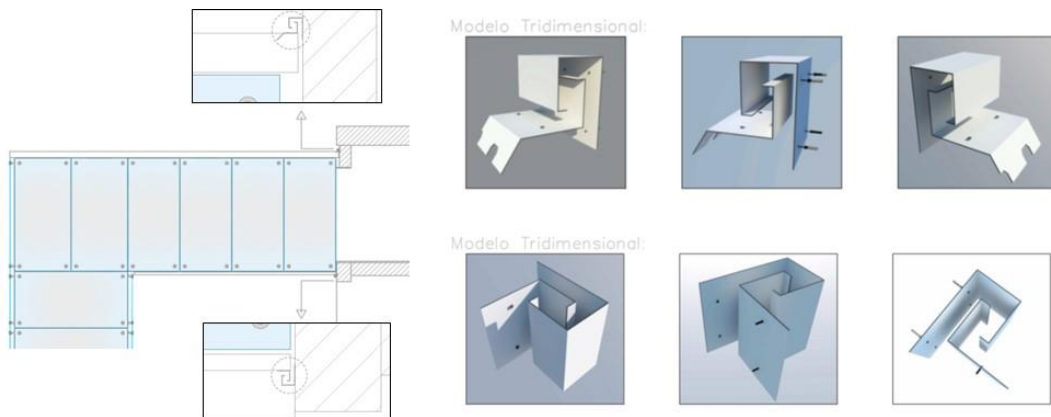
## **1.2 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA E LIMITAÇÕES ESTRUTURAIS**

O tabuleiro do passadiço encontra-se a uma altura de 6,8 metros acima do solo, sendo a ligação aos edifícios H01 e A01 realizada por consolas com vãos de 5,5 e 1,3 metros respetivamente.

A ligação aos edifícios existentes é realizada nos pavimentos por juntas do tipo "Cortartec, Série JDH 5.26-065", e também por um conjunto de rufos em zinco colocados nas zonas laterais e na cobertura, que permitem não só funcionamento independente desta estrutura mas também impedem a entrada das águas das chuvas e do vento (ver Figuras 1.4, 1.5 e 1.6).

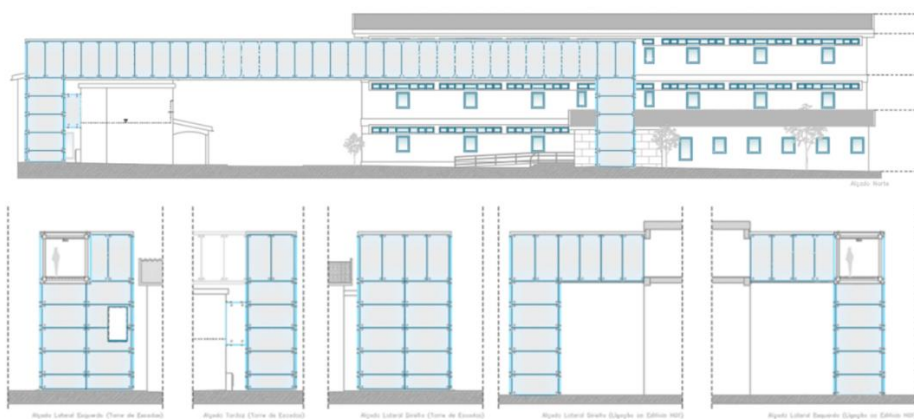


**Figura 1.4 – Planta do Passadiço e pormenor da junta de dilatação [4].**



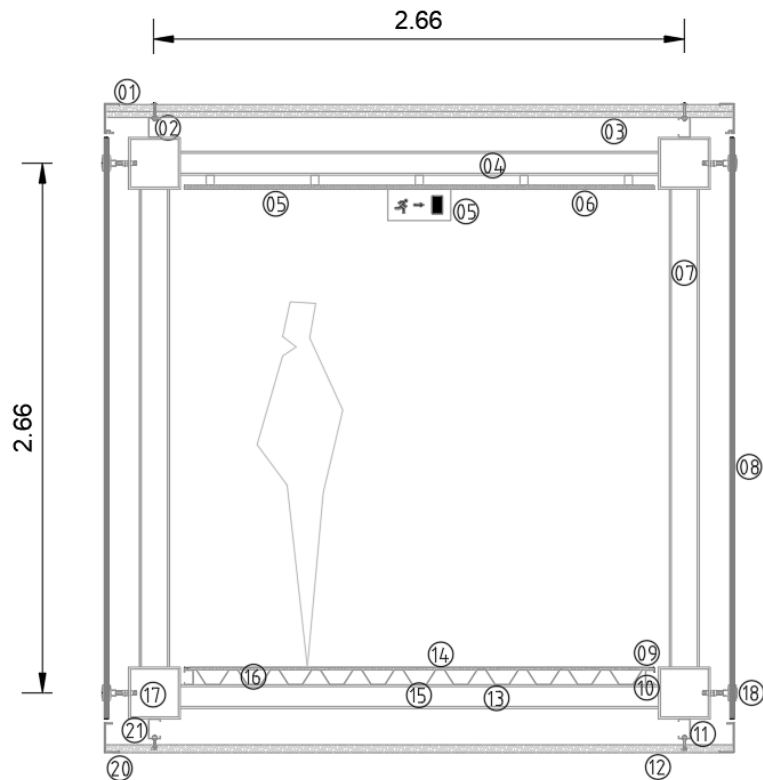
**Figura 1.5 – Pormenores de ligação dos rufos laterais e da cobertura [4].**

Os alçados laterais são revestidos a vidro laminado temperado conforme o projeto de arquitetura (ver Figura 1.6).



**Figura 1.6 – Alçados do projeto de arquitetura [4].**

Na Figura 1.7 indicam-se os elementos secundários que compõem a estrutura da ponte.



**LEGENDA:**

- 01 - Remate Superior "Perfitec" para Painel Sandwich
- 02 - Perfil Metálico de Fixação para Cobertura
- 03 - Painel Sandwich de Cobertura em Poliuretano "Perfitec rooftec 4 1000 - 40mm" c/ Fixação Oculta
- 04 - Fixação Metálica para Teto Falso
- 05 - Teto Falso c/ Perfuração Aleatória em Gesso Cartonado Hidrófugo
- 06 - Iluminação Led de Embutir (Ver Planta de Tetos)
- 07 - Perfil Metálico SHS 140x5
- 08 - Vidro Laminado SGG STADIP 1010.1mm. Temperados SGG SECURIT c/ HST, base SGG PLANICLEAR. Laminados c/ intercalar SENTRYGLAS esp.:1,52mm.
- 09 - Perfil para Pavimento Vinílico em Alumínio Anodizado Mate "Profilitec Stairtec SC30"
- 10 - Perfil metálico U75
- 11 - Parafuso Metálico de Fixação para o Revestimento Inferior
- 12 - Painel Sandwich de Fachada em Poliuretano "Mundiperfil" c/ Fixação Oculta (30mm)
- 13 - Perfil Metálico SHS 120x5
- 14 - Revestimento Vinílico "Forbo Eternal Material 13772 Brushed Aluminium"
- 15 - Painel em chapa colaborante tipo "Perfitec TR650 - 1.2mm.
- 16 - Chapa de OSB Hidrófugo (10mm)
- 17 - Perfil Metálico SHS 250x8
- 18 - Fixação Articulado para o Vidro Tipo "Pauli + Sohn GmbH 751280VAM16"
- 19 - Placa de Sinalização
- 20 - Remate Inferior "Mundiperfil" para Painel Sandwich
- 21 - Perfil Metálico C100

**Figura 1.7 – Corte e legenda com a definição dos elementos secundários da estrutura [4].**

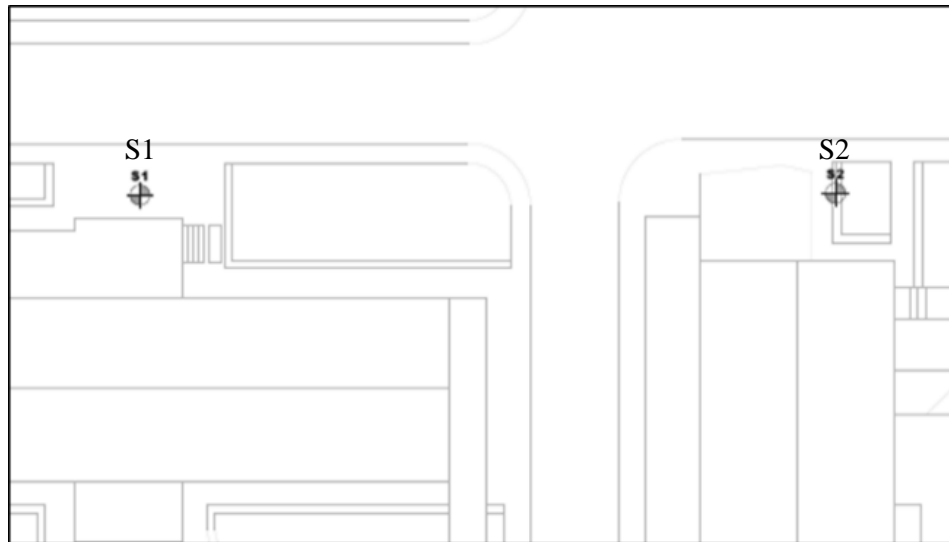
O projeto de estabilidade foi desenvolvido tendo-se respeitado as principais condicionantes impostas pela a arquitetura:

- Geometria da treliça espacial;
- Utilização de perfis metálicos tubulares tipo SHS;
- Alçados laterais com revestimento em vidro laminado.

### 1.3 RELATÓRIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

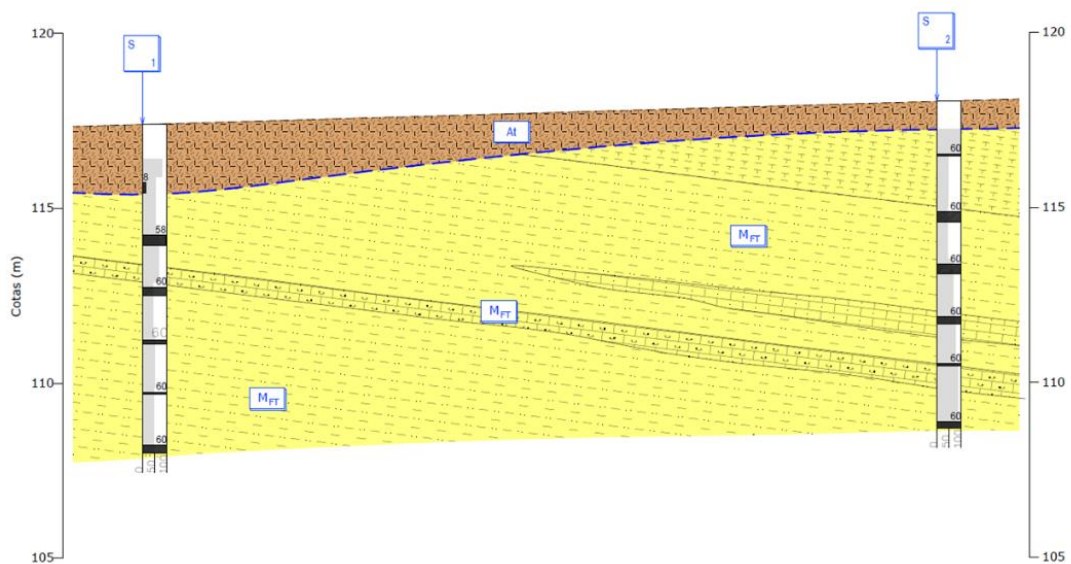
Foram realizadas duas sondagens S1 e S2 localizadas junto às torres metálicas conforme se indica na Figura 1.8.

Os elementos respeitantes ao relatório geológico encontram-se no ANEXO X.



**Figura 1.8 – Localização das Sondagens S1 e S2.**

Na Figura 1.9 mostra-se o corte geológico com indicação da posição das sondagens.



**Figura 1.9 – Corte geológico [5].**

De acordo com a informação geomecânica constata-se que os terrenos de fundação apresentam boa resistência, com tensões admissíveis de 500 kPa a profundidades de 1.5 metros na torre 1 e de 3 metros na torre 2.



## 2 MATERIAIS ESTRUTURAIS

Os materiais empregues são o aço S275 JR para as estruturas metálicas, o betão da classe C30/37 e o aço A500 NR para as estruturas de betão armado.

### 2.1 AÇO NA ESTRUTURA METÁLICA

Toda a superestrutura incorpora perfis metálicos laminados.

As tensões de cedência e últimas consideradas nos perfis metálicos constam dos Quadros 2.1 e 2.2.

**Quadro 2.1 – Valores nominais das tensões de cedência  $f_y$  e última à tração  $f_u$  - Secções tubulares laminadas a quente [6].**

Norma e classe de aço	Espessura nominal t do componente da secção [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>EN 10210-1</b>				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550

**Quadro 2.2 - Valores nominais das tensões de cedência  $f_y$  e última à tração  $f_u$  - Aços estruturais laminados a quente [6].**

Norma e classe de aço	Espessura nominal t do componente da secção [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	490	335	470
S 450	440	550	410	550

No dimensionamento das secções e elementos metálicos foram usados coeficientes parciais de segurança impostos pelo o EC3-2 [7, Sec. 6.1] de modo a minorar os valores característicos:

- $\gamma_{M0}=1,00$ ;  $\gamma_{M1}=1,10$ ;  $\gamma_{M2}=1,25$ ;

Para os parafusos e porcas usaram-se os valores nominais das tensões de cedência e última indicados no Quadro 2.3.

**Quadro 2.3 – Valores nominais das Tensões de cedência  $f_{yb}$  e de rotura à tração  $f_{ub}$  - Parafusos [8].**

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

Nas ligações aparafusadas os coeficientes parciais de segurança estão de acordo com o EC3-2 [7, Sec. 6.1]:

- $\gamma_{M3}=1,25$ ;  $\gamma_{M3,ser}=1,10$ ;  $\gamma_{M4}=1,10$ ;  $\gamma_{M5}=1,10$ ;  $\gamma_{M6,ser}=1,00$ ;  $\gamma_{M7}=1,10$ .

## 2.2 BETÃO E AÇO NAS ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO

Para as estruturas de betão armado utilizaram-se o betão da classe C30/37 e o aço A500 NR. Considerou-se a classe de exposição XC4 para uma classe estrutural S6. Os recobrimentos são de 5 centímetros [9].

Nos quadros seguintes indicam-se as principais características resistentes destes materiais.

**Quadro 2.4 – Valores característicos e de cálculo da Tensão de cedência à tração e Extensões [10].**

Aço	A235	A400	A500
$f_{yk}$ [MPa]	235	400	500
$f_{yd}$ [MPa]	205	348	435
$\epsilon_{yd}$ [‰]	1.025	1.740	2.175

Em que:

$f_{yk}$  Valor característico da tensão de cedência à tração;

$f_{yd}$  Valor de cálculo da tensão de cedência à tração;

$\epsilon_{yd}$  Valor da extensão necessário para atingir a cedência.

**Quadro 2.5 – Características da Resistência e Deformação do betão [9].**

Betão	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/67	C60/75
$f_{ck}$ [MPa]	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$f_{cd}$ [MPa]	8.0	10.7	13.3	16.7	20.0	23.3	26.7	30.0	33.3	36.7	40.0
$f_{cm}$ [MPa]	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68
$f_{ctm}$ [MPa]	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1	4.2	4.4
$f_{ctk;0.05}$ [MPa]	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	2.9	3.0	3.0
$f_{ctk;0.95}$ [MPa]	2.0	2.5	2.9	3.3	3.8	4.2	4.6	4.9	5.3	5.5	5.7
$E_{cm}$ [GPa]	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39
$\epsilon_{c1}$ [‰]	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.5	2.6
$\epsilon_{cu1}$ [‰]	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.2	3.0
$\epsilon_{c2}$ [‰]	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.2	2.3
$\epsilon_{cu2}$ [‰]	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.1	2.9
n	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.75	1.59
$\epsilon_{c3}$ [‰]	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.80	1.80	1.90
$\epsilon_{cu3}$ [‰]	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.1	2.9

*Em que:*

$f_{ck}$	<i>Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias de idade;</i>
$f_{cd}$	<i>Valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias de idade;</i>
$f_{cm}$	<i>Valor médio da tensão de rotura do betão à compressão;</i>
$f_{ctk}$	<i>Valor característico da tensão de rotura do betão à tração simples;</i>
$f_{ctm}$	<i>Valor médio da tensão de rotura do betão à tração simples;</i>
$E_{cm}$	<i>Valor do módulo de elasticidade secante do betão;</i>
$\varepsilon_c$	<i>Extensão do betão à compressão;</i>
$\varepsilon_{cl}$	<i>Extensão do betão à compressão correspondente à tensão máxima <math>f_c</math>;</i>
$\varepsilon_{cu}$	<i>Extensão última do betão à compressão.</i>

No dimensionamento das secções em betão armado utilizaram-se os seguintes coeficientes parciais de segurança:

- Para o betão:  $\gamma_c=1,5$ ;
- Para o aço:  $\gamma_s=1,15$ .



## 3 AÇÕES

Neste projeto foram consideradas as seguintes ações:

- Ações Permanentes:

- Peso Próprio (PP);
- Restantes Cargas Permanentes (RCP).

- Ações Variáveis:

- Sobrecarga (SC);
- Vento (W);
- Temperatura ( $\Delta T$ );
- Sismo ( $E_d$ );
- Peões.

### 3.1 AÇÕES PERMANENTES

As ações permanentes são aquelas que permanecem na estrutura durante a sua vida útil, tais como os pesos próprios e as restantes cargas permanentes.

#### 3.1.1 PESO PRÓPRIO

O peso próprio das secções é função da geometria e do peso volúmico dos materiais.

No Quadro 3.1 indicam-se os pesos volúmicos dos materiais.

**Quadro 3.1 – Peso Volúmico dos materiais [11].**

Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Aço	77
Betão Armado	25

### 3.1.2 RESTANTES CARGAS PERMANENTES

As restantes cargas permanentes (RCP) indicadas no Quadro 3.2 referem-se aos pesos dos elementos não estruturais.

**Quadro 3.2 – Valores das Restantes Cargas Permanentes (RCP).**

Número	Material	Carga “q <sub>Ed</sub> ”	
		(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m)
1	Remate superior "Mundiperfil" em painel sandwich	-----	0.22
2	Perfil metálico de fixação na cobertura (C100)	-----	0.11
3	Painel sandwich da cobertura em poliuretano "Mundiperfil" c/ fixação oculta (espessura de 3 cm)	0.20	-----
4	Fixação metálica do teto falso	Incluído no Ponto 5	
5	Teto falso c/ perfuração aleatória em gesso cartonado hidrófugo	0.13	-----
6	Iluminação led a embutir	Sem significado	
8	Vidros laminados dos tipos: - SGG STADIP c/ 10mm. - SGG SECURIT c/ HST temperado e c/ base SGG PLANICLEAR c/ 10.1mm. Acessórios de ligação: - SENTRYGLAS c/ 1.52mm laminados; - Elementos de ligação.	0.52	-----
9	Perfil do pavimento vinílico em alumínio do tipo "Profilitec Stairtec SC30"	-----	0.05
10	Perfil metálico U75	-----	0.16
11	Parafusos de fixação	Sem significado	
12	Painel sandwich de fachada em poliuretano "Mundiperfil" c/ fixação oculta (esp 3 cm)	0.10	-----
14	Revestimento vinílico "Forbo Eternal Material 13772 Brushed Aluminium"	0.03	-----
15	Painel em chapa perfilada c/ 75mm	0.16	-----
16	Chapa de OSB hidrófugo c/ 1 cm	0.07	-----
18	Fixação do vidro "Pauli + Sohn GmbH"	Incluído no Ponto 8	
19	Sinalização de emergência	Sem significado	
20	Remate inferior "Mundiperfil" do painel sandwich	-----	0.20
21	Perfil metálico C100	-----	0.11
$\Sigma$		1.21	0.85

As restantes cargas permanentes que atuam no pavimento da estrutura tem um valor de 0.6 kN/m<sup>2</sup> somatório dos itens 9, 10, 12, 14, 15,16, 20 e 21 indicados no quadro anterior.

Na cobertura as restantes cargas permanentes representam um valor de 0.5 kN/m<sup>2</sup> somatório dos itens 1, 2, 3, e 5 referidos do Quadro 3.2.

Em relação aos vidros laminados, item 8 do Quadro 3.2, o peso é distribuído pelas cordas superiores e inferiores da passerelle e pelos pilares das torres 1 e 2.

## 3.2 AÇÕES VARIÁVEIS

As ações variáveis são as ações que podem variar ao longo da vida útil da estrutura.

### 3.2.1 SOBRECARGA

Segundo o EC1-2 considerou-se para a sobrecarga no pavimento do passadiço uma carga uniformemente distribuída de  $q_{fk}=5 \text{ kN/m}^2$  (hospital).

Considerou-se também uma sobrecarga horizontal ao longo do tabuleiro igual a 10% do valor da carga vertical  $q_{fk}$ , conforme estipula o EC1-2 ( $Q_{fk}$ ) [12, Sec. 5.3].

Estas ações estão indicadas no quadro seguinte.

**Quadro 3.3 – Ações.** [12, Sec. 5.3].

Tipo de carga		Forças verticais		Forças horizontais
Sistema de carregamento		Carga uniformemente distribuída	Veículo de serviço	
Grupos de cargas	gr1	$q_{fk}$	0	$Q_{fk}$
	gr2	0	$Q_{serv}$	$Q_{fk}$

*Nota: Não foi considerado a carga do veículo de serviço uma vez que a circulação do mesmo está condicionado pelos acessos (escadas e elevador).*

### 3.2.2 VENTO

A ação do vento foi analisada segundo a Norma Europeia EC1-1-4 em função da geometria do passadiço e da sua localização [13], tendo-se recorrido ao capítulo 8 do EC1-1-4 para a sua quantificação.

#### 3.2.2.1 ZONA E CATEGORIA DO TERRENO

O passadiço localiza-se em Lisboa.

Esta estrutura está situada a mais de 5 km da costa a uma altitude inferior a 600 metros pertencendo à **zona A**.

Com base nestas premissas considerou-se para a **velocidade básica do vento 27 m/s** de acordo com o quadro seguinte.

**Quadro 3.4 – Valor Básico da Velocidade do vento [13].**

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]
A	27
B	30

Para a categoria do terreno consultou-se o Quadro 3.5 do EC1-1-4 parte referente ao Anexo Nacional.

**Quadro 3.5 – Categoria de terreno e respetivos parâmetros [13, Sec. Anexo Nacional NA].**

Categoria de terreno		$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
I	Zona costeira exposta aos ventos de mar	0,005	1
II	Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura	0,05	3
III	Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: zonas suburbanas, florestas permanentes)	0,3	8
IV	Zona na qual pelo menos 15 % da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m	1,0	15

*NOTA 1: As categorias de terreno II, III e IV estão ilustradas em A.1.*  
*NOTA 2: O coeficiente de rugosidade,  $c_r(z)$ , é ilustrado na Figura NA.1.*

### 3.2.2.2 VALOR DE REFERÊNCIA DA VELOCIDADE DO VENTO

O valor de referencia da velocidade do vento ( $V_b$ ) é calculado pela expressão (3.1)[13, Sec. 4.2]:

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} \quad (3.1)$$

Em que:

$C_{dir}$  Coeficiente de direção (valor a adotar de 1 segundo anexo nacional do EC1-1-4);

$C_{season}$  Coeficiente de sazão (valor a adotar de 1 segundo anexo nacional do EC1-1-4);

$V_{b,0}$  Valor de referência básico da velocidade do vento (m/s);

Considerando os valores  $C_{dir}=1$  e  $C_{season}=1$  obtém-se o valor de  **$V_b=27$  m/s.**

### 3.2.2.3 VENTO MÉDIO

Para a determinação do **vento médio** calcularam-se os coeficientes [13, Sec. 4.3]:

- **$k_r$  do terreno** através da expressão (3.2);
- **$C_r(z)$  da rugosidade** recorrendo à expressão (3.3).

$$K_r = 0.19 \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07} \quad (3.2)$$

Em que:

- $k_r$  Coeficiente de terreno;  
 $z_0$  Através do Quadro 3.5(m);  
 $z_{0,II}$  Valor do  $z_0$  para a categoria de terreno II ( $z_{0,II} = 0,05$  m).

Tem-se, assim, um coeficiente  $K_r = 0,19$  para o caso em estudo.

O coeficiente de rugosidade obtém-se em função da altura Z, recorrendo às expressões:

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right), \text{ para } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (3.3)$$

$$C_r(z) = C_r(z_{\min}), \text{ para } z \leq z_{\min}$$

Em que:

- $z$  Altura, podendo este valor variar até ao valor máximo da cota da obra em estudo (m);  
 $C_r(z)$  Cálculo do coeficiente de rugosidade para o valor de  $z$ ;  
 $C_r(z_{\min})$  Cálculo do coeficiente de rugosidade para o valor de  $z_{\min}$  obtido no Quadro 3.5.

- O vento médio é calculado pela expressão (3.4):

$$v_m(z) = C_r(z) \cdot C_0(z) \cdot v_b \quad (3.4)$$

Sendo:

- $v_m(z)$  Velocidade média do vento em função da altura (m/s);  
 $C_0(z)$  Coeficiente de orografia, valor recomendado de 1 visto a estrutura localizar-se numa zona plana e não se enquadrar no ponto 4.4.3 do EC1-1-4 [13, Sec. 4.3.1];  
 $v_b$  Valor de referência da velocidade do vento calculada no ponto 3.2.2.2 do presente documento (m/s).

### 3.2.2.4 TURBULÊNCIA DO VENTO

A turbulência do vento foi determinada pela expressão (3.5) em função de Z [13, Sec. 4.4].

$$I_v(z) = \frac{k_I}{C_0(z) \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right)}, \text{ para } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (3.5)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}), \text{ para } z \leq z_{\min}$$

Em que:

- $I_v(z)$  Turbulência do vento;  
 $k_I$  Coeficiente de turbulência, valor recomendado de 1 [13, Sec. 4.4 (1)].

### 3.2.2.5 COEFICIENTE DE EXPOSIÇÃO

De referir, que para o cálculo do **coeficiente de exposição**  $c_e(z)$  foi necessário determinar as **pressões dinâmicas de pico e de referência**.

- A **pressão dinâmica de pico** é calculada pela expressão:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (3.6)$$

Em que:

$q_p(z)$  Pressão dinâmica de pico ( $N/m^2$ );  
 $\rho$  Massa volúmica do ar, assume o valor de 1.25 ( $kg/m^3$ ).

- A **pressão dinâmica de referência** é igual a:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (3.7)$$

Em que:

$q_b$  Pressão dinâmica de referência ( $N/m^2$ ).

Obtém-se, assim, um valor de **0,46  $kN/m^2$**  para a **pressão dinâmica de referência**.

*Nota: O coeficiente de exposição é determinado pela expressão (3.8), sendo esta variável calculada em função da altura z:*

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (3.8)$$

Em que:

$c_e(z)$  Coeficiente de exposição.

### 3.2.2.6 AÇÃO DO VENTO NO PASSADIÇO

Atendendo a que a altura da cobertura no passadiço está à cota de 10 metros, o Anexo Nacional do EC1-1-4, refere que a ação do vento deve ser calculada considerando uma altura mínima de 20 metros ( $z = 20$  m) [13].

A ação do vento foi analisada em todas as direções.

Os alçados e a cobertura são revestidos por painéis de vidro laminado e metálicos respetivamente.

Utilizou-se o método simplificado para o estudo da ação do vento [13, Sec. 8.3.2].

Recorrendo à expressão (3.9) determinou-se o coeficiente de força:

$$c = c_e(z) \cdot c_{f,x} \quad (3.9)$$

Em que:

- $c$  Coeficiente de força do vento;
- $c_{f,x}$  Coeficiente de força para tabuleiros de pontes na direção X (perpendicular ao elemento), obtido pela Figura 3.1.

Uma vez que a secção do tabuleiro é quadrada obteve-se para  $b/d_{tot} = 1$  um coeficiente  $C_{f,x} = 2.2$  (ver Figura 3.1).

Para a altura de  $Z = 20 \text{ m}$  calcularam-se os valores:

$-C_e(z) = 2.81$  e  $C = 6.18$  através das expressões (3.8) e (3.9), respetivamente;

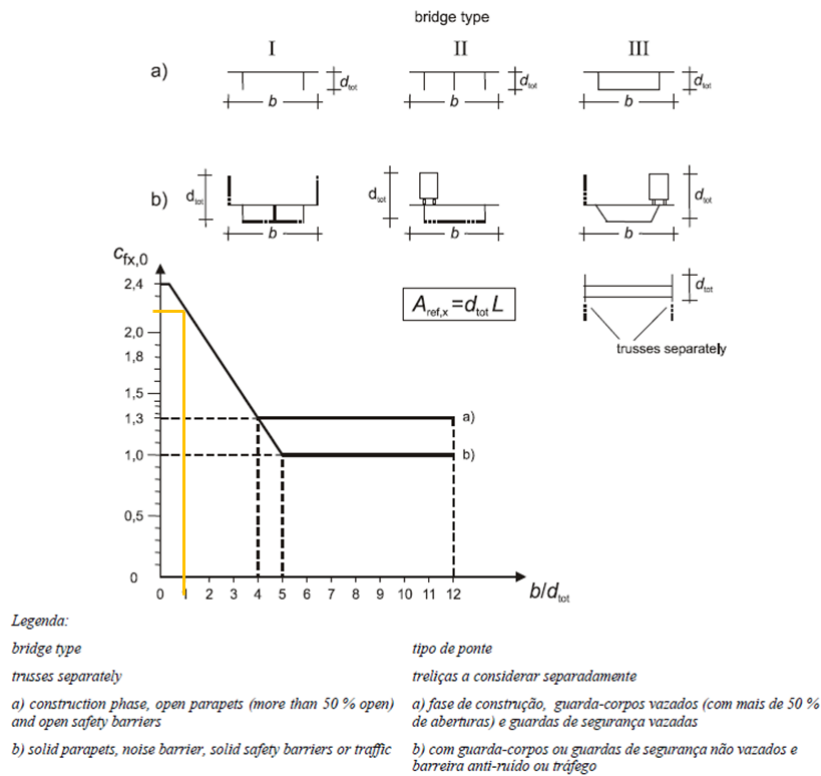


Figura 3.1 – Coeficiente de Força  $C_{f,x}$  para tabuleiros de pontes [13].

Com os dados anteriores calculou-se a força na direção X, perpendicular à ponte pela expressão (3.10) [13, Sec. 8.3.2(1)]:

$$F_{w,x} = q_b \cdot C \cdot A_{ref,x} \quad (3.10)$$

Em que:

- $F_{w,x}$  Força do vento em X do elemento, perpendicular ao elemento (kN);
- $A_{ref,x}$  Área de referência na direção X.

Para a quantificação da ação do vento na direção vertical segundo Z utilizaram-se as mesmas expressões das da direção X (3.9) e (3.10) mas com um coeficiente de força que nas pontes é igual a  $C_{f,z} = 0.9$ .

Para o vento na direção Y, longitudinal ao tabuleiro, considerou-se 25% da ação do vento da direção X [13, Sec. 8.3.4]:

$$F_{w,y} = 0.25 \cdot F_{w,x} \quad (3.11)$$

Nas figuras seguintes representam-se as ações do vento nas direções X, Y e Z.

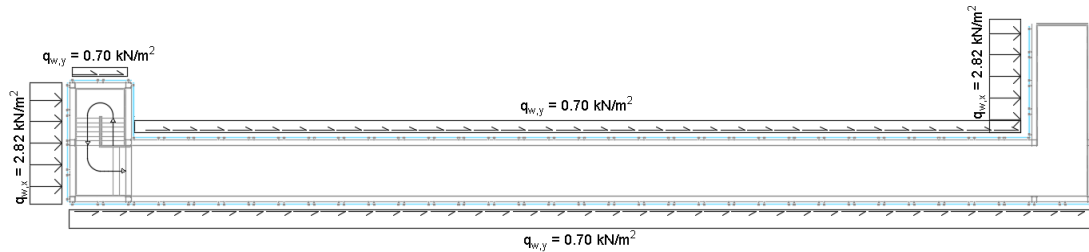


Figura 3.2 – Ações do Vento - direção x+.

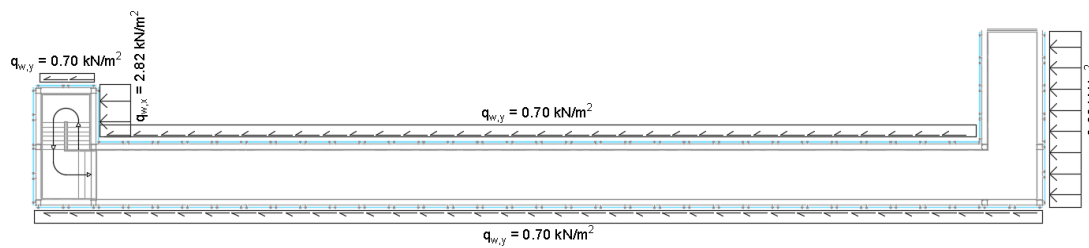


Figura 3.3 - Ações do Vento - direção x-.

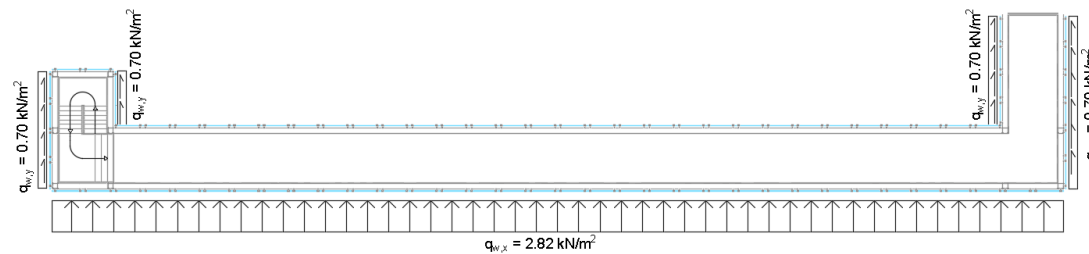


Figura 3.4 - Ações do Vento - direção y+.

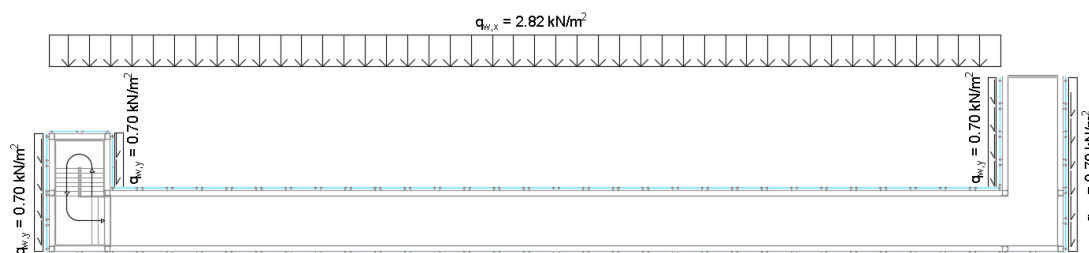
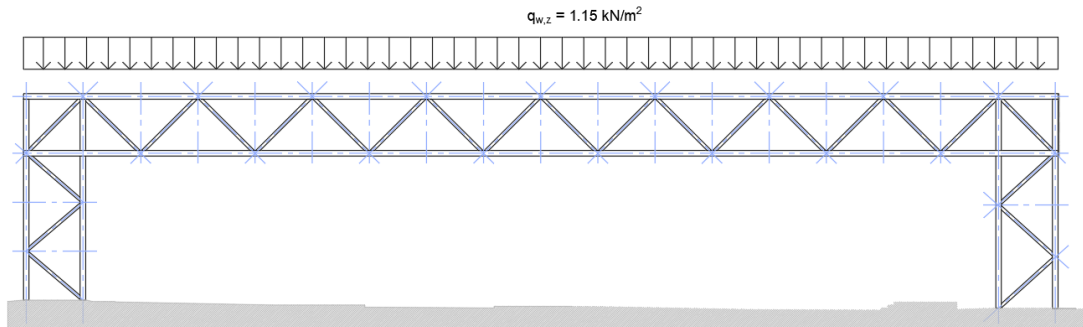


Figura 3.5 - Ações do Vento - direção y-.



**Figura 3.6 - Ações do Vento - direção z-.**

### 3.2.2.7 QUANTIFICAÇÃO DO VENTO NAS TORRES

Para a quantificação do vento nas torres recorreu-se ao Eurocódigo EC1-1-4 [13, Sec. 8.4], [14, Sec. Annex B].

As forças resultantes nos alçados laterais foram calculadas por:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref} \quad (3.12)$$

Em que:

$F_w$  Força do vento em resultante (kN);  
 $c_s c_d$  Coeficiente estrutural (visto o EC1-1-4 (capítulo 8.4) remeter para a parte de edifícios, e as torres possuírem menos de 15 metros e estrutura em planta regular, admite-se o valor de  $c_s c_d = 1$ ).

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda \quad (3.13)$$

Em que:

$c_{f,0}$  Coeficiente de força para elementos de secção retangular (ver Figura 3.7);  
 $\psi_r$  Coeficiente de redução para secções com cantos arredondados (não existe cantos arredondados, considera-se 1);  
 $\psi_\lambda$  Coeficiente de efeitos de extremidade para elementos cujas extremidades sejam livremente contornadas pelo vento (ver Quadro 3.6 e Figura 3.8).

O gráfico da Figura 3.7 seguinte fornece os valores de  $c_{f,0}$ , em função da direção do vento e da geometria em planta da torre necessários à determinação do coeficiente de força  $c_f$ .

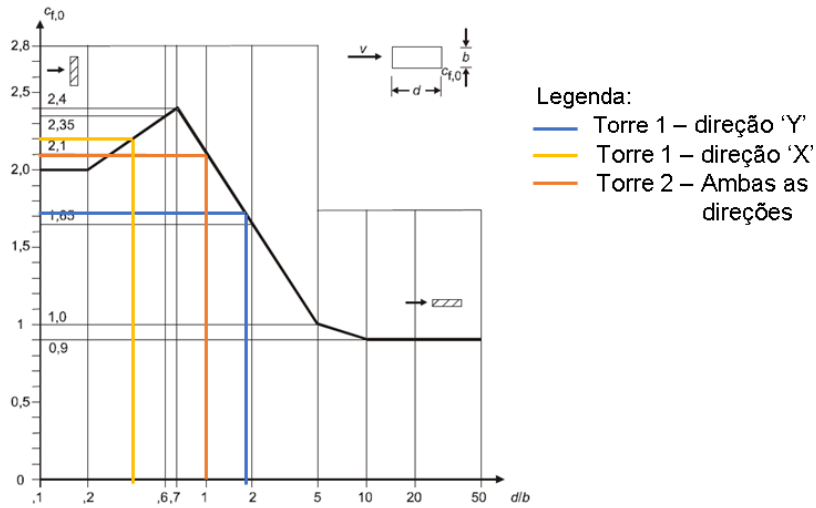


Figura 3.7 – Coeficiente de força  $C_{t,0}$ . [13, Sec. 7.6(1)]

Determinado o coeficiente  $C_{t,0}$  calculou-se o parâmetro  $\psi_\lambda$  recorrendo ao gráfico da Figura 3.8, e a esbelteza com base na geometria das torres a partir do quadro seguinte.

Quadro 3.6 - Esbelteza efetiva  $\lambda$  [13, Sec. Anexo NAcional NA]

N.º	Posição da estrutura, vento perpendicular ao plano da figura	Esbelteza efectiva $\lambda$
1		$\lambda = l/b$
2		$\lambda = 2l/b$
3		$\lambda = \infty$ ( $\psi_\lambda = 1$ )

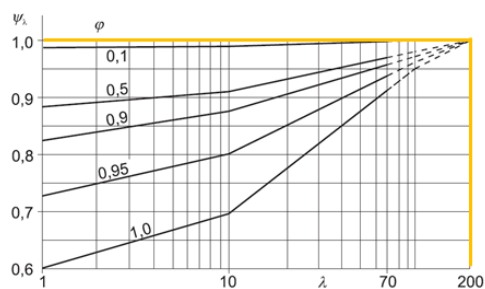


Figura 3.8 – Coeficiente de efeitos de extremidade  $\psi_\lambda$  em função do índice de cheios  $\phi$  e da esbelteza  $\lambda$  (Quadro 3.6) [13, Sec. 7.13(2)].

A força do vento exercida nos alçados das torres está indicada na Figura 3.9.

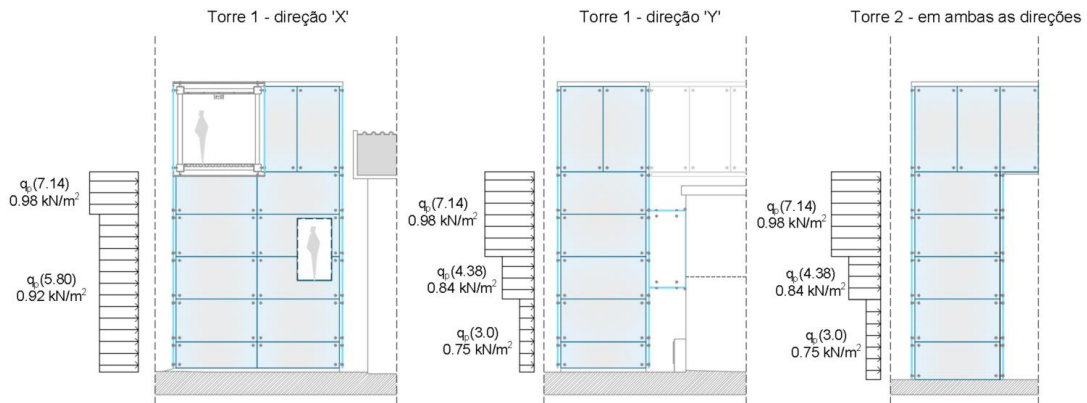


Figura 3.9 – Pressões dinâmicas de pico nos alçados das torres.

### 3.2.2.8 AÇÃO DO VENTO NO MODELO “ROBOT STRUCTURAL”

A ação do vento foi aplicada no modelo de elementos finitos segundo as quatro direções conforme a nomenclatura indicada no Quadro 3.7.

Quadro 3.7 – Ação do vento.

Direção do Vento	Combinação da ação
<b>X + (positivo)</b>	Ação na Torre (x+) + Ação no Tabuleiro (x+; z-)
<b>X - (negativo)</b>	Ação na Torre (x-) + Ação no Tabuleiro (x-; z-)
<b>Y + (positivo)</b>	Ação na Torre (y+) + Ação no Tabuleiro (y+; z-)
<b>Y - (negativo)</b>	Ação na Torre (y-) + Ação no Tabuleiro (y-; z-)

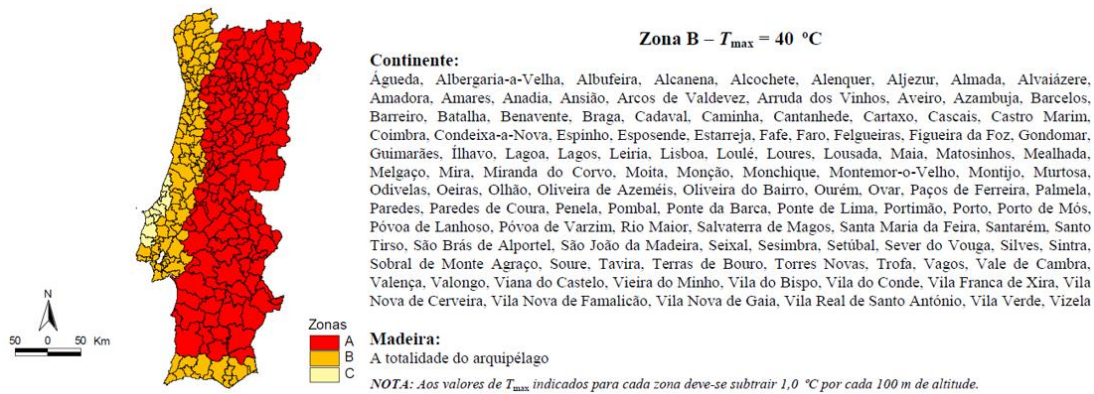
### 3.2.3 TEMPERATURA

A ação da temperatura foi considerada segundo o EC1-1-5 [15] uma vez que o passadiço tem 48.3 metros de vão.

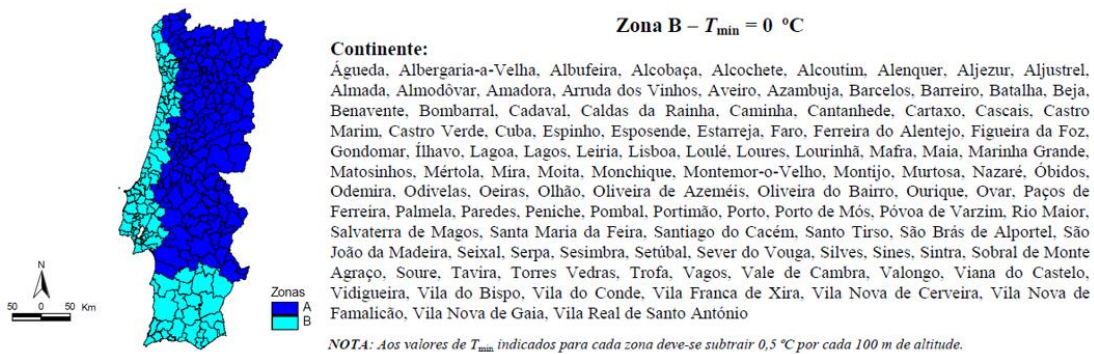
A estrutura da ponte foi classificada como estrutura do tipo 1 conforme o ponto 6.1.1 do EC1-1-5.

Para o estudo desta ação foi necessário considerar as temperaturas mínimas e máximas no território nacional.

Recorreu-se aos mapas isotérmicos do Anexo Nacional do EC1-1-5 [15, Sec. Anexo Nacional NA] indicados nas Figuras 3.10 e 3.11 para a quantificação das temperaturas máximas e mínimas do ar à sombra.



**Figura 3.10 – Mapa isotérmico - Temperatura máxima do ar à sombra.**



**Figura 3.11 - Mapa isotérmico - Temperatura mínima do ar à sombra.**

Segundo os mapas isotérmicos as temperaturas máximas e mínimas  $T_{max}$  e  $T_{min}$  para a estrutura deste projeto são iguais a  $40\text{ °C}$  e a  $0\text{ °C}$  respetivamente.

Uma vez que a temperatura correspondente à fase de montagem não é conhecida, recorreu-se ao ponto NA.2.3 (m) do Anexo Nacional do EC1-1-5 [15, Sec. Anexo Nacional NA], tendo-se considerado para a temperatura  $T_0=15\text{ °C}$ .

### 3.2.3.1 VARIAÇÃO UNIFORME DE TEMPERATURA

Para o estudo das variações uniformes da temperatura determinaram-se os valores mínimos e máximos,  $T_{e,min}$  e  $T_{e,max}$ .

De acordo com o ponto NA.2.3 (c) do Anexo Nacional do EC1-1-5 calcularam-se a partir das expressões (3.14) e (3.15) [15, Sec. Anexo Nacional NA] os seguintes valores:

$$T_{e,max}(\text{tipo } 1) = T_{max} + 15\text{ °C} \quad (3.14)$$

$$T_{e,min}(\text{tipo } 1) = T_{min} - 10\text{ °C} \quad (3.15)$$

Em que:

$T_{e,min}$  Componente da variação uniforme de temperatura mínima ( $\text{°C}$ )

$T_{e,max}$	Componente da variação uniforme de temperatura máxima (°C)
$T_{min}$	Temperatura máxima do ar à sombra com probabilidade anual de ser excedida 0.02 (equivalente a um período médio de retorno de 50 anos)(°C)
$T_{max}$	Temperatura máxima do ar à sombra com probabilidade anual de não ser excedida 0.02 (equivalente a um período médio de retorno de 50 anos)(°C)

Das expressões (3.14) e (3.15) retiraram-se para  $T_{e,max}$  e  $T_{e,min}$  os valores de +55°C e de -10°C, respetivamente.

Com a determinação das componentes das variações uniformes da temperatura foi possível calcular os valores característicos das amplitudes de contração e dilatação máximas pelas expressões (3.16) e (3.17) [15, Sec. 6.1.3.3 (3)]:

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} \quad (3.16)$$

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 \quad (3.17)$$

Em que:

$\Delta T_{N,con}$	Amplitude máxima das variações negativas (contração) da componente de temperatura uniforme em pontes (°C);
$\Delta T_{N,exp}$	Amplitude máxima das variações positivas (dilatação) da componente de temperatura uniforme em pontes(°C);
$T_0$	Temperatura inicial do elemento estrutural no momento em que são introduzidos constrangimentos, para o caso em questão vai-se utilizar o valor de 15°C (°C).

Concluiu-se que os valores finais a considerar são:  $\Delta T_{N,con} = -25^\circ C$  e de  $\Delta T_{N,exp} = 40^\circ C$ .

### 3.2.3.2 VARIAÇÃO DIFERENCIAL DE TEMPERATURA

Esta ação corresponde à variação da temperatura transversal do tabuleiro.

Em Portugal o EC1-1-5 inclui também informação sobre este assunto nomeadamente a indicada no quadro seguinte [15, Sec. Anexo Nacional NA].

**Quadro 3.8 – Variação diferencial de temperatura.**

Componente/eixo	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)
Vertical / eixo z-z	18°C	-12°C

Em que:

$\Delta T_{M,heat}$	Componente linear de variação diferencial positiva de temperatura (face superior mais quente que a inferior) (°C);
$\Delta T_{M,cool}$	Componente linear de variação diferencial negativa de temperatura (face inferior mais quente que a superior) (°C).

Segundo o ponto 6.1.4.3 do EC1-1-5 analisou-se porém apenas a variação diferencial de temperatura no sentido vertical.

Nota: Uma vez que esta ação não é revelante para a estrutura não foi considerada, o que confirma em parte a referencia [7, Sec. 5.4.2 (4)].

### 3.2.3.3 COMBINAÇÕES DE AÇÕES PARA O CONJUNTO DAS TEMPERATURAS

No Quadro 3.9 indicam-se as combinações de ações consideradas.

**Quadro 3.9 – Temperaturas.**

Combinação	Verão	Inverno
$\Delta T_N$	40°C	-25°C

### 3.2.4 SISMO

O estudo sísmico realiza-se de modo assegurar a segurança das vidas humanas, limitar os danos nas estruturas e garantir que as estruturas “mais importantes” fiquem operacionais [16].

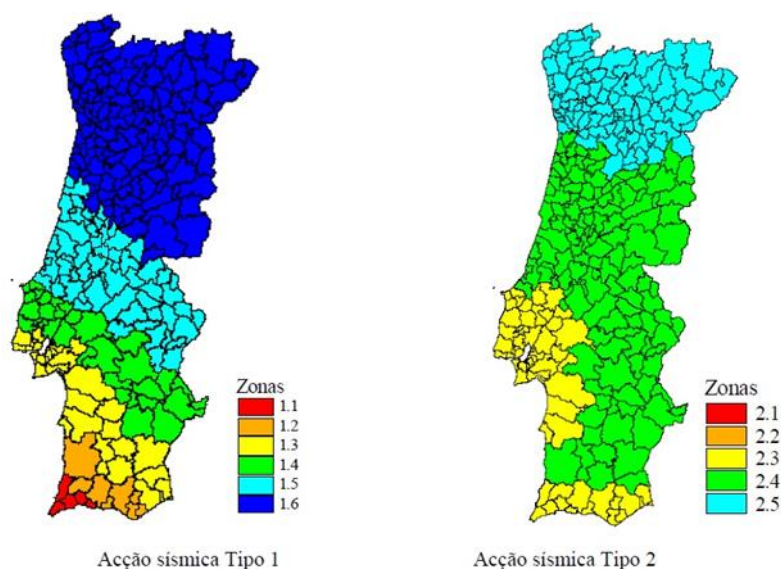
A norma considerada no estudo sísmico deste projeto foi o EC8 partes 1 e 2 [16], [17].

Recorreu-se à quantificação desta ação através de espetros de resposta com base na localização da estrutura.

No estudo foram quantificadas as componentes horizontais e verticais do sismo de acordo com o subcapítulo 4.1.7 do EC8-2.

#### 3.2.4.1 TIPO DE SISMO E ZONAMENTO DO TERRITÓRIO NACIONAL

De acordo com o EC8-1 há a considerar 2 tipos de sismos, Tipo 1 e Tipo 2, sendo a intensidade diferente consoante a zona do território continental.



**Figura 3.12 – Zonamento do território - Sismos Tipo 1 e 2 [16, Sec. Anexo Nacional NA].**

Os valores de referência das acelerações máximas determinaram-se a partir do Quadro 3.10 com base no tipo de sismo e no zonamento do território.

**Quadro 3.10 – Ação sísmica em Lisboa em função do zonamento sísmico** [16, Sec. Anexo Nacional NA].

	<i>AÇÃO SÍSMICA</i>	
	<b>Tipo 1</b>	<b>Tipo 2</b>
<b>Zona Sísmica</b>	1.3	2.3
<b>Aceleração - <math>a_{gR}</math> (m/s<sup>2</sup>)</b>	1.5 m/s <sup>2</sup>	1.7 m/s <sup>2</sup>

### 3.2.4.2 COEFICIENTE DE IMPORTÂNCIA E ACELERAÇÕES

O coeficiente de importância é utilizado  $\gamma_I$  na majoração das acelerações máximas consoante a utilização da estrutura.

Para o passadiço e uma vez que se trata de uma estrutura no interior de um hospital atribuiu-se a classe de importância III e um coeficiente de importância de 1.3, conforme o ponto 2.1 do EC8-2.

Segundo o EC8-1, ponto 3.2.2.2., o valor de cálculo da ação sísmica e da aceleração de cálculo à superfície de um terreno é calculado por [16]:

$$A_{Ed} = \gamma_I \cdot A_{Ek} \tag{3.18}$$

$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR}$$

*Em que:*

$A_{Ed}$  Valor de cálculo da ação sísmica;

$A_{Ek}$  Valor característico da ação sísmica;

$a_g$  Valor de cálculo da aceleração à superfície de um terreno do tipo A (m/s<sup>2</sup>);

$a_{gR}$  Valor de referência da aceleração máxima à superfície de um terreno do tipo A (m/s<sup>2</sup>);

$\gamma_I$  Coeficiente de importância.

Com base no coeficiente de importância determinaram-se as acelerações de cálculo na estrutura obtendo-se os valores para os sismos Tipo 1 e 2 de 1.95 m/s<sup>2</sup> e de 2.21 m/s<sup>2</sup> respetivamente.

### 3.2.4.3 COEFICIENTE DE COMPORTAMENTO

Considerou-se para a ponte uma classe de ductilidade baixa (DCL) que corresponde a um coeficiente de comportamento  $q=1.5$ .

### 3.2.4.4 AMORTECIMENTO VISCOSO DA ESTRUTURA

O amortecimento viscoso da estrutura foi aplicado de acordo com o subcapítulo 4.1.3.(1) do EC8-2.

Uma vez que a ponte é metálica, com ligações maioritariamente soldadas, foi considerado de forma conservativa um coeficiente de amortecimento viscoso igual a 2%.

### 3.2.4.5 TIPO DE TERRENO

O tipo de terreno foi classificado com base no subcapítulo 3.1.2 do EC8-1 recorrendo aos ensaios SPT que constam no subcapítulo “1.3 RELATÓRIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO” deste documento.

Sendo os terrenos de fundação maioritariamente composto por areias, siltes e argilas considerou-se do Tipo B, com base no Quadro 3.11.

Quadro 3.11 – Tipos de Terreno [16].

Tipo de terreno	Descrição do perfil estratigráfico	Parâmetros		
		$v_{s,30}$ (m/s)	$N_{SPT}$ (palcadas/30 cm)	$c_u$ (kPa)
A	Rocha ou outra formação geológica de tipo rochoso, que inclua, no máximo, 5 m de material mais fraco à superfície	> 800	–	–
B	Depósitos de areia muito compacta, de seixo (cascalho) ou de argila muito rija, com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade	360 – 800	> 50	> 250
C	Depósitos profundos de areia compacta ou medianamente compacta, de seixo (cascalho) ou de argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Depósitos de solos não coesivos de compactidade baixa a média (com ou sem alguns estratos de solos coesivos moles), ou de solos predominantemente coesivos de consistência mole a dura	< 180	< 15	< 70
E	Perfil de solo com um estrato aluvionar superficial com valores de $v_s$ do tipo C ou D e uma espessura entre cerca de 5 m e 20 m, situado sobre um estrato mais rígido com $v_s > 800$ m/s			
$S_1$	Depósitos constituídos ou contendo um estrato com pelo menos 10 m de espessura de argilas ou siltes moles com um elevado índice de plasticidade ( $PI > 40$ ) e um elevado teor de água	< 100 (indicativo)	–	10 - 20
$S_2$	Depósitos de solos com potencial de liquefação, de argilas sensíveis ou qualquer outro perfil de terreno não incluído nos tipos A – E ou $S_1$			

### 3.2.4.6 ESPECTROS DE RESPOSTA ELÁSTICO

Os espectros de respostas correspondentes às ações horizontal e vertical foram quantificados com base nos subcapítulos 3.2.2.2 e 3.2.2.3 do EC8-1.

Considerando uma análise linear da estrutura os espectros de respostas foram obtidos a partir das expressões (3.19) e (3.20) para a ação horizontal e vertical respetivamente.

$$\begin{aligned}
 0 \leq T \leq T_B : S_e(T) &= a_g \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \\
 T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \\
 T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\
 T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[ \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right]
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

$$\begin{aligned}
 0 \leq T \leq T_B : S_{ve}(T) &= a_{vg} \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3,0 - 1) \right] \\
 T_B \leq T \leq T_C : S_{ve}(T) &= a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \\
 T_C \leq T \leq T_D : S_{ve}(T) &= a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\
 T_D \leq T \leq 4s : S_{ve}(T) &= a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \left[ \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right]
 \end{aligned} \tag{3.20}$$

Em que:

- $S_e(T)$  Espectro de resposta elástica horizontal da aceleração à superfície do terreno;
- $S_{ve}(T)$  Espectro de resposta elástica vertical da aceleração à superfície do terreno;
- $a_{vg}$  Valor de cálculo da aceleração à superfície do terreno na direção vertical (m/s<sup>2</sup>);
- $S$  Coeficiente do solo;
- $T$  Período de vibração de um sistema linear com um grau de liberdade;
- $T_B$  Limite inferior do período no patamar de aceleração espectral constante;
- $T_C$  Limite superior do período no patamar de aceleração espectral constante;
- $T_D$  Valor que define no espectro o início do ramo de deslocamento constante;
- $\eta$  Coeficiente de correção do amortecimento ( $\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55$ );
- $\xi$  Amortecimento viscoso da estrutura (expresso em percentagem).

Nos Quadros 3.12 e 3.13, apresentam-se os parâmetros necessários ao cálculo dos espectros de resposta para a ação horizontal do sismo Tipo 1 e Tipo 2 respetivamente.

**Quadro 3.12 – Parâmetros do Espectro de resposta elástico - Ação Sísmica Tipo 1** [16, Sec. Anexo Nacional NA].

Tipo de terreno	$S_{max}$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A	1,0	0,1	0,6	2,0
B	1,35	0,1	0,6	2,0
C	1,6	0,1	0,6	2,0
D	2,0	0,1	0,8	2,0
E	1,8	0,1	0,6	2,0

**Quadro 3.13 – Parâmetros do Espectro de resposta elástico - Ação Sísmica Tipo 2** [16, Sec. Anexo Nacional NA].

Tipo de terreno	$S_{max}$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A	1,0	0,1	0,25	2,0
B	1,35	0,1	0,25	2,0
C	1,6	0,1	0,25	2,0
D	2,0	0,1	0,3	2,0
E	1,8	0,1	0,25	2,0

No Quadro 3.14 indicam-se também os parâmetros necessários aplicar no cálculo do espectro de resposta para a ação vertical.

**Quadro 3.14 – Parâmetros dos Espectros de resposta elásticos verticais** [16, Sec. Anexo Nacional NA].

Ação sísmica	$a_{vg}/a_g$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
Tipo 1	0,75	0,05	0,25	1,0
Tipo 2	0,95	0,05	0,15	1,0

*Nota: A relação  $a_{vg}/a_g$  traduz-se numa redução da aceleração em 75% e 95% para os sismos Tipo 1 e 2 respetivamente, conforme já foi referida no subcapítulo 3.2.4.2 do presente documento.*

### 3.2.4.7 ESPECTROS DE CÁLCULO PARA ANÁLISE ELÁSTICA

O espectro de cálculo para análise elástica foi determinado a partir de:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T \leq T_B : S_d(T) &= a_g \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \\
 T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) &= a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \\
 T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) &\begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \\
 T_D \leq T : S_d(T) &\begin{cases} = a_{vg} \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \left[ \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}
 \end{aligned} \tag{3.21}$$

Em que:

$S_d(T)$  Espectro de cálculo;

$q$  Coeficiente de comportamento;

$\beta$  Coeficiente correspondente ao limite inferior do espectro de cálculo ( $\beta = 0.2$ ).

### 3.2.4.8 SISMOS CONSIDERADOS

Foram considerados quatro espectros de cálculo correspondentes aos dois tipos de sismo.

Indicam-se no Quadro 3.15 os parâmetros necessários à sua quantificação.

Quadro 3.15 –Parâmetros para o cálculo dos sismos.

	Sismos			
	Tipo1		Tipo 2	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
<b>Tipo Solo</b>	Solo Tipo B			
<b>S<sub>max</sub></b>	1.35	1.00	1.35	1.00
<b>T<sub>B</sub>(s)</b>	0.1	0.05	0.1	0.05
<b>T<sub>C</sub>(s)</b>	0.6	0.25	0.25	0.15
<b>T<sub>D</sub>(s)</b>	2	1	2	1
<b>ξ</b>	2.0%			
<b>η</b>	1.41			
<b>a<sub>gr</sub> (m/s<sup>2</sup>)</b>	1.5	1.5	1.7	1.7
<b>γ<sub>I</sub></b>	1.3	1.3	1.3	1.3
<b>a<sub>g</sub> (m/s<sup>2</sup>)</b>	1.95	1.95	2.21	2.21
<b>a<sub>vg</sub> (m/s<sup>2</sup>)</b>	---	1.46	---	2.10
<b>q</b>	1.5	1.5	1.5	1.5

A partir do Quadro 3.15 obtiveram-se os seguintes espectros de respostas de cálculo:

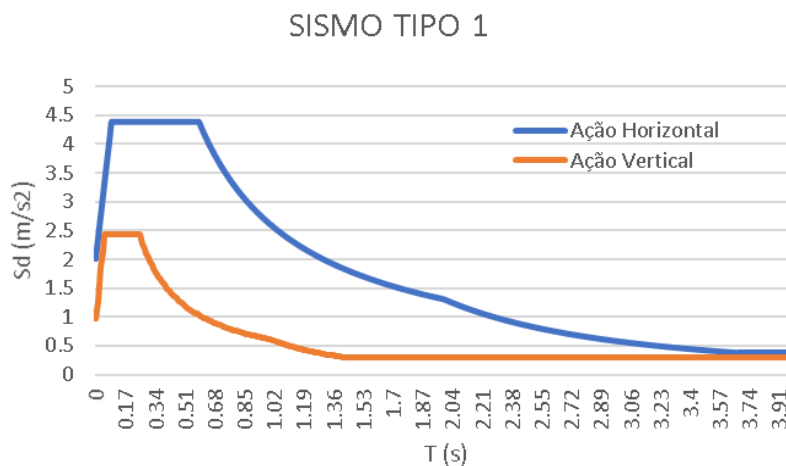


Figura 3.13 – Espectro de cálculo elástico - Sismo Tipo 1.

## SISMO TIPO 2

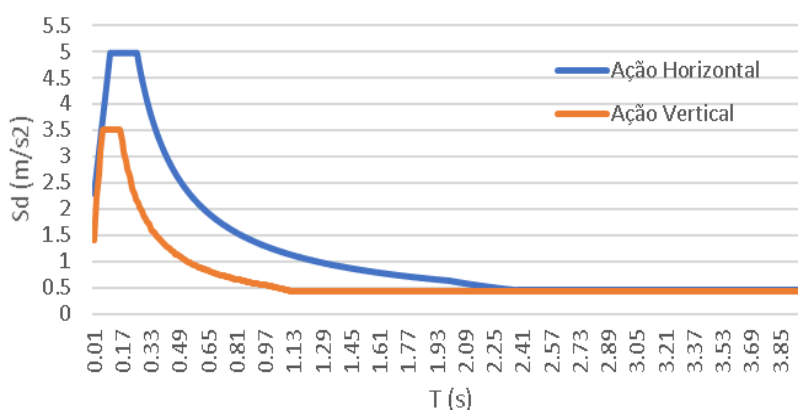


Figura 3.14 – Espectro de cálculo elástico - Sismo Tipo 2.

### 3.2.4.9 MODOS DE VIBRAÇÃO MAIS SIGNIFICATIVOS E COMBINAÇÃO DA RESPOSTA MODAL

Os modos de vibração mais relevantes são aqueles que mobilizam 90% da massa da estrutura, conforme refere o subcapítulo 4.2.1.2 do EC8-2.

A resposta modal para cada modo de vibração corresponde a um valor para o efeito da ação sísmica na estrutura.

Existindo vários modos de vibração e diversos valores para o efeito da ação sísmica, estes devem ser combinados de forma a obter-se um valor resultante de todos os modos ( $E_E$  – força, deslocamento, etc.) para cada sismo.

A combinação modal empregue na estrutura foi a combinação quadrática completa (CQC) segundo a expressão (3.22).

De modo a obterem-se resultados mais rigorosos seguiu-se a orientação definida no subcapítulo 4.2.1.3 do EC8-2 [17], [18].

$$E_{Ed} \approx \left( \sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^N \rho_{in} \cdot E_{i0} \cdot E_{n0} \right)^{1/2} \quad (3.22)$$

Sendo:

$E_{Ed}$  Resultante dos esforços da ação sísmica;

$E_{i0}$  Representa os esforços devidos à aplicação da ação sísmica segundo o eixo horizontal X escolhido para a estrutura para o modo de vibração i;

$E_{n0}$  Representa os esforços devidos à aplicação da ação sísmica segundo o eixo horizontal x escolhido para a estrutura para o modo de vibração n;

$\rho_{in}$  Coeficiente de correlação entre os dois os modos de vibração i e n:

$$\rho_{in} = \frac{8\zeta^2(1+\beta_{in})\beta_{in}^{3/2}}{(1-\beta_{in}^2)^2 + 4\zeta^2\beta_{in}(1+\beta_{in})^2} \quad (3.23)$$

$$\beta_{in} = \frac{\omega_i}{\omega_n} \quad (3.24)$$

Em que:

$\zeta$  Coeficiente de amortecimento;

$\beta_{in}$  Relação entre frequências angulares de dois modos de vibração  $i$  e  $n$ ;

$\omega_i, \omega_n$  Frequências angulares dos modos de vibração  $i$  e  $n$ .

### 3.2.4.10 COMBINAÇÃO DAS COMPONENTES DA AÇÃO SÍSMICA

Considerou-se para os sismos duas componentes horizontais segundo os eixos X e Y e uma componente vertical segundo o eixo Z combinadas de acordo com o EC8-2.

Recorreu-se a combinação SRSS, raiz quadrada da soma dos quadrados, através expressão (3.25) [17, Sec. 4.2.1.4]:

$$E = \sqrt{E_{Edx}^2 + E_{Edy}^2 + E_{Edz}^2} \quad (3.25)$$

Em que os diferentes termos apresentam:

$E$  Resultante da combinação dos esforços das várias direções da ação sísmica;

$E_{Edx}$  Resultante dos esforços devidos à aplicação da ação sísmica segundo o eixo horizontal X escolhido para a estrutura;

$E_{Edy}$  Resultante dos esforços devidos à aplicação da ação sísmica segundo o eixo horizontal ortogonal Y da estrutura;

$E_{Edz}$  Resultante dos esforços devidos à aplicação da componente vertical da ação sísmica;

"+" Significa "a combinar com".

### 3.2.4.11 CASOS CONSIDERADOS PARA A AÇÃO SÍSMICA

Para a combinação SRSS consideraram-se dois sismos conforme se indica no Quadro 3.16.

Foram considerados também para a ação dos dois sismos os sentidos positivos e negativos de atuação.

**Quadro 3.16 – Sismos considerados no modelo.**

Sismo	Direção do Sismo		
	X	Y	Z
Tipo 1	1	1	1
Tipo 2	1	1	1

### 3.2.5 NEVE

Uma vez que a estrutura se localiza em Lisboa não se considerou esta ação.

### 3.2.6 ANÁLISE DINÂMICA

Neste projeto foi necessário proceder a uma análise dinâmica devido à ação dos peões conforme impõem os Eurocódigos: EC0-A2 e EC1-2 [19, Sec. A.2.4.3.2] [12, Sec. 5.7].

#### 3.2.6.1 AÇÃO DINÂMICA DOS PEÕES

No Anexo Nacional A2 do EC0 [19, Sec. A.2.4.3.2] estão indicadas as frequências mínimas a consideradas em pontes pedonais para o estudo da análise dinâmica (Quadro 3.17).

**Quadro 3.17 – Frequências mínimas de dispensa da análise dinâmica [19].**

<b>Critério de Conforto</b>	<b>Frequência mínima (Hz)</b>
Vibrações Verticais	5
Vibrações Horizontais e Vibrações de Torção	2.5

Os métodos de análise estão estabelecidos no ponto 5.5 deste documento.

#### 3.2.6.2 AÇÃO DINÂMICA DO VENTO

De referir, que o EC1-1-4 [13, Sec. Anexo Nacional NA] dispensa a análise dinâmica do vento em pontes com vãos inferiores a 125 metros, razão pela qual este estudo não foi realizado.

## 4 COMBINAÇÃO DE AÇÕES

Neste projeto foram consideradas as combinações de ações para os Estados Limites Últimos e para os Estado Limites de Utilização respeitando os critérios impostos no Eurocódigo 0 [20].

Nesta norma as combinações de ações incluem dois tipos de coeficientes  $\Psi$  e  $\gamma$  calculados recorrendo a métodos probabilísticos (Ver ponto 5).

Os valores de  $\Psi$  considerados estão indicados no Quadro 4.1 e referem-se às combinações de ações utilizadas em pontes [19, Sec. Annex A2].

**Quadro 4.1 – Valores recomendados de  $\Psi$  em pontes** [19, Sec. Annex A2-table A2.2].

Coeficientes para Pontes (Anexo A2 do EC0)				
Action		$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Trafic Loads	gr1	0.4	0.4	0
	Qfwk	0	0	0
	gr2	0	0	0
Wind Loads		0.3	0.2	0
Thermal Loads		0.6	0.6	0.5
Snow Loads		0.8	0	0
Construction Loads		1	0	1

Os valores de  $\gamma$  estão definidos no Anexo II do Eurocódigo 0.

### 4.1 ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

As combinações de ações para os Estados Limites Últimos considerados foram [20, Sec. Annex A2]:

- Situação de projeto persistente e ou transitório (Combinação fundamental)

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (4.1)$$

- Situação de projeto sísmicas (Combinação Sísmica)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (4.2)$$

Em que:

$\gamma_G, \gamma_Q$	Coefficientes parciais relativos às ações permanente, $G$ , e variável, $Q$ , a considerar nos estados limites últimos;
$G_{k,j}$	Cargas permanentes;
$Q_{k,1}, Q_{k,i}$	Ação variável de base e as restantes ações variáveis, respetivamente;
$A_{Ed}$	Ação relativa ao sismo;
$\Psi_{0,i}, \Psi_{2,i}$	Coefficientes para a determinação do valor de combinação para a ação variável (Quadro 4.1).

Os valores considerados para  $\gamma$  são:

- $\gamma_G=1.35$  para situações desfavoráveis e  $\gamma_G=1.00$  para situações favoráveis;
- $\gamma_Q=1.35$  para cargas devidas ao tráfego de pessoas e  $\gamma_Q=1.50$  para outras ações variáveis.

Nota: Não foi considerada nenhuma situação de acidente.

## 4.2 ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO

Os estados limites de utilização têm em conta não só o funcionamento das estruturas em condições normais, mas também o conforto das pessoas e o “aspeto” da construção.

No dimensionamento em relação aos estados limites de utilização consideraram-se as seguintes combinações [20, Sec. Annex A2]:

- Combinação característica

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (4.3)$$

- Combinação frequente

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (4.4)$$

- Combinação quase-permanente

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (4.5)$$

Em que:

$G_{k,j}$	Cargas permanentes;
$Q_{k,1}, Q_{k,i}$	Ação variável de base e as restantes ações variáveis, respetivamente;
$\Psi_{0,i}; \Psi_{1,i}; \Psi_{2,i}$	Coefficientes para a determinação do valor de combinação para a ação variável (Quadro 4.1).

### **4.3 RESUMO DAS COMBINAÇÕES DE AÇÕES**

Os Quadros A.1, A.2 e A.3 do ANEXO I resumem todas as combinações consideradas do projeto.

.



## 5 METODOLOGIA E CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

A verificação da segurança será efetuada pelo método dos coeficientes parciais.

Este método consiste fundamentalmente na utilização de coeficientes parciais de segurança, associados não só às ações atuantes mas também às propriedades dos materiais. Estes coeficientes são determinados recorrendo a cálculos probabilísticos seguindo a metodologia da Figura 5.1.

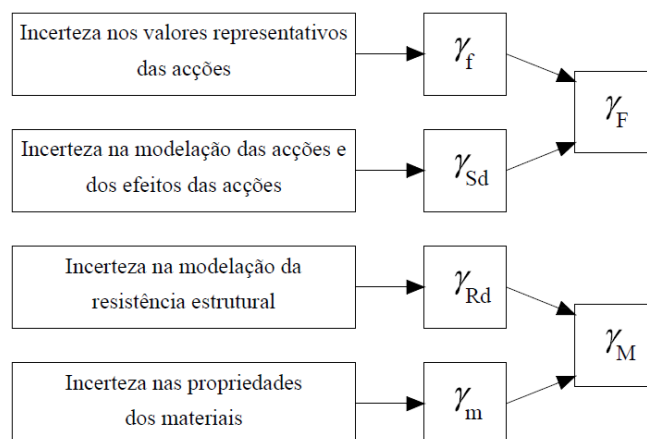


Figura 5.1 – Coeficientes parciais de segurança para ações e materiais [20].

Há que referir também outro coeficiente  $\psi$  associado às ações. Trata-se de um coeficiente que determina o valor de combinação de uma ação variável (ver ponto 4) [20].

Segundo os pontos “2 MATERIAIS” e “4 COMBINAÇÃO DE AÇÕES” os valores que caracterizam as resistências dos materiais e as combinações de ações já integram estes coeficientes.

Concluindo ter-se-á de cumprir as condição (5.1) e (5.2) para o estudo da resistência das estruturas aos estados limites últimos e de utilização [20]:

$$E_d < R_d \quad (5.1)$$

Em que:

$E_d$  Valor de cálculo do efeito das ações, tal como um esforço ou um vetor representando vários esforços;

$R_d$  Valor de cálculo da resistência correspondente, de acordo com o material, perfil e secção.

$$E_d < C_d \quad (5.2)$$

Em que:

$E_d$  Valor de cálculo do efeito das ações especificadas no critério de utilização, determinado com base na condição em causa;

$C_d$  Valor de cálculo correspondente ao valor limite no critério de utilização, neste caso de acordo com o Eurocódigo 3 [6].

## 5.1 IMPERFEIÇÕES DA ESTRUTURA

As estruturas apresentam vários tipos de imperfeições, tais como faltas de verticalidade, de retilinearidade, de planura, de ajustamento e também de possíveis excentricidades nas ligações.

Estas imperfeições são de dois tipos:

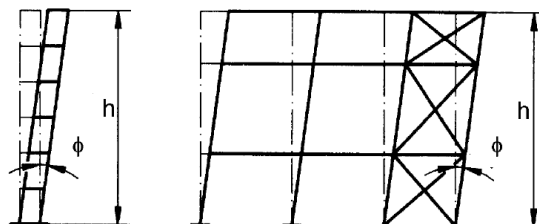
- P- $\delta$  que traduzem as imperfeições locais dos elementos;
- P- $\Delta$  referentes às imperfeições globais.

Segundo o EC3-1-1 os efeitos P- $\delta$  podem ser analisados a partir das expressões de dimensionamento à encurvadura [6].

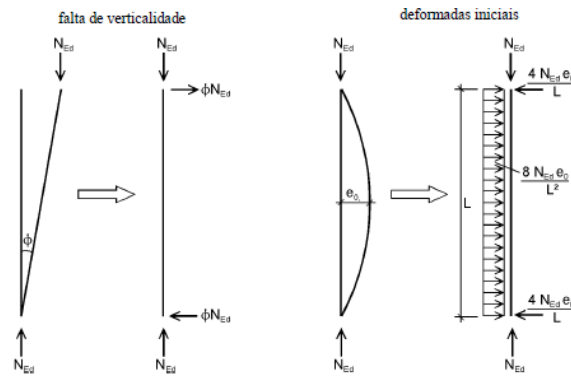
As imperfeições geométricas globais P- $\Delta$  podem ser traduzidas a partir de forças nodais horizontais equivalentes aplicadas no topo das colunas, que simulam as imperfeições decorrentes de deslocamento laterais, conforme se mostra na Figura 5.2.

O EC3-1-1 prevê uma configuração inicial para contabilizar os efeitos globais P- $\Delta$ , de acordo com o esforço axial existente em cada coluna para as ações PP, RCP e SC, conforme se ilustra nas Figuras 5.2 e 5.3[6, Sec. 5.3].

De referir, que em grande parte das estruturas com deslocamentos laterais estes efeitos podem ser significativos, e têm de ser analisados recorrendo a uma análise de 2ª ordem [21], [22].



**Figura 5.2 – Imperfeições globais equivalentes - Inclinação inicial das colunas.**



**Figura 5.3 – Substituição das imperfeições iniciais por forças equivalentes.**

O ângulo  $\Phi$  das Figuras 5.2 e 5.3 é calculado pela expressão (5.3) [6, Sec. 5.3]:

$$\phi = \phi_0 \cdot \phi_h \cdot \phi_m \quad (5.3)$$

Em que:

$\phi_0$  Valor base:  $\phi_0 = 1/200$  ;

$\phi_h$  Coeficiente de redução, calculado em função de  $h$  através de:  
 $\phi_h = 2/\sqrt{h}$  mas  $2/3 \leq \phi_h \leq 1.0$

Coeficiente de redução associado ao número de colunas num piso:  
 $\phi_m = \sqrt{0.5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$

$h$  Altura da estrutura em metros;

$m$  Número de colunas num piso, incluindo apenas aquelas que estão submetidas a um esforço axial  $N_{Ed}$  superior ou igual a 50% do valor médio por coluna no plano vertical considerado.

A análise das imperfeições que compõem os elementos do passadiço foi feita com recurso a forças laterais equivalentes com um valor correspondente a uma fração das cargas gravíticas PP, RCP e SC.

## 5.2 ANÁLISE GLOBAL

Os esforços de uma estrutura podem ser determinados através de uma análise de 1º ordem, considerando uma geometria inicial da estrutura, ou através de uma análise de 2º ordem tendo em consideração a influência da deformada.

As estrutura não suscetíveis a efeitos de 2º ordem satisfazem o critério:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \quad (\text{para a análise elástica}) \quad (5.4)$$

Em que:

- $\alpha_{cr}$  Fator pelo qual as ações de cálculo teriam de ser multiplicadas para provocar a instabilidade elástica num modelo global;
- $F_{cr}$  Valor crítico do carregamento associado à instabilidade elástica num modo global com deslocamentos laterais, determinado com base nos valores de rigidez iniciais;
- $F_{Ed}$  Valor de cálculo do carregamento da estrutura.

O fator crítico ( $\alpha_{cr}$ ) poderá ser determinado pelo método de Horne, proposto pelo EC3-1-1:

$$\alpha_{cr} = \left( \frac{H_{Ed}}{V_{tot,Ed}} \right) \left( \frac{H}{\delta_{H,Ed}} \right) \quad (5.5)$$

Em que:

- $H_{Ed}$  Valor de cálculo da carga horizontal total, incluindo forças equivalentes;
- $V_{tot,Ed}$  Valor de cálculo da carga vertical total transmitida pelo piso;
- $\delta_{H,Ed}$  Deslocamento horizontal no topo do piso;
- $H$  Altura do piso.

## 5.3 VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS ELEMENTOS METÁLICOS

Os elementos metálicos são dimensionados com base nos esforços de cálculo nas secções mais solicitadas, e nos elementos (colunas, vigas e colunas vigas) a partir das expressões que controlam os fenómenos de encurvadura global (varejamento, bambeamento) respeitando as expressões do EC3-1-1 .

Os coeficientes parciais de segurança que são usados em pontes metálicas são definidos no EC3-2 e iguais a:  $\gamma_{M0}=1,0$ ;  $\gamma_{M1}=1,1$ ;  $\gamma_{M2}=1,25$  [7].

### 5.3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS SECÇÕES TRANSVERSAIS

As secções transversais classificam-se em 4 classes [24]:

- Classe 1 - São aquelas em que se pode formar uma rótula plástica com uma capacidade de rotação superior à mínima exigida para utilização de métodos plásticos de análise;
- Classe 2 - São aquelas em que é possível atingir o momento plástico, mas que possui uma capacidade de rotação limitada;
- Classe 3 - São aquelas em que a tensão na fibra extrema mais comprimida do elemento de aço, assumindo uma distribuição elástica, pode atingir o valor da

tensão de cedência, mas em que o momento plástico poderá não ser atingido, devido à encurvadura local;

- Classe 4 - São aquelas onde a encurvadura local impede que seja atingida a tensão de cedência nas zonas mais comprimidas da secção.

O gráfico da figura seguinte mostra a diferença de comportamento das várias classes de secções comparando o momento resistente (M) com a rotação da secção ( $\phi_s$ ).

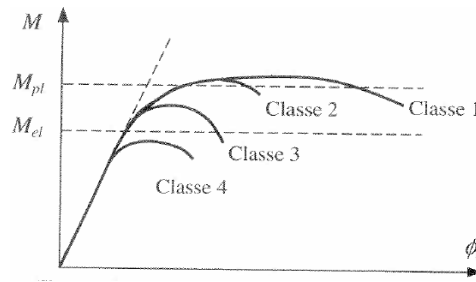


Figura 5.4 – Classe das Secções [24].

A classe das secções é definida a partir dos limites máximos das relações largura-espessura para componentes comprimidos conforme os Quadros 5.1 e 5.2 [6, Sec. 5.6].

Quadro 5.1 - Limites máximos das relações largura-espessura para componentes internos comprimidos.

Componentes internos comprimidos						
				Eixo de flexão		
				Eixo de flexão		
Classe	Componente solicitado à flexão	Componente solicitado à compressão	Componente solicitado à flexão e à compressão			
Distribuição das tensões nos componentes (compressão positiva)						
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	quando $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{396 \epsilon}{13 \alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{36 \epsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	quando $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{456 \epsilon}{13 \alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{41,5 \epsilon}{\alpha}$			
Distribuição das tensões nos componentes (compressão positiva)						
3	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$	quando $\psi > -1$ : $c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ quando $\psi \leq -1$ : $c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Quadro 5.2 - Limites máximos das relações largura-espessura para componentes de banzos em consola comprimidos

Banzos em consola						
Seções laminadas			Seções soldadas			
Classe	Componente solicitado à compressão	Componente solicitado à flexão e à compressão				
		Extremidade comprimida		Extremidade traccionada		
Distribuição das tensões nos componentes (compressão positiva)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Distribuição das tensões nos componentes (compressão positiva)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_\sigma}$				
Para $k_\sigma$ ver a EN 1993-1-5						
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

### 5.3.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (N)

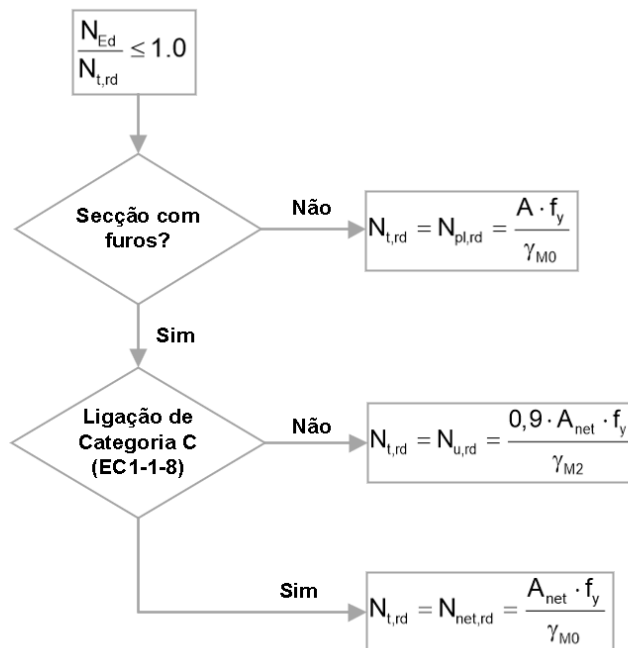


Figura 5.5 – Verificação da resistência das secções à tração.

Em que:

$N_{Ed}$  Valor de cálculo do esforço normal de tração atuante de cálculo;

$N_{t,rd}$  Valor de cálculo do esforço normal resistente de tração;

- $N_{pl,rd}$  Valor de cálculo do esforço normal resistente plástico da secção bruta;
- $N_{u,rd}$  Valor de cálculo do esforço normal resistente último da secção útil na zona com furos de ligação;
- $N_{net,rd}$  Valor de cálculo do esforço normal resistente plástico de tração da secção transversal útil;
- $A$  Área de uma secção transversal;
- $A_{net}$  Área útil de uma secção transversal.

### 5.3.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (N)

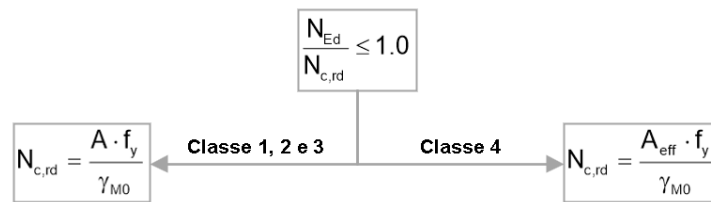


Figura 5.6 - Verificação da resistência das secções à compressão.

Em que:

- $N_{c,rd}$  Valor de cálculo do esforço normal resistente de compressão;
- $A_{eff}$  Área efetiva de uma secção transversal.

### 5.3.4 RESISTÊNCIA AO MOMENTO FLETOR (M)

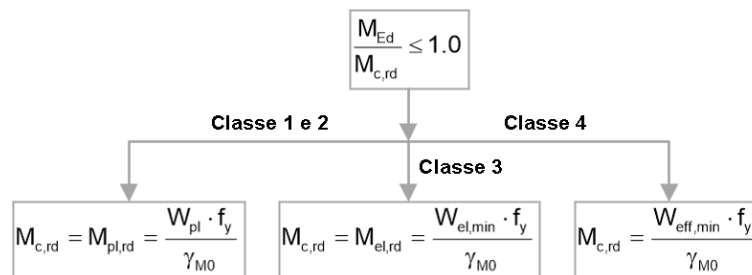


Figura 5.7 - Verificação da resistência das secções à flexão.

Sendo:

- $M_{Ed}$  Valor de cálculo do momento fletor atuante;
- $M_{c,rd}$  Valor de cálculo do momento fletor resistente em relação a um eixo principal de uma secção transversal;
- $M_{pl,rd}$  Valor de cálculo do momento fletor resistente plástico em relação a um eixo principal de uma secção transversal;
- $M_{el,rd}$  Valor de cálculo do momento fletor resistente elástico em relação a um eixo principal de uma secção transversal;
- $W_{pl}$  Módulo de flexão plástico de uma secção transversal;

$W_{el,min}$  Módulo de flexão elástico mínimo de uma secção transversal;

$W_{eff,min}$  Módulo de flexão mínimo de uma secção transversal efetiva.

### 5.3.5 RESISTÊNCIA AO ESFORÇO TRANSVERSO (V)

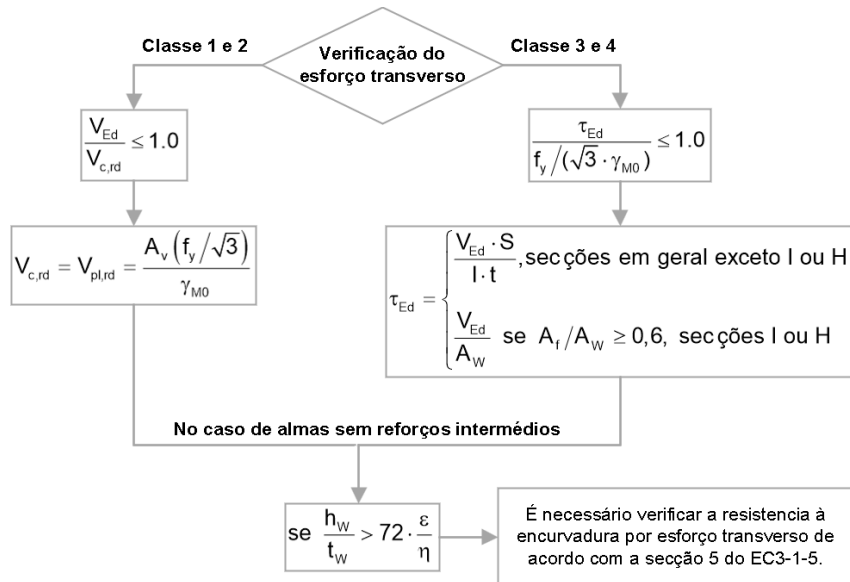


Figura 5.8 - Verificação da resistência das secções ao esforço transversal.

Em que:

$V_{Ed}$  Valor do esforço transversal atuante;

$V_{c,rd}$  Valor de cálculo do esforço transversal resistente;

$V_{pl,rd}$  Valor de cálculo do esforço transversal resistente plástico;

$\tau_{Ed}$  Valor de cálculo da tensão tangencial na alma;

$A_v$  Área resistente ao esforço transversal;

$A_f$  Área de um banzo;

$A_w$  Área da alma;

$h_w$  Altura da alma;

$t_w$  Espessura da alma;

$\epsilon$  Fator que depende de  $f_y$ ;

$\eta$  Coeficiente para calcular a área de corte (valor poderá ser considerado 1 de forma conservativa, ou obtido na secção 5 do EC3-1-5).

### 5.3.6 RESISTÊNCIA À TORÇÃO (T)

$$\frac{T_{Ed}}{T_{rd}} \leq 1 \quad (5.6)$$

$$T_{Ed} = T_{t,Ed} + T_{w,Ed} \quad (5.7)$$

Em que:

$T_{Ed}$  Valor de cálculo do momento torsor atuante;

$T_{Rd}$  Valor de cálculo do momento torsor resistente;

$T_{t,Ed}$  Valor de cálculo do momento torsor uniforme atuante (St. Venant);

$T_{w,Ed}$  Valor de cálculo do momento torsor não uniforme atuante.

Na Figura 5.9 ilustra-se o diagrama de momentos torsores de uma secção em I submetida a torção uniforme ( $T_t$ ) e torsão não uniforme ( $T_w$ ).

De referir, que só as secções de paredes finas abertas são submetidas a torção não uniforme, uma vez que são mais suscetíveis ao empenamento.

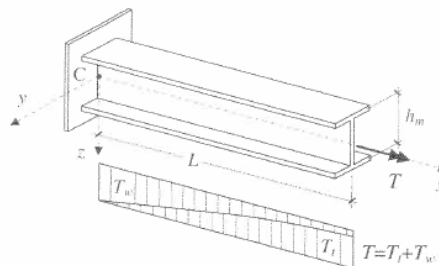


Figura 5.9 – Seção submetida a torção uniforme e não uniforme [24, Sec. 3.5.1].

### 5.3.6.1 TORÇÃO UNIFORME

Na torção uniforme a peça está sujeita a uma rotação em torno do eixo X por comprimento que se relaciona com o momento torsor através da expressão (5.8) [24, Sec. 3.5.2]:

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{T_\tau}{G \cdot I_t} \quad (5.8)$$

Em que:

$T_\tau$  Momento torsor uniforme de St. Venant;

$I_t$  Constante de torção uniforme;

$G$  Módulo de distorção;

$\frac{d\varphi}{dx}$  Rotação em torno do eixo da peça devido à torção.

As tensões tangenciais devido ao momento torsor uniforme (St. Venant) são calculadas pelas expressões indicadas no Quadro 5.3.

**Quadro 5.3 - Tensões tangenciais e constante de torção em secções correntes [24].**

Secção	Tensão tangencial	Constante de torção
Circular (maciça ou oca)	$\tau_r = \frac{T}{I_p} r$	$I_T = I_p$
Fechada de paredes finas (tubular)	$\tau_r = \frac{T}{2 A_m t}$	$I_T = \frac{4 A_m^2}{\oint \frac{ds}{t}}$
Aberta de paredes finas	$\tau_{r,máx} \approx \frac{T}{I_T} t_{i,máx}$	$I_T \approx \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n h_i t_i^3$

### 5.3.6.2 TORÇÃO NÃO UNIFORME

Na torção não uniforme o momento torsor é determinado pela expressão (5.9), em que  $T_w$  obtém-se a partir dos binários de forças  $V_{sup}$  e  $V_{inf}$  com braços iguais a  $h_m$  conforme se mostra na Figura 5.10.

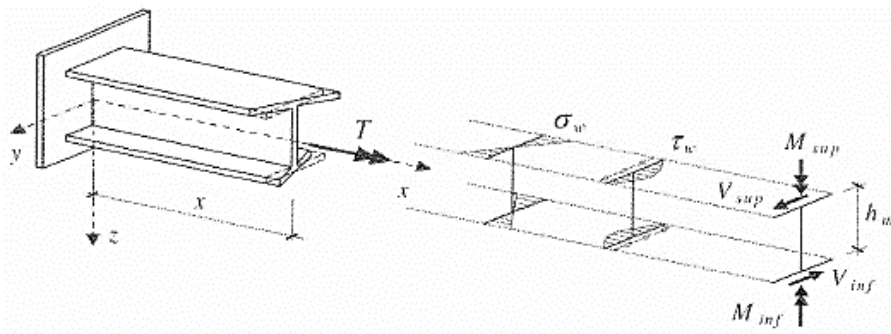
$$T_w = V_{sup} \cdot h_m = -\frac{d^3 \varphi(x)}{dx^3} \cdot E \cdot I_{fz} \cdot \frac{h_m}{2} \cdot h_m = -E \cdot I_w \cdot \frac{d^3 \varphi(x)}{dx^3} \quad (5.9)$$

Em que:

$I_{fz}$  Momento de Inércia do banzo em relação ao eixo z;

$I_w$  Constante de empenamento ( $I_w = I_{fz} \cdot (h_m^2 / 2)$ );

$\tau_{w,Ed}$  Valor de cálculo das tensões devido ao momento torsor não uniforme atuante.



**Figura 5.10 – Deformações e tensões devidas à deformação dos banzos.**

### 5.3.7 RESISTÊNCIA À TORÇÃO COM ESFORÇO TRANSVERSO (T+V)

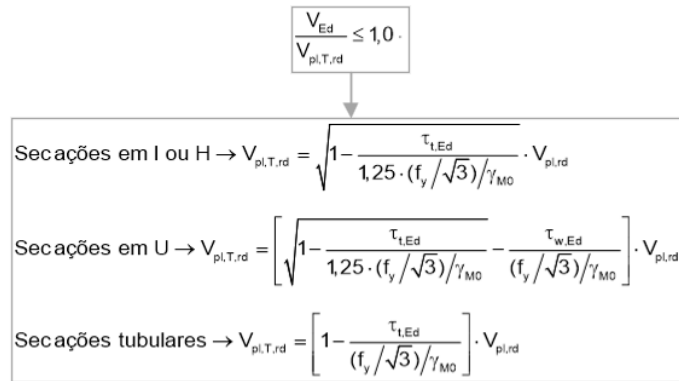


Figura 5.11 - Verificação da resistência das secções à torção com esforço transverso.

Em que:

$V_{pl,T,rd}$  Valor de cálculo do esforço transverso reduzido pelo momento torsor;

$\tau_{t,Ed}$  Valor de cálculo das tensões devido ao momento torsor de St. Venant atuante;

$\tau_{w,Ed}$  Valor de cálculo das tensões devido ao momento torsor não uniforme atuante.

### 5.3.8 RESISTÊNCIA À FLEXÃO COM ESFORÇO TRANSVERSO (V+M)

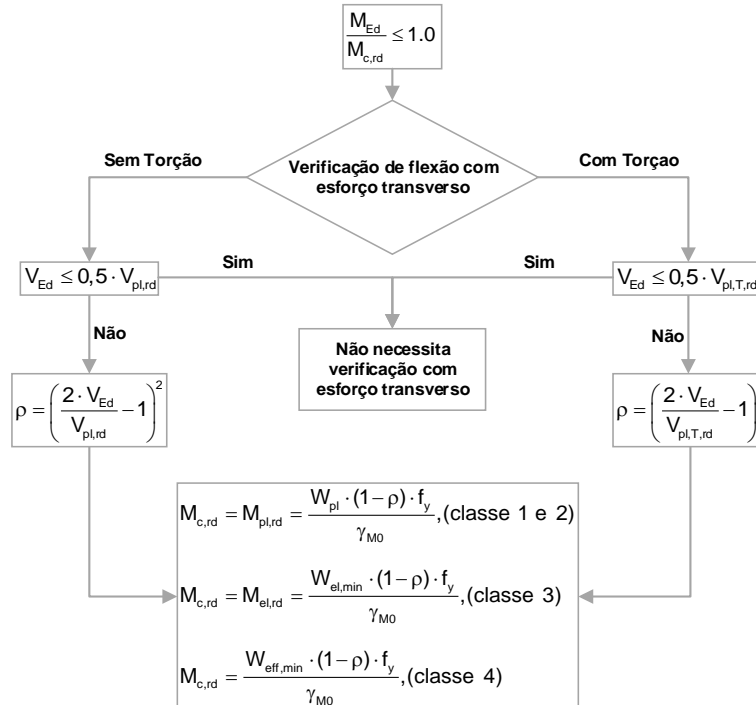


Figura 5.12 - Verificação da resistência das secções à flexão com esforço transverso.

Em que:

- $V_{Ed}$  Valor de cálculo do esforço transversal atuante;
- $V_{pl,rd}$  Valor de cálculo do esforço transversal resistente plástico;
- $\rho$  Coeficiente de redução para determinar valores de cálculo de momentos flectores resistentes, com ação simultânea de esforço transversal;
- $M_{Ed}$  Valor de cálculo do momento fletor atuante;
- $M_{c,rd}$  Valor de cálculo do momento fletor resistente em relação a um eixo principal de uma secção transversal;
- $M_{pl,rd}$  Valor de cálculo do momento fletor resistente plástico em relação a um eixo principal de uma secção transversal;
- $M_{el,rd}$  Valor de cálculo do momento fletor resistente elástico em relação a um eixo principal de uma secção transversal;
- $W_{PL}$  Módulo de flexão plástico de uma secção transversal;
- $W_{el,min}$  Módulo de flexão elástico mínimo de uma secção transversal;
- $W_{eff,min}$  Módulo de flexão mínimo de uma secção transversal efetiva.

### 5.3.9 RESISTÊNCIA À FLEXÃO COMPOSTA (N+M)

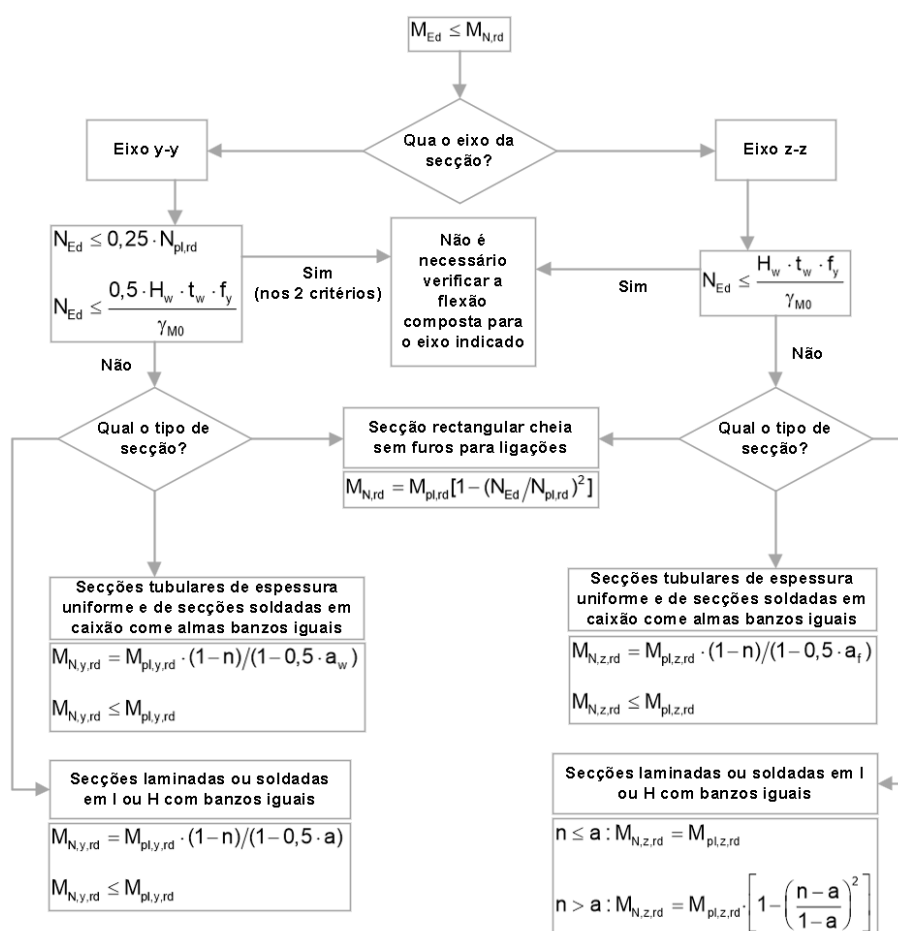


Figura 5.13 - Fluxograma para a verificação da resistência das secções à flexão composta.

Em que:

- $M_{Ed}$  Valor de cálculo do momento fletor atuante em relação ao eixo y-y da secção transversal;
- $M_{N,rd}$  Valor de cálculo do momento fletor resistente reduzido pela interação com o esforço normal;
- $M_{N,y,rd}$  Valor de cálculo do momento fletor resistente reduzido pela interação com o esforço normal, em relação ao eixo y-y;
- $M_{N,z,rd}$  Valor de cálculo do momento fletor resistente reduzido pela interação com o esforço normal, em relação ao eixo z-z;
- $M_{pl,rd}$  Valor de cálculo do momento fletor resistente plástico;
- $M_{pl,y,rd}$  Valor de cálculo do momento fletor resistente plástico em relação ao eixo y-y;
- $M_{pl,z,rd}$  Valor de cálculo do momento fletor resistente plástico em relação ao eixo z-z;
- $N_{Ed}$  Valor de cálculo do esforço normal atuante;
- $N_{pl,rd}$  Valor de cálculo do esforço normal resistente plástico da secção bruta;
- A Área da secção transversal;
- b Largura da secção transversal;
- $t_f$  Espessura do banzo;
- $t_w$  Espessura da alma;
- $h_w$  Altura da alma.

Em que:

n Relação entre valores de cálculo de esforços normais atuante e resistente plástico:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,rd}$$

a Relação entre a área da alma e a área bruta de uma secção transversal:

$$a = \min \begin{cases} a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A \\ a \leq 0,5 \end{cases}$$

$a_w$  Área de uma alma:

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t) / A \text{ mas } a_w \leq 0,5 \text{ para secções tubulares}$$

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A \text{ mas } a_w \leq 0,5 \text{ para secções em caixão soldadas}$$

$a_f$  Área de um banzo:

$$a_f = (A - 2 \cdot b \cdot t) / A \text{ mas } a_f \leq 0,5 \text{ para secções tubulares}$$

$$a_f = (A - 2 \cdot b \cdot t_w) / A \text{ mas } a_f \leq 0,5 \text{ para secções em caixão soldadas}$$

### 5.3.10 RESISTÊNCIA À FLEXÃO COMPOSTA COM ESFORÇO TRANSVERSO

(N+V+M)

Nas secções das classes 1 e 2 se o esforço transversal atuante for inferior a 50% do esforço transversal resistente plástico não é necessário proceder à redução dos esforços resistentes, conforme se ilustra nos fluxogramas das Figuras 5.8 e 5.12.

Caso não se verifique a condição anterior os momentos resistentes plásticos devem ser reduzidos pelo fator “ $(1-\rho)f_y$ ”.

### 5.3.11 RESISTÊNCIA À FLEXÃO DESVIADA COM ESFORÇO AXIAL (N+M<sub>y</sub>+M<sub>z</sub>)

A expressão para as secções das classes 1 e 2 é:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,rd}} \right]^\beta \leq 1 \quad (5.10)$$

Em que:

$M_{y,Ed}$  Valor de cálculo do momento fletor atuante em relação ao eixo y-y da secção transversal;

$M_{N,y,rd}$  Valor de cálculo do momento fletor resistente reduzido pela interação com o esforço normal, em relação ao eixo y-y;

$M_{z,Ed}$  Valor de cálculo do momento fletor atuante em relação ao eixo z-z da secção transversal;

$M_{N,z,rd}$  Valor de cálculo do momento fletor resistente reduzido pela interação com o esforço normal, em relação ao eixo z-z;

$\alpha$  e  $\beta$  Constantes que poderão, de forma conservativa, ser consideradas iguais a 1, ou então ser calculadas da seguinte forma:

- Secções em I ou H:

$$\alpha = 2 ; \beta = 5n \text{ mas } \beta \geq 1$$

- Secções circulares tubulares:

$$\alpha = 2 ; \beta = 2 \text{ mas } M_{N,y,rd} = M_{N,z,rd} = M_{pl,rd} (1 - n^{1.7})$$

- Secções retangulares tubulares:

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2} \text{ mas } \alpha = \beta \leq 6$$

Em que:

n Relação entre valores de cálculo de esforços normais atuante e resistente plástico ( $n = N_{Ed} / N_{pl,rd}$ ).

### 5.3.12 RESISTÊNCIA À ENCURVADURA DE ELEMENTOS UNIFORMES COMPRIMIDOS (N)

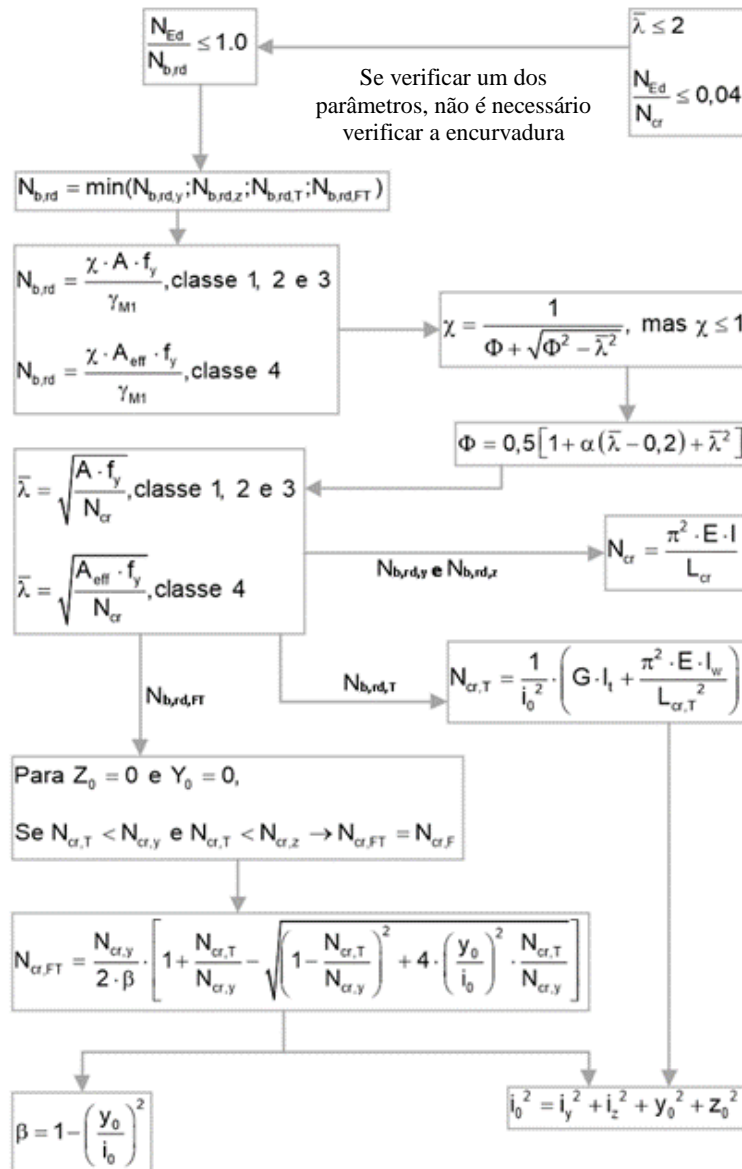


Figura 5.14 - Verificação da resistência à encurvadura de elementos uniformes comprimidos.

Em que:

$N_{Ed}$  Valor de cálculo do esforço normal atuante;

$N_{brd}$  Valor de cálculo do esforço normal mínimo resistente à encurvadura de um elemento comprimido para o eixo y-y, eixo z-z, torção e flexão-torção;

$\chi$  Coeficiente de redução associado ao modo de encurvadura considerado;

$\Phi$  Valor para determinar o coeficiente de redução  $\chi$  ;

$\bar{\lambda}$  Esbelteza normalizada;

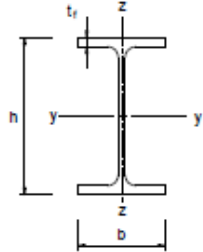
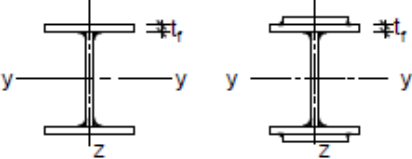
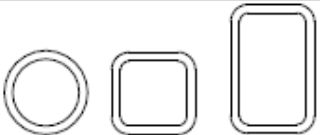
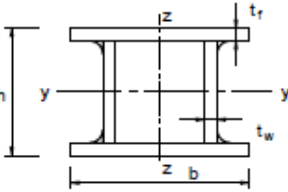
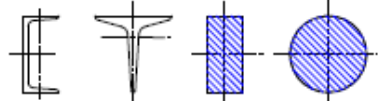
$\alpha$  Fator de imperfeição (Quadro 5.4) de acordo com a curva de encurvadura (Quadro 5.5);

$N_{cr}$	Valor crítico do esforço normal para o modo de encurvadura elástica considerado, determinado com base nas propriedades da secção transversal bruta;
$N_{cr,T}$	Valor crítico do esforço normal para o modo de encurvadura elástica à torção considerado, determinado com base nas propriedades da secção transversal bruta;
$N_{cr,FT}$	Valor crítico do esforço normal para o modo de encurvadura elástica à flexão-torção considerado, determinado com base nas propriedades da secção transversal bruta;
$L_{cr}$	Comprimento de encurvadura no plano de encurvadura considerado;
$L_{cr,T}$	Comprimento de encurvadura à torção;
$E$	Módulo de elasticidade;
$G$	Módulo de distorção;
$I$	Momento de inércia no plano de encurvadura considerado;
$I_t$	Constante de torção;
$I_w$	Constante de empenamento;
$i_y$	Raio de giração em relação ao eixo z-z;
$i_z$	Raio de giração em relação ao eixo z-z;
$y_0$	Distância em y-y do centro de corte ao centro de gravidade da secção bruta;
$z_0$	Distância em z-z do centro de corte ao centro de gravidade da secção bruta.

**Quadro 5.4 - Fatores de imperfeição para curvas de encurvadura [6, Sec. 6.3.1.1].**

Curva de encurvadura	$a_0$	a	b	c	d
Factor de imperfeição $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Quadro 5.5 – Escolha da curva de encurvadura em função da secção transversal [6, Sec. 6.3.1.1].

Secção transversal		Limites	Encurvadura em relação ao eixo	Curva de encurvadura	
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Perfis laminados		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	a a <sub>0</sub>
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$ mm	y-y z-z	b c
		$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100$ mm	y-y z-z	b c
			$t_f > 100$ mm	y-y z-z	d c
Perfis I soldados		$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	b c	
		$t_f > 40$ mm	y-y z-z	c d	
Secções tubulares		acabadas a quente	qualquer	a	a <sub>0</sub>
		enformadas a frio	qualquer	c	c
Secções em caixão soldadas		em geral (excepto como abaixo indicado)	qualquer	b	b
		soldaduras espessas: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	qualquer	c	c
Perfis U, Te secções chatas			qualquer	c	c

Nota: As curvas de encurvadura devido à torção ou flexão-torção são as mesmas que as do eixo z-z (Quadro 5.5).

### 5.3.13 RESISTÊNCIA À ENCURVADURA PARA ELEMENTOS UNIFORMES À FLEXÃO (M)

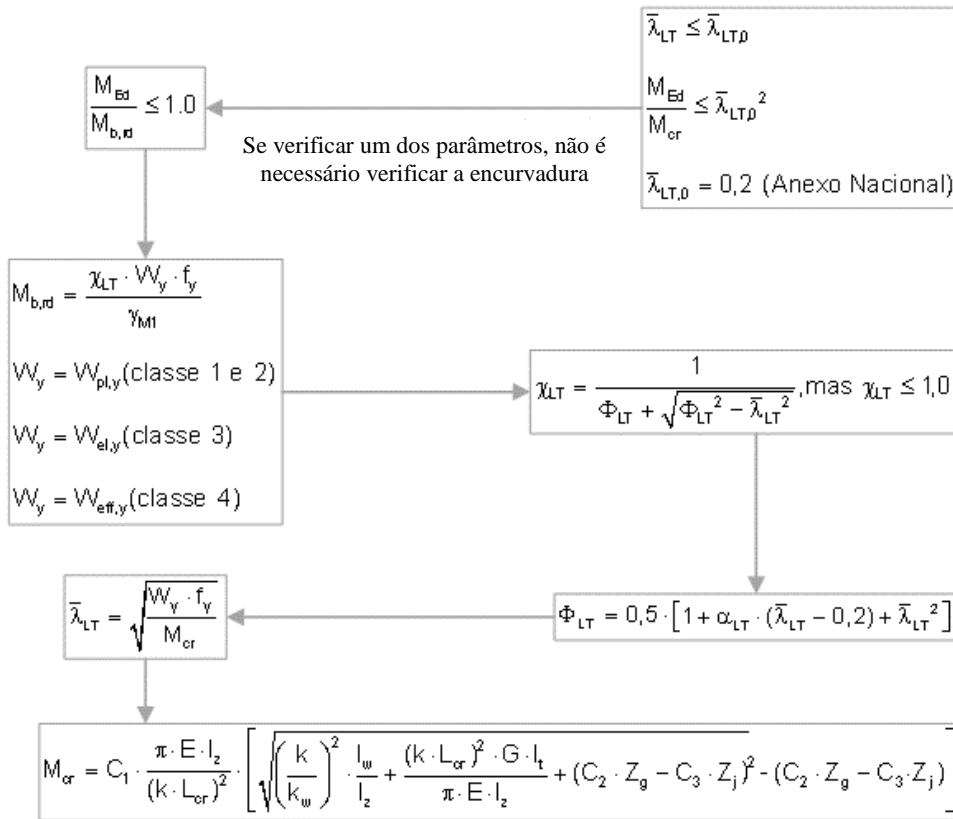


Figura 5.15 - Verificação da resistência à encurvadura de elementos uniformes em flexão [6], [25], [26].

Em que:

- $M_{Ed}$  Valor de cálculo do esforço normal atuante;
- $M_{b,rd}$  Valor de cálculo do esforço normal mínimo resistente à encurvadura de um elemento comprimido para o eixo y-y, eixo z-z, torção e flexão-torção;
- $W_{pl,y}$  Módulo de flexão plástico da secção transversal em relação ao eixo y-y;
- $W_{el,y}$  Módulo de flexão elástico da secção transversal em relação ao eixo y-y;
- $W_{eff,y}$  Módulo de flexão da secção transversal efetiva em relação ao eixo y-y.
- $\chi_{LT}$  Coeficiente de redução associado ao modo de encurvadura considerado;
- $\Phi_{LT}$  Valor para determinar o coeficiente de redução  $\chi$ ;
- $\bar{\lambda}_{LT}$  Esbelteza normalizada para encurvadura lateral;
- $\bar{\lambda}_{LT,0}$  Comprimento do patamar das curvas de dimensionamento à encurvadura lateral de vigas constituídas por perfis laminados e soldados equivalentes;
- $\alpha_{LT}$  Fator de imperfeição (Quadro 5.7) de acordo com a curva de encurvadura (Quadro 5.6);
- $M_{cr}$  Valor crítico do esforço normal para o modo de encurvadura elástica considerado, determinado com base nas propriedades da secção transversal bruta (\*1)

Em que:

- $L_{cr}$  Comprimento de encurvadura no plano de encurvadura considerado (Y-Y);
- $C_1, C_2, C_3$  Constantes que depende da configuração do diagrama de momentos (ver [25], [27, Sec. Annex F] );
- $G$  Módulo de distorção;
- $I_z$  Momento de inércia no plano de encurvadura considerado (z-z);
- $I_t$  Constante de torção;
- $I_w$  Constante de empenamento;
- $k$  Coeficiente de encurvadura associado à flexão em torno do eixo Z, pode tomar valores de 0,5 a 1;
- $K_w$  Coeficiente que traduz o grau de impedimento ao empenamento nas extremidades da viga ou do troço;
- $z_g$  Distância do ponto de aplicação das cargas transversais ao centro de corte da secção:  
 $z_g = z_a - z_s$ ;
- $z_j$  Parâmetro que traduz o grau de assimetria da secção, em relação ao eixo y-y, sendo nulo em vigas de secção duplamente simétrica e positivo quando o banzo comprimido for o de maior momento de inércia em torno de z-z:  
 $z_j = z_s - 0,5 \int A(y^2 + z^2)z \, dA / I_y$ ;
- $z_a$  Distância ponto de aplicação da carga transversal em relação ao centro de gravidade da secção;
- $z_s$  Distância do centro de corte ao centro de gravidade.
- (\*<sup>1</sup>) - Nota: pode ser calculado no software LTbeanN [24], [25], [27, Sec. Annex F] [28].

**Quadro 5.6 – Curvas de encurvadura lateral para secções transversais [4].**

Secção transversal	Limites	Curva de encurvadura
Secções em I laminadas	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Secções em I soldadas	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d

**Quadro 5.7 – Fatores de Imperfeição para curvas de encurvadura lateral [4].**

Curva de encurvadura	a	b	c	d
Factor de imperfeição $\alpha_{LT}$	0,21	0,34	0,49	0,76

### 5.3.14 RESISTÊNCIA À ENCURVADURA DE ELEMENTOS UNIFORMES EM FLEXÃO COMPOSTA COM COMPRESSÃO (N+M)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (5.11)$$

Em que:

- $N_{Ed}$  Valor de cálculo do esforço normal atuante;
- $N_{rk}$  Valores característicos da resistência à compressão;
- $M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$  Valores de cálculo do momento fletor atuantes no elemento em relação aos eixos y-y e z-z, respetivamente;
- $\Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed}$  Momento devido ao afastamento do eixo baricêntrico y-y e z-z, respetivamente (para secções de classe 4);
- $M_{y,Rk}, M_{z,Rk}$  Valores característicos da resistência à flexão;
- $\chi_y, \chi_z$  Coeficientes de redução associado ao modo de encurvadura considerado;
- $\chi_{LT}$  Coeficiente de redução devido à encurvadura lateral;
- $k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$  Fatores de interação (Quadro 5.8 para elementos não suscetíveis à torção e Quadro 5.9 para elementos suscetíveis à torção).

Quadro 5.8 – Fatores de interação  $k_{ij}$  para elementos não susceptíveis à deformação por torção [6, Sec. Anexo B].


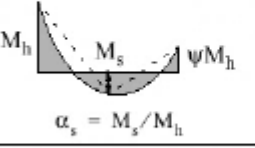
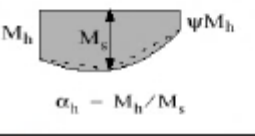
Factores de interação	Tipo de secções	Hipóteses de cálculo	
		Propriedades elásticas das secções transversais Classe 3, Classe 4	Propriedades plásticas das secções transversais Classe 1, Classe 2
$k_{yy}$	Secções em I Secções tubulares rectangulares	$C_{my} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
$k_{yz}$	Secções em I Secções tubulares rectangulares	$k_{yz}$	$0,6 k_{yz}$
$k_{zy}$	Secções em I Secções tubulares rectangulares	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
$k_{zz}$	Secções em I	$C_{mz} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	Secções tubulares rectangulares		$C_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

Para secções em I e H e para secções tubulares rectangulares submetidas a compressão axial e a flexão recta  $M_{y,Ed}$ , o factor  $k_{zy}$  poderá considerar-se  $k_{zy} = 0$ .

Quadro 5.9 - Fatores de interação  $k_{ij}$  para elementos susceptíveis à deformação por torção [6, Sec. Anexo B].

Factores de interação	Hipóteses de cálculo	
	Propriedades elásticas das secções transversais Classe 3, Classe 4	Propriedades plásticas das secções transversais Classe 1, Classe 2
$k_{yy}$	$k_{yy}$ do Quadro B.1	$k_{yy}$ do Quadro B.1
$k_{yz}$	$k_{yz}$ do Quadro B.1	$k_{yz}$ do Quadro B.1
$k_{zy}$	$\left[ 1 - \frac{0,05 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[ 1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$	$\left[ 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ para $\bar{\lambda}_z < 0,4$ : $k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z \leq 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}}$
$k_{zz}$	$k_{zz}$ do Quadro B.1	$k_{zz}$ do Quadro B.1

**Quadro 5.10 – Coeficientes de momento uniforme equivalente dos Quadros 5.8 e 5.9**[6, Sec. Anexo B].

Diagrama de momentos	Domínio de aplicação		$C_{my}$ e $C_{mz}$ e $C_{mLT}$	
			Carga uniforme	Carga concentrada
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
 $\alpha_s = M_s/M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_b = M_h/M_s$	$0 \leq \alpha_b \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_b$	$0,90 + 0,10\alpha_b$
	$-1 \leq \alpha_b < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_b$	$0,90 + 0,10\alpha_b$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_b(1+2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_b(1+2\psi)$
Em elementos com modos de encurvadura associados a deslocamentos laterais, o coeficiente de momento uniforme equivalente deverá tomar-se igual a $C_{my} = 0,9$ ou $C_{mz} = 0,9$ , respectivamente.				
$C_{my}$ , $C_{mz}$ e $C_{mLT}$ deverão ser obtidos de acordo com o diagrama dos momentos flectores actuantes entre as secções de travamento, de acordo com:				
coeficiente de momento	eixo de flexão	travamento na direcção		
$C_{my}$	y-y	z-z		
$C_{mz}$	z-z	y-y		
$C_{mLT}$	y-y	y-y		

## 5.4 VERIFICAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES

O Anexo Nacional do EC3-1-1 estabelece alguns critérios a respeitar nas deformações dos elementos das estruturas metálicas.

### 5.4.1 DEFORMADA VERTICAL

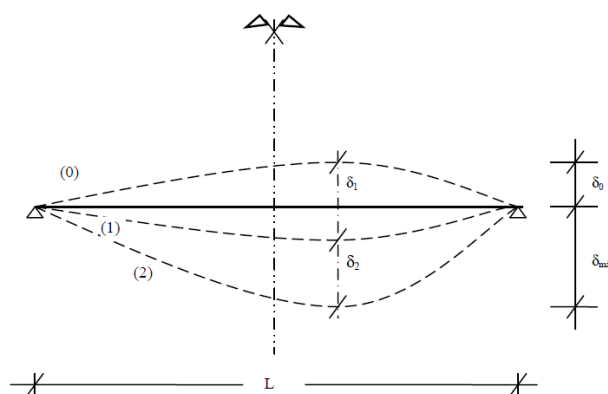
A deformação vertical é determinada por:

$$\delta_{\max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0 \quad (5.12)$$

Em que:

- $\delta_{\max}$  Flecha no estado final relativamente à linha reta que une os 2 apoios;
- $\delta_0$  Contra flecha da viga no estado não carregado (estado (0));
- $\delta_1$  Variação da flecha da viga devida às ações permanentes imediatamente após a sua aplicação (estado (1));
- $\delta_2$  Variação da flecha da viga devida à ação variável base associada aos valores de combinação das restantes ações variáveis (estado (2)).

A Figura 5.16 exemplifica os deslocamentos referidos na expressão anterior.



**Figura 5.16 – Deslocamentos verticais a considerar [6, Sec. Anexo Nacional NA].**

O Quadro 5.11 indica os deslocamentos verticais máximos em função do tipo de estrutura para  $\delta_{\max}$ ,  $\delta_2$  e do vão L.

**Quadro 5.11 – Valores recomendados para limites dos deslocamentos verticais [6, Sec. Anexo Nacional NA].**

Condições	Limites (ver a Figura NA.I)	
	$\delta_{\max}$	$\delta_2$
Coberturas em geral	L/200	L/250
Coberturas utilizadas frequentemente por pessoas, para além do pessoal de manutenção	L/250	L/300
Pavimentos em geral	L/250	L/300
Pavimentos e coberturas que suportem rebocos ou outros acabamentos frágeis ou divisórias não flexíveis	L/250	L/350
Pavimentos que suportem colunas (a não ser que o deslocamento tenha sido incluído na análise global para o estado limite último)	L/400	L/500
Quando $\delta_{\max}$ possa afectar o aspecto do edifício	L/250	-

*NOTA: No caso geral, L representa o vão da viga. No caso de vigas em consola, L representa duas vezes o vão real da consola.*

## 5.4.2 DEFORMADA HORIZONTAL

No Quadro 5.12 indicam-se os deslocamentos horizontais máximos em função da altura “h” para diferentes tipos de estruturas.

**Quadro 5.12 – Limites recomendados para deslocamentos horizontais.**

Tipo de Estrutura		Deslocamento Limite
Pórticos sem aparelhos de elevação		h/150
Outros edifícios de 1 só piso		h/300
Edifícios de vários pisos	Em cada piso	h/300
	Estrutura global	h/500

## 5.5 VERIFICAÇÃO DO CRITÉRIO DE CONFORTO DEVIDO À AÇÃO DE PEÕES (ANÁLISE DINÂMICA)

Os Eurocódigos não indicam métodos de análise dinâmica para a ação dos peões em pontes pedonais, e estabelecem apenas critérios para os valores das acelerações máximas (Anexo A2 do EC0).

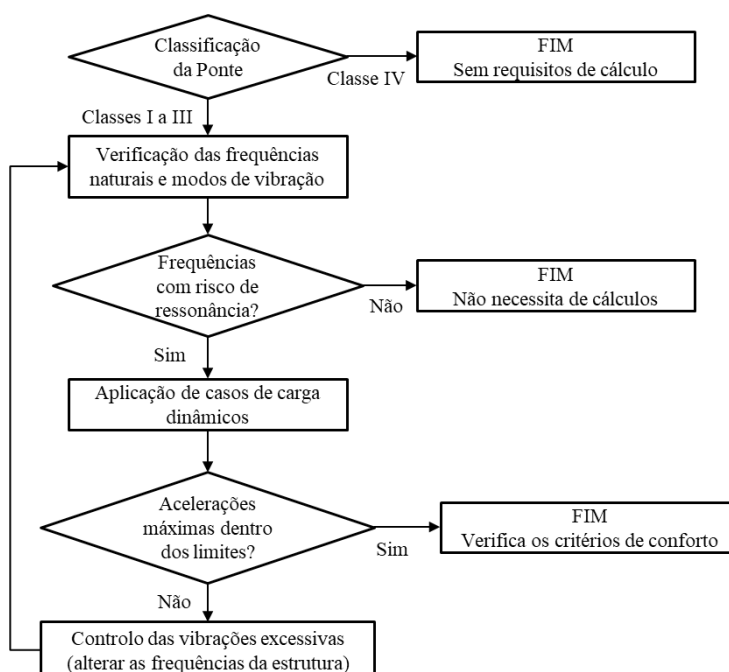
**Quadro 5.13 – Acelerações máximas para verificação do critério de conforto [19].**

Tipo	Acelerações Máximas Recomendadas (m/s <sup>2</sup> )
Vibrações Verticais	0.7
Vibrações Horizontais	0.2
Condição Excepcional de Multidão	0.4

Existem vários métodos para a análise e quantificação das ações humanas em pontes pedonais tais como:

- Os métodos do anexo nacional da Grã-Bretanha e do Norte da Irlanda [29];
- As normas Australianas (AS 5100.2-2004) [29];
- O método “HIVOSS” alemão [30];
- O método “SÉTRA” francês [31][32].

Neste projeto usou-se o método de “SÉTRA” [32] cuja metodologia se resume no fluxograma e nos pontos seguintes.



**Figura 5.17 – Metodologia para verificação dos níveis de conforto [32].**

Este método refere que devem ser respeitados os níveis de conforto indicados nos quadros da Figura 5.18.

Acceleration ranges	0	0.5	1	2.5
Range 1	Max			
Range 2		Mean		
Range 3			Min	
Range 4				

Table 2.1: Acceleration ranges (in m/s<sup>2</sup>) for vertical vibrations

Acceleration ranges	0	0.1	0.15	0.3	0.8
Range 1	Max				
Range 2			Mean		
Range 3				Min	
Range 4					

Table 2.2: Acceleration ranges (in m/s<sup>2</sup>) for horizontal vibrations

**Figura 5.18 – Critérios de conforto - Acelerações para vibrações verticais (Quadro à esquerda) e para ações horizontais (Quadro à direita) [32].**

### 5.5.1 CLASSIFICAÇÃO DA CLASSE DO PASSADIÇO

A classificação da ponte pedonal foi realizada de acordo com o Quadro 5.14.

**Quadro 5.14 – Classificação do passadiço segundo o método “SÉTRA” [32].**

Classe	Descrição da utilização
I	Passadiço urbano ligando áreas de alta densidade de pedestres (por exemplo, presença de uma estação ferroviária ou subterrânea) ou que é frequentemente usado por multidões densas (manifestações, turistas, etc.), sujeitos a tráfego muito pesado.
II	Passadiço urbano que conecta áreas povoadas, sujeitas a tráfego intenso e que pode ocasionalmente, ser carregado em toda a sua área de apoio.
III	Passadiço para uso padrão, que ocasionalmente pode ser atravessada por grandes grupos de pessoas, mas nunca será carregado em toda a sua área de rolamento.
IV	Passadiço raramente usado, construída para ligar áreas pouco povoadas ou para garantir continuidade do percurso pedonal em autoestrada ou vias expressas.

### 5.5.2 COEFICIENTES DE COMPORTAMENTO E DE AMORTECIMENTO

Os coeficientes de comportamento e de amortecimento considerados foram de 1.5 e 0.02, respetivamente e são iguais aos da ação sísmica.

### 5.5.3 CLASSIFICAÇÃO DAS FREQUÊNCIAS PRÓPRIAS DA ESTRUTURA

O cálculo das frequências próprias foi realizado a partir de duas análises modais independentes com a intervenção das seguintes ações:

- PP + RCP;
- PP + RCP + Peões.

A densidade dos peões por m<sup>2</sup> está definida no Quadro 5.15 de acordo com a classe do passadiço.

*Nota: Considerou-se para cada peão um peso de 700 Newton.*

**Quadro 5.15 – Densidade de peões por m<sup>2</sup> [32].**

Classe	Densidade de peões
I	0.5 /m <sup>2</sup>
II	0.8 /m <sup>2</sup>
III	1 /m <sup>2</sup>

A classificação do risco de ressonância depende das frequências próprias da estrutura.

Classifica-se de “Range 1” nos casos de risco elevado e de “Range 4” nos casos sem risco de ressonância.

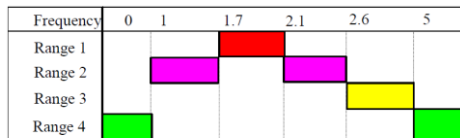


Table 2.3: Frequency ranges (Hz) of the vertical and longitudinal vibrations

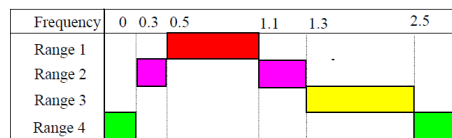


Table 2.4: Frequency ranges (Hz) of the transverse horizontal vibrations

**Figura 5.19 –Frequências vs “Ranges” [32].**

### 5.5.4 AÇÕES

As ações foram simuladas por cargas uniformemente distribuídas recorrendo a funções do tipo sinusoidal.

Existem três casos de ações considerados no método “SÉTRA”.

**Quadro 5.16 - Casos considerados segundo a classe e o risco de ressonância [32].**

Casos de carga a considerar				
Trafic	Classe	Risco de Ressonância		
		1	2	3
Disperso	III	Caso 1	---	---
Denso	II		Caso 1	Caso 3
Muito Denso	I	Caso 2	Caso 2	Caso 3

As ações laterais, longitudinais e verticais estudadas nos diferentes casos nunca atuam em simultâneo.

Os rácios de amortecimento crítico aplicados no cálculo das cargas dinâmicas foram retirados do Quadro 5.17 [32].

**Quadro 5.17 – Rácio de amortecimento crítico [32].**

Type of deck	Critical damping ratio	
	Minimum value	Average value
Reinforced concrete	0.8%	1.3%
Prestressed concrete	0.5%	1.0%
Metal	0.2%	0.4%
Mixed	0.3%	0.6%
Timber	1.5%	3.0%

Os diferentes casos das ações analisados nos pontos seguintes são traduzidas pela expressão (5.13). Nesta expressão a força  $F_0$  corresponde ao carregamento a aplicar no modelo atribuindo-lhe uma função com um comportamento sinusoidal ao longo do tempo.

$$F(t) = F_0 \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t) \quad (5.13)$$

#### 5.5.4.1 CASO 1 (CASE 1)

Para o caso 1, de acordo com a classificação da Quadro 5.16 devem ser aplicadas na estrutura as cargas uniformemente distribuídas do tipo sinusoidal indicadas:

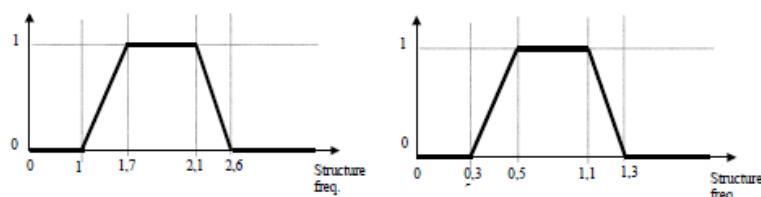
**Quadro 5.18 – Carga uniformemente distribuída sinusoidal - Caso 1.**

Direção	Carga por m2
Vertical (v)	$d \times (280\text{N}) \times \cos(2 \pi f v t) \times 10.8 \times (\xi/n)^{1/2} \times \psi$
Longitudinal (l)	$d \times (140\text{N}) \times \cos(2 \pi f v t) \times 10.8 \times (\xi/n)^{1/2} \times \psi$
Transversal (t)	$d \times (35\text{N}) \times \cos(2 \pi f v t) \times 10.8 \times (\xi/n)^{1/2} \times \psi$

Em que:

- $d$  Densidade de peões (Quadro 5.15);
- $f$  Frequência própria da estrutura de acordo com o modo de vibração associado à direção da carga.
- $\xi$  Rácio de amortecimento crítico (Quadro 5.17);
- $n$  Número de peões a considerar no tabuleiro ( $n = \text{área}^{\text{tabuleiro}} \times d$ );
- $\psi$  Coeficiente de minoração das cargas de acordo com a frequência.

As funções atribuídas para os valores  $\psi$  respeitaram os indicados na Figura 5.20.



**Figura 5.20 – Valores de  $\psi$  para vibrações verticais à esquerda e à direita para vibrações laterais [32].**

#### 5.5.4.2 CASO 2 (CASE 2)

Para o caso 2 e segundo a classificação do quadro da Quadro 5.16 devem ser aplicadas na estrutura os modelos de carregamento sinusoidal indicados:

**Quadro 5.19 – Carga uniformemente distribuída sinusoidal - Caso 2.**

Direção	Carga por m2
Vertical (v)	$1.0 \times (280\text{N}) \times \cos(2 \pi f v t) \times 1.85 (1/n)^{1/2} \times \psi$

Longitudinal (l)	$1.0 \times (140\text{N}) \times \cos(2 \pi f_v t) \times 1.85 (1/n)^{1/2} \times \psi$
Transversal (t)	$1.0 \times (35\text{N}) \times \cos(2 \pi f_v t) \times 1.85 (1/n)^{1/2} \times \psi$

Nota: Para os valores de  $\psi$  foram considerados os indicados nos gráficos da Figura 5.20.

### 5.5.4.3 CASO 3 (CASE 3)

Para as classes I e II considerou-se um outro caso de carregamento correspondente ao dobro da frequência do 1º harmónico de acordo com o método “SÉTRA”.

Para este caso e segundo a classificação da Quadro 5.16 aplicaram-se na estrutura as ações indicadas nos quadros seguintes:

**Quadro 5.20 – Carga uniformemente distribuída sinusoidal para classe I - Caso 3.**

Direção	Carga por m2
Vertical (v)	$1.0 \times (70\text{N}) \times \cos(2 \pi f_v t) \times 1.85 (1/n)^{1/2} \times \psi$
Longitudinal (l)	$1.0 \times (35\text{N}) \times \cos(2 \pi f_v t) \times 1.85 (1/n)^{1/2} \times \psi$
Transversal (t)	$1.0 \times (7\text{N}) \times \cos(2 \pi f_v t) \times 1.85 (1/n)^{1/2} \times \psi$

**Quadro 5.21 – Carga uniformemente distribuída sinusoidal para classe II - Caso 3.**

Direção	Carga por m2
Vertical (v)	$d \times (70\text{N}) \times \cos(2 \pi f_v t) \times 10.8 \times (\xi/n)^{1/2} \times \psi$
Longitudinal (l)	$d \times (35\text{N}) \times \cos(2 \pi f_v t) \times 10.8 \times (\xi/n)^{1/2} \times \psi$
Transversal (t)	$d \times (7\text{N}) \times \cos(2 \pi f_v t) \times 10.8 \times (\xi/n)^{1/2} \times \psi$

Nota: Para o valores de  $\psi$  atribuíram-se os dos gráficos da Figura 5.21.

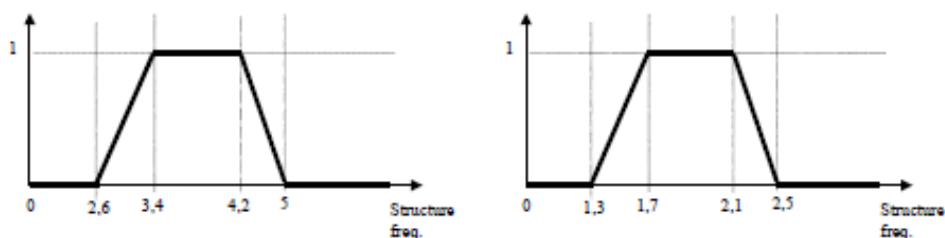


Figura 5.21 – Valores de  $\psi$  para vibrações verticais considerados à esquerda e à direita para vibrações laterais [32].

## 5.6 VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES

As ligações foram calculadas com base no EC3-1-8 e no software “Idea Statica”.

### 5.6.1 LIGAÇÕES APARAFUSADAS

No dimensionamento das ligações aparafusadas é necessário garantir a resistência dos parafusos e de todos os outros elementos da ligação.

O EC3-1-8 classifica as ligações aparafusadas por categorias A, B, C, D e E de acordo com o Quadro 5.22, sendo necessário proceder às verificações indicados no quadro seguintes.

**Quadro 5.22 - Categorias de ligações aparafusadas [8].**

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

Em que:

- $F_{v,Ed}$  Valor de cálculo do esforço transversal por parafuso no Estado Limite Último;
- $F_{t,Ed}$  Valor de cálculo do esforço de tração por parafuso no Estado Limite Último;
- $F_{v,Ed,ser}$  Valor de cálculo do esforço transversal por parafuso no Estado Limite Utilização;
- $N_{net,Rd}$  Valor de cálculo da resistência plástica da secção útil que intercepta os furos dos parafusos;
- $F_{t,Rd}$  Valor de cálculo da resistência à tração por parafuso;
- $F_{v,Rd}$  Valor de cálculo da resistência ao esforço transversal por parafuso;
- $F_{b,Rd}$  Valor de cálculo da resistência ao esmagamento do parafuso;
- $F_{s,Rd}$  Valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso no Estado Limite Último;
- $F_{s,Rd,ser}$  Valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso no Estado Limite Utilização;
- $B_{p,Rd}$  Valor de cálculo da resistência ao punção da cabeça do parafuso ou da porca.

As expressões de dimensionamento das ligações aparafusadas estão nos subcapítulos seguintes.

### 5.6.1.1 RESISTÊNCIA AO CORTE POR PLANO DE CORTE

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (5.14)$$

Em que:

- $\alpha_v$  Quando o plano de corte atravessa a parte roscada do parafuso:  
- Para classes 4.6, 5.6 e 8.8:  $\alpha_v=0.6$ ;  
- Para classes 4.8, 8.8, 6.8 e 10.9:  $\alpha_v=0.5$ ;  
Quando o plano de corte não atravessa a parte roscada:  $\alpha_v=0.6$ .
- A Área da secção do parafuso (quando o plano de corte atravessa a parte roscada é  $A_s$  [área da secção resistente], quando não atravessa a parte roscada é a área bruta da secção transversal).

### 5.6.1.2 RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (5.15)$$

Em que:

- $k_1$  Para parafusos de extremidade  $k_1$  é o menor dos valores:  
 $2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7$ ;  $1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7$ ; 2.5  
Para parafusos interiores  $k_1$  é o menor dos valores:  
 $1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7$ ; 2.5
- $\alpha_b$  É o menor dos valores:  $\alpha_d$ ;  $\frac{f_{ub}}{f_u}$  e 1.0;  
Em que  $f_{ub}$  é a resistência do parafuso e  $f_u$  a resistência da chapa;
- $\alpha_b$  Para parafusos de extremidade:  $\alpha_b = e_1/3d_0$   
Para parafusos interiores:  $\alpha_b = p_1/3d_0 - 0.25$
- $d$  Diâmetro nominal do parafuso;
- $t$  Espessura da chapa.

### 5.6.1.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (5.16)$$

Em que:

$k_2$   $K_2=0.63$ , para parafusos com cabeça de embeber; noutros casos  $k_2=0.9$ ;

$A_s$  Área da secção resistente do parafuso.

#### 5.6.1.4 RESISTÊNCIA AO PUNÇOAMENTO

$$B_{b,Rd} = \frac{0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (5.17)$$

Em que:

$d_m$  Diâmetro médio do parafuso [2];

$t$  Espessura da chapa.

#### 5.6.1.5 RESISTÊNCIA AO ESCORREGAMENTO NOS ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS E DE UTILIZAÇÃO

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,c} \quad (5.18)$$

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,c} \quad (5.19)$$

Em que:

$k_s$  Valores a considerar de acordo com o Quadro 5.23;

$\mu$  Valores a considerar de acordo com o Quadro 5.24;

$n$  Número de superfícies de atrito;

$F_{p,c}$  Valor do cálculo do pré-esforço calculado a partir de:

$$F_{p,c} = \frac{0.7 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M7}}$$

Nas ligações das categorias B e C quando existe simultaneamente tração e corte devem ser utilizadas as expressões e os valores  $K_s$  e  $\mu$  indicados nos Quadros 5.23 e 5.24.

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot (F_{p,c} - 0.8F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{M3}} \quad (5.20)$$

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot (F_{p,c} - 0.8F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}} \quad (5.21)$$

Em que:

$F_{t,Ed}$  Valor de tração atuante de tração.

**Quadro 5.23 – Valores de  $k_s$  [8].**

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

**Quadro 5.24 – Classificação adotada para as superfícies de atrito [34]**

Tratamento superficial	Classe	Coefficiente de atrito $\mu$
Superfícies decapadas com granalha de aço ou jacto de areia, isenta de ferrugem e corrosão alveolar ou punctiforme.	A	0,50
Superfícies decapadas com granalha de aço ou jacto de areia: a) metalização por projecção com produtos à base de alumínio ou zinco; b) com pintura de silicato de zinco alcalino com uma espessura de 50 $\mu\text{m}$ a 80 $\mu\text{m}$ .	B	0,40
Superfícies limpas com escova de aço ou com chama, isenta de ferrugem.	C	0,30
Superfícies tal como laminadas.	D	0,20

### 5.6.1.6 RESISTÊNCIA À COMBINAÇÃO DE CORTE E TRAÇÃO

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (5.22)$$

### 5.6.2 LIGAÇÕES SOLDADAS

O dimensionamento das ligações soldadas foi realizado segundo o método simplificado a partir do Quadro 5.25 e das seguintes expressões [8, Sec. 4]:

$$\frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} \leq 1,0 \quad (5.23)$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \quad (5.24)$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (5.25)$$

Em que:

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

$F_{w,Rd}$  Valor de cálculo da resistência da soldadura por unidade de comprimento;

$f_{vw,d}$  Valor de cálculo da resistência ao corte da soldadura;

$f_u$  Valor nominal da tensão de rotura à tração da peça de ligação mais fraca;

$\beta_w$  Fator de correlação apropriado obtido no Quadro 5.25;

$a$  Espessura nominal efetiva de um cordão de soldadura.

**Quadro 5.25 – Fator de correlação  $\beta_w$  para soldaduras de ângulo [8, Sec. 4].**

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

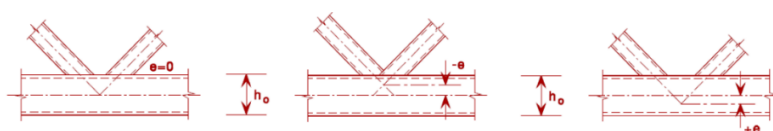
### 5.6.3 JUNTAS SOLDADAS DE PERFIS TUBULARES

Nestas ligações foi dada uma particular atenção uma vez que constituem a maior parte dos nós da ponte e das torres do projeto.

Nestas uniões procedeu-se à análise da resistência de todos os componentes, tendo em conta os seguintes critérios:

- Os momentos resultantes das excentricidades podem se desprezados se cumprirem a condição:

$$-0.55 h_0 \leq e \leq 0.25 h_0 \quad (5.26)$$



**Figura 5.22 – Excentricidades das juntas [8].**

Nestas ligações têm de ser realizadas as seguintes verificações:

- O domínio de validade com base no Quadro 5.26;
- As condições indicadas no Quadro 5.27;
- A rotura da face da corda e do elemento diagonal conforme as condições expostas no Quadro 5.29.

**Quadro 5.26 – Domínio de validade das juntas soldadas entre diagonais do tipo CHS e RHS e cordas RHS [8].**

Tipo de junta	Parâmetros das juntas [ $i = 1$ ou $2, j =$ elemento diagonal sobreposto ]					
	$b_i/b_0$ ou $d_i/b_0$	$b_i/t_i$ e $h_i/t_i$ ou $d_i/t_i$		$h_0/b_0$	$b_0/t_0$	Afastamento ou sobreposição $b_i/b_j$
		Compressão	Tracção	e $h_i/b_i$	e $h_0/t_0$	
T, Y ou X	$b_i/b_0 \geq 0,25$	$b_i/t_i \leq 35$ e $h_i/t_i \leq 35$	$b_i/t_i \leq 35$ e $h_i/t_i \leq 35$	$\geq 0,5$ mas $\leq 2,0$	$\leq 35$ e Classe 1 ou 2	–
K com afastamento N com afastamento	$b_i/b_0 \geq 0,35$ e $\geq 0,1 + 0,01 b_0/t_0$	Classe 1 ou 2			Classe 1 ou 2	$g/b_0 \geq 0,5(1 - \beta)$ mas $\leq 1,5(1 - \beta)^{1)}$  e como mínimo $g \geq t_1 + t_2$
K com sobreposição N com sobreposição	$b_i/b_0 \geq 0,25$	Classe 1			Classe 1 ou 2	$25 \% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim}^{2)}$  $b_i/b_j \leq 0,75$
Elemento diagonal circular	$d_i/b_0 \geq 0,4$ mas $\leq 0,8$	Classe 1	$d_i/t_i \leq 50$	Como acima mas com $d_i$ substituindo $b_i$ e $d_j$ substituindo $b_j$		

<sup>1)</sup> Se  $g/b_0 > 1,5(1 - \beta)$  e  $g > t_1 + t_2$  tratar a junta como se fossem duas juntas distintas, em T ou em Y.

<sup>2)</sup>  $\lambda_{ov,lim} = 60\%$  no caso de o comprimento oculto da junta não estar soldado e  $80\%$  no caso de esse comprimento oculto ter sido soldado. Se a sobreposição exceder  $\lambda_{ov,lim}$ , ou se as diagonais forem secções tubulares rectangulares com  $h_1 < b_1$  e/ou  $h_j < b_j$ , a ligação entre as diagonais e a face da corda deverá ser verificada ao corte.

**Quadro 5.27 – Condições suplementares para a utilização do Quadro 5.29 [8].**

Tipo de elemento diagonal	Tipo de junta	Parâmetros da junta	
Secção tubular quadrada	T, Y ou X	$b_i/b_0 \leq 0,85$	$b_0/t_0 \geq 10$
	K com afastamento ou N com afastamento	$0,6 \leq \frac{b_1 + b_2}{2b_1} \leq 1,3$	$b_0/t_0 \geq 15$
Secção tubular circular	T, Y ou X		$b_0/t_0 \geq 10$
	K com afastamento ou N com afastamento	$0,6 \leq \frac{d_1 + d_2}{2d_1} \leq 1,3$	$b_0/t_0 \geq 15$

No caso das condições anteriores não serem verificadas têm de ser analisadas os seguintes modos de rotura:

- Rotura por plastificação na face da corda ou na secção do elemento;
- Rotura por plastificação da parede lateral da corda, esmagamento ou instabilidade sob o elemento diagonal comprimido;
- Rotura por corte da corda;
- Rotura por punçoamento resultante da fissuração que conduz à separação dos elementos;
- Rotura do elemento diagonal conduzindo a uma largura efetiva reduzida devido à fissuração das soldaduras ou nas barras diagonais;

- Rotura por encurvadura local.

*Nota: Nos casos em que a rotura da face da corda não se verifique deve ser colocado um reforço, recorrendo a uma chapa de banzo soldada na face da corda, conforme se mostra no Quadro 5.28.*

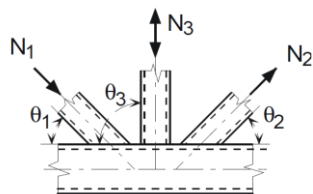
**Quadro 5.28 – Reforço com chapas de banzo de modo a impedir fenómenos de roturas em ligações [8].**

Tipo de junta	Valor de cálculo da resistência [ $i = 1$ ou $2$ ]
Reforçada com chapas de banzo para evitar a rotura da face da corda, a rotura do elemento diagonal ou o punçoamento.	
	$\ell_p \geq 1,5 \left( \frac{h_1}{\sin \theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right)$ $b_p \geq b_0 - 2t_0$ $t_p \geq 2t_1 \text{ e } 2t_2$ <p>Considerar <math>N_{1,Rd}</math> como sendo o valor de <math>N_{1,Rd}</math> para uma junta em K ou em N conforme o Quadro 7.12, mas com <math>t_0</math> substituído por <math>t_p</math> unicamente para a rotura da face da corda, para a rotura dos elementos diagonais e para o punçoamento.</p>

Nas juntas do tipo “KT” quando as barras 1 e 3 estão comprimidas e a barra 2 está tracionada, a ligação pode ser analisada como uma junta “K” desde que se verifiquem as expressões:

$$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1 \quad (5.27)$$

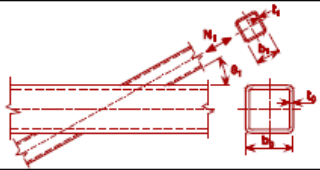
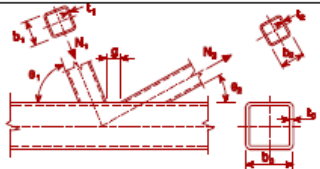
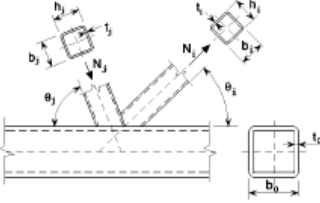
$$N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1 \quad (5.28)$$



**Figura 5.23 – Junta KT [8]**

Nas juntas do tipo “KT” o esforço  $N_{1,Rd}$  é calculado a partir do Quadro 5.29.

**Quadro 5.29 – Valores de cálculo do esforço normal resistente de juntas soldadas em perfis tubulares com secção quadrada ou circular [8].**

Tipo de junta	Valor de cálculo da resistência [ $i = 1$ ou $2$ , $j =$ elemento diagonal sobreposto]
Juntas em T, Y e X	Rotura da face da corda $\beta \leq 0,85$
	$N_{i,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1-\beta) \sin \theta_1} \left( \frac{2\beta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$
Juntas em K e em N com afastamento	Rotura da face da corda $\beta \leq 1,0$
	$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \gamma^{0,5} k_n f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \left( \frac{b_1 + b_2}{2b_0} \right) / \gamma_{M5}$
Juntas em K e em N com sobreposição <sup>*)</sup>	Rotura do elemento diagonal $25\% \leq \lambda_{ov} < 50\%$
O elemento i e o elemento j poderão estar traccionados ou comprimidos, mas um deverá estar traccionado e o outro comprimido. 	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left( b_{eff} + b_{a,ov} + 2h_i \frac{\lambda_{ov}}{50} - 4t_i \right) / \gamma_{M5}$
	Rotura do elemento diagonal $50\% \leq \lambda_{ov} < 80\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left[ b_{eff} + b_{a,ov} + 2h_i - 4t_i \right] / \gamma_{M5}$
	Rotura do elemento diagonal $\lambda_{ov} \geq 80\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left[ b_1 + b_{a,ov} + 2h_i - 4t_i \right] / \gamma_{M5}$
Parâmetros $b_{eff}$ , $b_{a,ov}$ e $k_n$	
$b_{eff} = \frac{10}{b_0 / t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_1 \text{ mas } b_{eff} \leq b_1$	Para $n > 0$ (compressão): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta} \text{ mas } k_n \leq 1,0$
$b_{a,ov} = \frac{10}{b_j / t_j} \frac{f_{yj} t_j}{f_{yi} t_i} b_1 \text{ mas } b_{a,ov} \leq b_1$	Para $n \leq 0$ (tracção): $k_n = 1,0$
No caso de elementos diagonais circulares, multiplicar as resistências acima indicadas por $\pi/4$ , substituir $b_1$ e $h_1$ por $d_1$ e substituir $b_2$ e $h_2$ por $d_2$ .	
<sup>*)</sup> Só é necessário verificar o elemento diagonal $i$ que sobrepõe. A eficácia do elemento diagonal sobreposto $j$ (ou seja, o valor de cálculo da resistência da junta dividido pelo valor de cálculo da resistência plástica do elemento diagonal) deverá ser considerada igual à do elemento diagonal que sobrepõe. Ver também o Quadro 7.8.	

Em que:

$\beta$  Para junta T, Y, X:

$$b_1 / b_0$$

Para junta K e N:

$$(b_1 + b_2 + h_1 + h_2) / (4 \cdot b_0)$$

Para junta KT:

$$(b_1 + b_2 + b_3 + h_1 + h_2 + h_3) / (6 \cdot b_0)$$

$\lambda_{ov}$  Coeficiente de sobreposição em percentagem:

$$\lambda_{ov} = (q / p) \times 100\%$$

## 5.7 VERIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO

### 5.7.1 ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO

#### 5.7.1.1 PLINTOS

a) Verificação à flexão composta:

O dimensionamento foi realizado pela expressão (5.29) e pelo Quadro 5.30 [1, Sec. 6.2.3]:

$$\left(\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}}\right)^c + \left(\frac{M_{Ed,z}}{M_{Rd,z}}\right)^c \leq 1 \quad (5.29)$$

Quadro 5.30 – Coeficientes “c”.

$N_{Ed}/N_{Rd}$	0.1	0.7	1.0
$c$	1	1.5	2.0

Para as armaduras longitudinais respeitaram-se os valores mínimos e máximos calculados pelas expressões [1, Sec. 9.4]:

$$A_{s,\min} = \frac{0.1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} \geq 0.002 A_c \quad (5.30)$$

$$A_{s,\max} = 0.04 \cdot A_c \quad (5.31)$$

Em que:

$A_c$  Área da secção de betão.

Em relação aos espaçamentos dos varões longitudinais cumpriram-se as condições [9]:

$$d \geq \max \begin{cases} k_1 \cdot \phi \\ d_g \cdot k_2 \\ 20 \text{ cm} \end{cases} \quad (5.32)$$

*Nota: De referir que os espaçamentos máximos entre os varões cintados não deve ser superiores a 150mm [1, Sec. 9.4].*

b) Verificação ao Esforço Transverso:

Na verificação ao esforço transverso respeitaram-se as expressões [9]:

$$V_{Ed} \geq V_{Rd} = \min \begin{cases} V_{Rd,s} \\ V_{Rd,\max} \end{cases} \quad (5.33)$$

$$V_{Rd,s} = f_{yd} \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot \cot(\theta) \quad (5.34)$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_1 \cdot \frac{f_{cd}}{\cot(\theta) + \tan(\theta)} \quad (5.35)$$

As armaduras de esforço transversal são calculadas por:

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{f_{yd} \cdot z \cdot \cot(\theta)} \quad (5.36)$$

As armaduras mínimas e máximas obedeceram aos seguintes critérios [9]:

$$\frac{A_{sw,min}}{s} \geq \rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin(\alpha) \quad (5.37)$$

$$\frac{A_{sw,max}}{s} \geq 0.5 \cdot \frac{\alpha_{cw} \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \cdot b_w}{f_{ywd}} \quad (5.38)$$

### 5.7.1.2 PAREDES RESISTENTES

O dimensionamento foi realizado com base em modelos “escora tirante” respeitando as armaduras mínimas e máximas regulamentares:

- Armaduras verticais [1, Sec. 9.5]:

$$0.04 \cdot A_c \geq A_{sv} \geq 0.002 \cdot A_c \quad (5.39)$$

- Armaduras horizontais [1, Sec. 9.5]:

$$A_{sh} \geq \max \begin{cases} 0.001 \cdot A_c \\ 0.25 \cdot A_{sv} \end{cases} \quad (5.40)$$

*Nota:*

- Aplicaram-se armaduras de cintagem com a configuração em “U” dispostas em quincôncio nas direções horizontal e vertical [1, Sec. 9.5].

As armaduras horizontais foram calculadas do mesmo modo que as armaduras do esforço transversal dos plintos.

### 5.7.2 SAPATAS

A verificação das fundações foi realizada através do EC7-1.

Este Eurocódigo classifica as estruturas geotécnicas em três tipos de categorias: CG1, CG2 e CG3.

Considerou-se que as fundações deste projeto pertencem à categoria geotécnica 2 (CG 2) [35], uma vez que a classe de consequência é a 2 [20, Sec. Anexo B] e tem um complexidade baixa/média.

A resistência do solo foi calculada pelo o método analítico do EC7-1 [36, Sec. Anexo D] apresentado no ANEXO IX deste documento.

As armaduras das sapatas foram dimensionadas com base em modelos discretos de escoras e tirantes indicados na Figura 5.24, considerando-as como rígidas, uma vez que a altura  $H$  é superior a  $H \geq (A - a)/4$ .

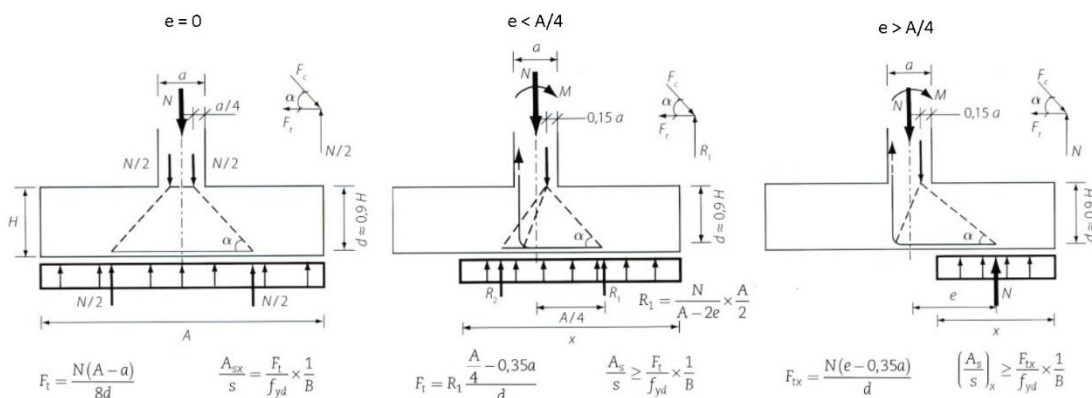


Figura 5.24 – Modelos discretos de escoras e tirantes [1].

### 5.7.2.1 ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS

Segundo o EC7-1 existem 3 abordagens de cálculo para os E.L. Últimos.

Nas fundações foi apenas necessário recorrer à “Abordagem de Cálculo 1”, a partir das seguintes combinações de ações: [36]

$$\text{Combinação 1: } A1 + M1 + R1 \quad (5.41)$$

$$\text{Combinação 2: } A2 + M2 + R1 \quad (5.42)$$

Os parâmetros “A”, “M” e “R” são os coeficientes parciais a aplicar nas ações e na capacidade resistentes do solo, respeitando a informação dos quadros seguintes.

Quadro 5.31 - Coeficientes parciais - Ações ( $\gamma_F$ )

Ação		Simbolo	A1	A2
Permanente	Desfavorável	$\gamma_G$	1.35	1.00
	Favorável		1.00	1.00
Variável	Desfavorável	$\gamma_Q$	1.50	1.30
	Favorável		0	0.00

**Quadro 5.32 - Coeficientes parciais - Parâmetros do Solo ( $\gamma_M$ )**

Parametro do solo	Símbolo	M1	M2
Angulo de atrito interno em tensões efetivas	$\gamma_\phi$	1.00	1.25
Coesão em tensões efetivas	$\gamma_c'$	1.00	1.25
Resistencia ao corte não drenada	$\gamma_{cu}$	1.00	1.40
Resistencia a compressão uniaxial	$\gamma_{qu}$	1.00	1.40
Peso Volumico	$\gamma_\gamma$	1.00	1.00

**Quadro 5.33 - Coeficientes parciais - Capacidades resistentes ( $\gamma_R$ ) das Fundações Superficiais.**

Parametro do solo	Símbolo	R1
Carregamento do terreno	$\gamma_{R,V}$	1.00
Deslizamento	$\gamma_{R,H}$	1.00

Segundo a “Abordagem de Cálculo 1” e respeitando os coeficientes parciais para as combinações 1, calculou-se o valor da ação vertical resultante  $V_d$ , incluindo também, os pesos do solo, dos plintos e da fundação.

As armaduras foram calculadas a partir da força de tração  $F_t$ .

A verificação da capacidade resistente do solo  $R_d$  foi feita para as duas combinações segundo a “Abordagem de Cálculo 1” recorrendo ao método analítico do Anexo D do EC7-1, tendo-se empregue a expressão  $V_d \leq R_d$  para a verificação da segurança

### 5.7.2.2 ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO - ASSENTAMENTOS (E.L.Ut.)

Dado as condições dos terrenos de fundações não serem particularmente adversas no presente projeto foi aplicado o “método indireto” no estudo dos assentamentos, válido para estruturas geotécnicas da categoria CG2.

Neste método adotou-se a combinação característica e valores unitários para os coeficientes parciais de segurança do solo e das capacidades resistentes.

Determinaram-se assim todas as ações resultantes características, incluindo a vertical  $V_k$  bem como o valor característico da capacidade resistente  $R_k$ .

Verificou-se a expressão (5.43) tendo-se adotado um fator de segurança global (FSG) igual a 3[35, Sec. 11.6.6.4].

$$V_k \leq \frac{R_k}{FSG} \quad (5.43)$$

*Nota: No caso do “método indireto” não ser assegurado os assentamentos têm de ser calculados a partir do “método direto”.*

## 6 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

A estrutura da ponte pedonal é constituída por duas treliças planas horizontais e duas verticais que recebem as ações do vento, do sismo e as cargas gravíticas respetivamente, formando um conjunto tridimensional.

As treliças verticais, vigas de flanco, são constituídas por vigas do tipo “Warren” (Figura 6.1), e as estruturas que compõem as consolas são do tipo “Culmann” (Figura 6.2).

Os pilares das torres têm também uma configuração treliçada do tipo “Warren”.

O objetivo do pré dimensionamento foi obter numa primeira aproximação as secções das barras das estruturas.

Para tal recorreu-se a modelos e a fórmulas de pré-dimensionamento simples, partindo das combinações de ações condicionantes dos estados limites últimos e de utilização, de modo a estimarem-se os valores dos esforços nas secções dos elementos das estruturas.

Foram consideradas as combinações de ações para os E.L.U. e E.L.Ut., para as ações variáveis base a sobrecarga e o vento.

Recorreu-se a uma folha de cálculo em “Excel” de modo a verificarem-se as secções dos elementos.

Optou-se por perfis das séries SHS e IPE.

Nas figuras seguintes mostra-se a geometria das estruturas adotadas nos modelos de pré-dimensionamento.

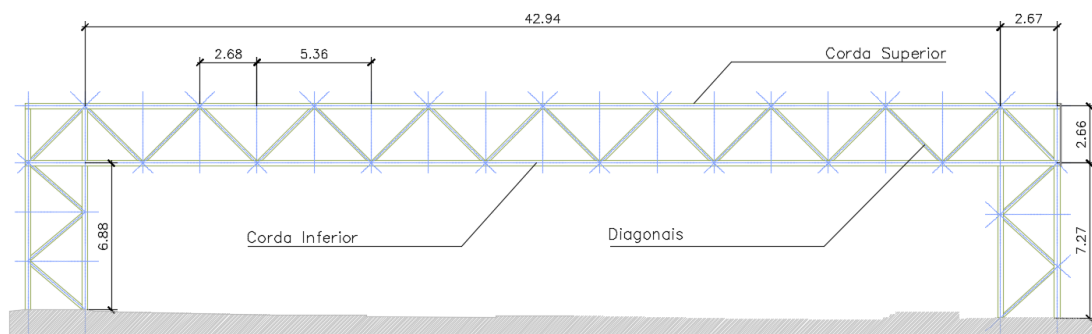


Figura 6.1 - Treliça do passadiço tipo “Warren Truss”.

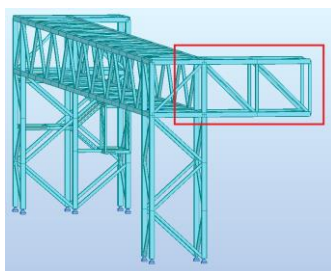


Figura 6.2 –Treliça da consola do passadiço na Torre 2 do tipo “Culmann Truss”.

## 6.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS DOS PAINÉIS VERTICAIS E HORIZONTAIS DA ESTRUTURA DA PONTE

As ações consideradas no pré-dimensionamento são as indicadas no Quadro 6.1.

Quadro 6.1 – Ações na treliça da ponte.

Ações		q (kN/m)
PP (Treliça Espacial)	Cordões	0,6
	Diagonais - Paineis verticais	0,2
	Diagonais e prumos - Paineis horizontais	0,2
RCP (tabuleiro)		6
SC (tabuleiro)		14,7
W (z-)		3,6
W (y+)		9,2

Na Figura 6.3 visualizam-se a corda mais solicitada considerando ações verticais e horizontais em simultâneo.

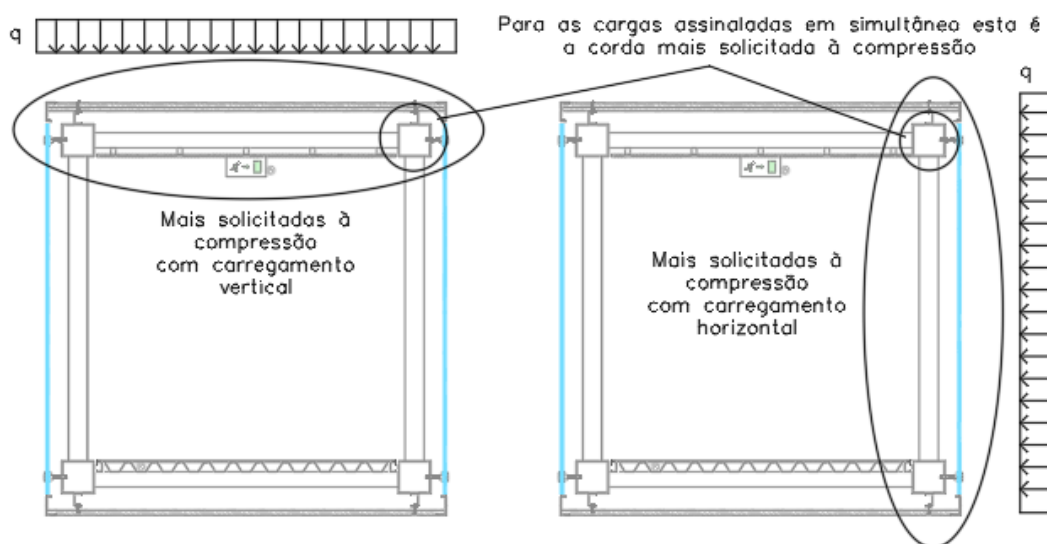


Figura 6.3 – Corte transversal da treliça - Ações.

O pré-dimensionamento foi executado recorrendo a várias iterações.

Numa 1ª fase considerou-se que a ponte funcionavam como simplesmente apoiada, embora sabendo-se à partida que as estruturas dos pilares impediam rotações livres.

Determinaram-se os esforços axiais nos cordões resultantes das forças dos binários que atuam separadamente nos quatro painéis das vigas da ponte. As barras interiores, prumos e montantes, foram calculados a partir dos diagramas de esforços transversos, com base no modelo em baixo e nas expressões seguintes:

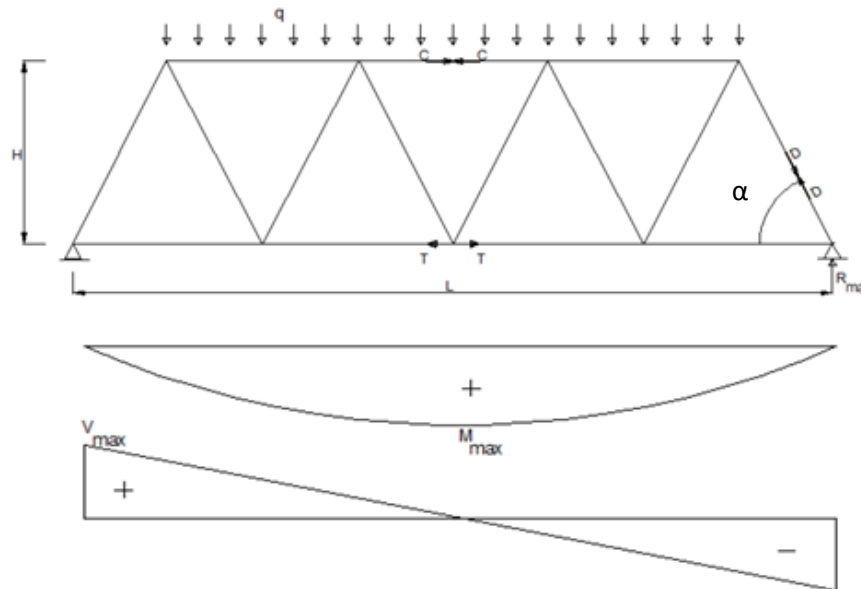


Figura 6.4 – Modelo de pré-dimensionamento da treliça tipo “Warren” [37].

Expressões para a quantificação dos esforços:

$$M_{\max} = \frac{q \cdot L^2}{8} \quad (6.1)$$

$$V_{\max} = \frac{q \cdot L}{2} \quad (6.2)$$

$$C = T = \frac{M_{\max}}{h} \quad (6.3)$$

$$D = \frac{V_{\max}}{\text{sen } \alpha} \quad (6.4)$$

Para as barras que formam as treliças dos pilares recorreu-se a um modelo em pórtico plano, onde se incluiu também a viga da treliça do tabuleiro.

Este modelo permitiu igualmente verificar se as vigas da ponte funcionavam parcialmente encastradas, e não simplesmente apoiadas como inicialmente se admitiu.

Com base nestas premissas determinaram-se os esforços máximos que constam dos Quadros 6.2 e 6.3.

**Quadro 6.2 – Esforços nos cordões mais solicitados.**

Combinação	Painel	nº Painéis	Braço do Binário (m)	Carga Q (kN/m)	N <sub>Ed</sub> na corda mais solicitada		
					M <sub>max</sub> (kN)	N <sub>Ed</sub> <sup>1 corda</sup> (kN)	N <sub>Ed,max</sub> <sup>1 corda</sup> (kN)
ELU (W)	Vertical	2	2,66	25,34	5844,07	1098,51	1695,35
	Horizontal			13,77	3175,19	596,84	
ELU (SC)	Vertical			33,42	7706,50	1448,59	1627,64
	Horizontal			4,13	952,56	179,05	

**Quadro 6.3 - Esforços nas diagonais mais solicitadas dos painéis horizontais e verticais.**

Combinação	Painel	nº Painéis	Angulo da Diagonal	Carga Q (kN/m)	N <sub>Ed</sub> nas diagonais mais solicitadas	
					V <sub>max</sub> (kN)	N <sub>Ed</sub> <sup>diagonal</sup> (kN)
ELU (W)	Vertical	2	45°	25,34	544,27	384,86
ELU (SC)	Vertical			33,42	717,72	507,50
ELU (W)	Horizontal			13,77	295,71	209,10

A partir dos esforços dos quadros calcularam-se as secções das barras tendo em conta os critérios de dimensionamento do capítulo 6 do EC3-1-1.

No Quadro 6.4 resumem-se as verificações realizadas.

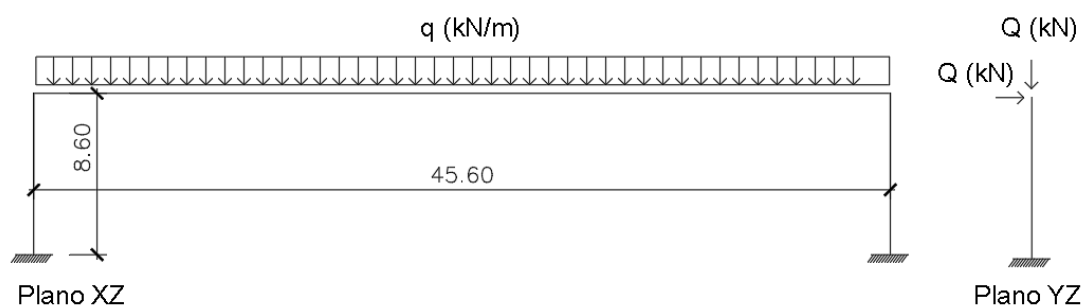
Constata-se que todos os perfis são de classe 1, sendo que a maioria das barras da ponte estão condicionadas por fenómenos de encurvadura (N<sub>b,Rd</sub>).

**Quadro 6.4 – Perfis adotados.**

Elemento	N <sub>Ed</sub> (kN)	L <sub>cr</sub> (m)	Perfil adotado	N <sub>b,Rd</sub> (kN)	Rácio
Cordões	1695,35	5,36	SHS 250x8 mm	1870,77	0,91
Diagonal - Painel Vertical	507,50	3,78	SHS 140x5 mm	534,48	0,95
Diagonal - Painel Horizontal	209,10	3,78	SHS 100x4.0 mm	223,04	0,94

## 6.2 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS TORRES

O pré-dimensionamento da estrutura foi feito com base num pórtico simples considerando os pilares biencastrados no plano XZ e funcionado como consolas no plano YZ, conforme se mostra na Figura 6.5.



**Figura 6.5 – Pórtico transversal.**

As ações consideradas na determinação dos esforços constam no Quadro 6.5.

**Quadro 6.5 – Ações - Torres.**

Combinação	Carga q (kN/m)		Carga Q (kN)	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
ELU (W)	13,77	25,34	313,96	577,85
ELU (SC)	4,13	33,42	94,19	762,00

Com base no modelo do pórtico e nas combinações de ações condicionantes determinaram-se os esforços mais desfavoráveis e as secções mais adequadas nas barras das torres.

Os resultados estão resumidos nos Quadros 6.6 e 6.7.

Conclui-se que a maior parte dos perfis é condicionada por fenómenos de encurvadura.

**Quadro 6.6 – Esforço nos cordões das colunas.**

Esforço na Coluna - E.L. Último - Ação variável base "SC"					
Esforço devido á carga Q e q (kN e kN.m)		nº treliças	Braços do Binário	N <sub>Ed</sub> (kN)	N <sub>Ed</sub> Resultante (kN)
Cargas Verticais	V <sub>Ed</sub> Tab. Transmido á torre	2,00	2.66	406,90	1650,71
	M <sub>Ed</sub> Extremidas			5791,21	
Carga Horizontal	M <sub>Ed</sub> Base da torre			155,23	

**Quadro 6.7 - Esforços condicionantes nos cordões das colunas.**

Esforço na Coluna - E.L. Último - Ação variável base "W"					
Esforço devido á carga Q e q (kN e kN.m)		nº treliças	Braços do Binário	N <sub>Ed</sub> (kN)	N <sub>Ed</sub> Resultante (kN)
Cargas Verticais	V <sub>Ed</sub> Tab. Transmido á torre	2,00	2.66	308,57	1651,51
	M <sub>Ed</sub> Extremidas			4391,65	
Carga Horizontal	M <sub>Ed</sub> Base da torre			517,45	

Nos cordões exteriores das torres obteve-se um esforço axial máximo de 1651,5 kN muito próximo do calculado no modelo da treliça da ponte, tendo-se optado para estas barras perfis SHS250x8mm.

Nas diagonais considerou-se a combinação mais desfavorável do vento como ação variável base e calculou-se o esforço axial máximo com base no modelo em treliça.

O esforço é da ordem dos 197 kN tendo-se escolhido perfis da série SHS 140x5mm.

**Quadro 6.8 - Esforço na diagonal mais solicitada.**

Esforço axial na diagonal da torre				
Combinação	V <sub>Ed</sub> Coluna	Angulo	nº treliças	N <sub>Ed</sub> diagonal (kN)
ELU (W)	335,30	45°	2,00	197,03

### 6.3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS DA ESCADA

No pré dimensionamento das escadas considerou-se para as vigas que recebem os degraus, vigas simplesmente apoiadas e as ações PP, RCP e SC conforme se indica no Quadro 6.9.

**Quadro 6.9 – Ações.**

Ação	q (kN/m)	Q <sub>resultante</sub> <sup>EL.Último SC</sup> (kN/m)
PP	0.25	9.79
RCP	0.75	
SC	6.25	

O cálculo destes elementos foi realizado em relação aos E.L.U. e E.L.Ut. com base no momento máximo de cálculo e na deformação condicionante conforme se mostra no Quadro 6.10.

**Quadro 6.10 – Dimensionamento dos perfis da escada.**

Perfil mais solicitado			
M <sub>Ed</sub> (kN.m)	Perfil Adotado	M <sub>b,Rd</sub> (kN.m)	Rácio
7.34	IPE120	9.64	0.76

## 6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o estudo do pré-dimensionamento procurou-se estimar numa 1ª fase as secções dos perfis principais da ponte e das torres.

Tratou-se apenas de um estudo aproximado, uma vez que não foi possível considerar todas as combinações regulamentares, nem estimar nesta fase de um modo correto os deslocamentos das estruturas.

Na fase de dimensionamento recorreu-se a modelos tridimensionais com recurso ao software “Robot Structural” e a outros softwares, de modo a ter presente todas as ações, tais como a temperatura, o sismo e o comportamento dinâmico da ponte.

## **7 ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO**

A estrutura da ponte pedonal foi projetada em 8 troços independentes com os comprimentos máximos de 9,5 metros, de modo a rentabilizar o transporte das peças fabricadas em oficina e permitir uma montagem célere em obra.

Os 8 troços compreendem as 6 partes que constituem a treliça espacial da ponte, sendo os outros referentes às torres de apoio.

Todos os troços serão ligados na fase de montagem recorrendo a ligações aparafusadas pré-esforçadas da categoria C e E.

A montagem far-se-á com gruas e cimbres provisórios posicionados adequadamente.

Todas as verificações referentes à determinação dos esforços, flechas e dimensionamento dos elementos metálicos foram realizadas no software “Robot Structural”.

Em relação às ligações metálicas utilizou-se o software “IDEA STATICA”.

Nas estruturas de betão armado recorreu-se aos programas “XD-ConServ” e “XD-CoSec” da Universidade de Aveiro.

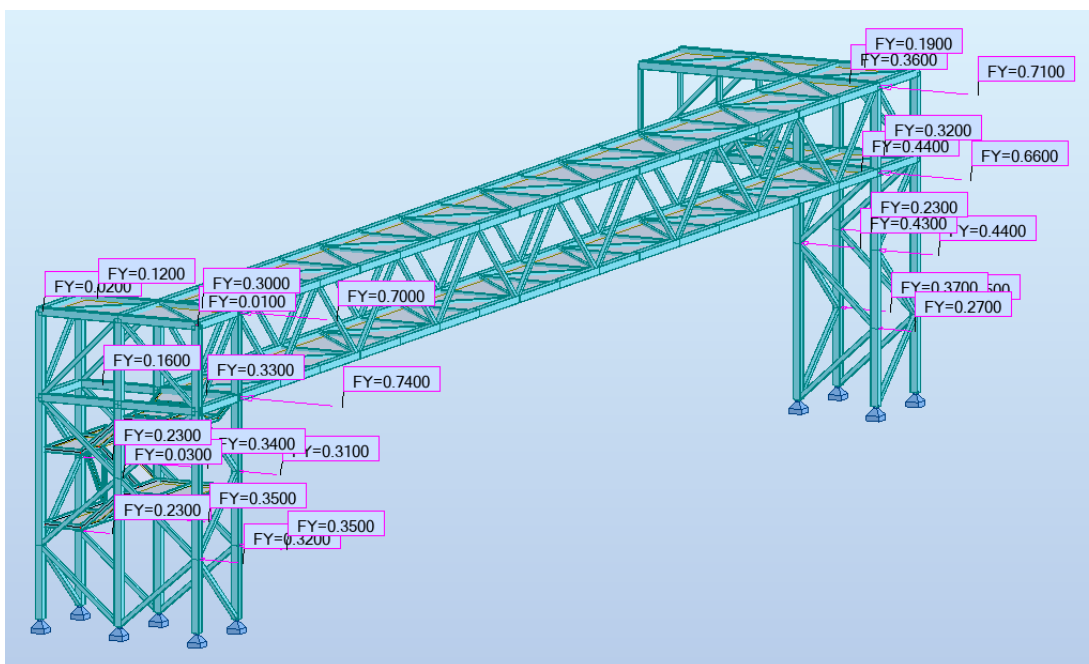
### **7.1 IMPERFEIÇÕES GEOMETRICAS**

Foram consideradas as imperfeições geométricas dos elementos estruturais da ponte, recorrendo a forças horizontais equivalentes  $P-\Delta$  (imperfeições globais), aplicadas nos modelos estudados no “Robot Structural”.

Segundo o EC3-1-1 foram analisados vários casos de carga para as forças nodais horizontais equivalentes calculadas independentemente nas direções X e Y.

Estas forças nodais juntaram-se às combinações de ações nas direções condicionantes.

Na Figura 7.1 mostra-se um exemplo de um dos casos analisado. [21]



**Figura 7.1 – Forças horizontais equivalentes na direção Y (PP e RCP).**

A influencia das imperfeições globais na estrutura em todos os casos de carga traduziu-se através de rácios entre os esforços das diferentes ações e as forças horizontais equivalentes.

**Quadro 7.1 – Barras mais solicitadas - Rácios.**

Numero das barras	Torre 1				Torre 2			
	385				377			
Ações	PP+RCP		SC X+	SC X-	PP+RCP		SC X+	SC X-
Nº Caso Robot	1	2	5	6	1	2	5	6
N <sub>Ed</sub> (kN)	46,1	70,4	149,0	147,9	75,7	113,0	253,5	253,1
Força Horizontal Equivalente (Imperfeição segundo X) N <sub>Ed</sub> (kN)	195		185	175	195		185	175
Força Horizontal Equivalente (Imperfeição segundo Y) N <sub>Ed</sub> (kN)	0,0		0,0	0,0	0,1		0,2	0,1
Rácio Imperfeições em X	0,03%		0,03%	0,02%	0,06%		0,06%	0,06%
Rácio Imperfeições em Y	0,32%		0,33%	0,40%	0,10%		0,11%	0,10%

**Quadro 7.2 - Barras menos solicitadas - Rácios.**

Numero das barras	Torre 1				Torre 2			
	7				352			
Ações	PP+RCP		SC X+	SC X-	PP+RCP		SC X+	SC X-
Nº Caso Robot	1	2	5	6	1	2	5	6
N <sub>Ed</sub> (kN)	-1,5	-13,1	-61,4	-17,5	6,4	5,4	18,7	-37,7
Força Horizontal Equivalente (Imperfeição segundo X) N <sub>Ed</sub> (kN)	195		185	175	195		185	175
Força Horizontal Equivalente (Imperfeição segundo Y) N <sub>Ed</sub> (kN)	-2,9		-4,3	-4,0	4,4		6,3	6,2
Rácio Imperfeições em X	20,04%		6,92%	22,85%	36,90%		33,68%	16,52%
Rácio Imperfeições em Y	19,74%		6,64%	24,83%	43,04%		38,75%	18,71%

Alguns resultados deste estudo estão no ANEXO II.

## 7.2 ANÁLISE GLOBAL

Como referido no subcapítulo 5.2 a determinação do fator crítico ( $\alpha_{cr}$ ) dos pórticos da ponte foi calculado pelo método de Horne.

Aplicou-se este método para as combinações cujas ações variáveis base são as mais condicionantes, ventos X+ e Y+ que conduzem aos maiores deslocamentos, conforme se mostra no Quadro 7.3.

**Quadro 7.3 – Cálculo do Fator Crítico ( $\alpha_{cr}$ ).**

nº comb	Comb.	H <sub>Ed</sub> (kN)	V <sub>Ed</sub> (kN)	H (m)	$\delta_{H,Ed}$ (m)	$\alpha_{cr}$
73	ELU (W-X+)	521.3	1822.97	6.88	0.021	93.7
82	ELU (W-Y+)	844.4	1822.97	6.88	0.059	54.0

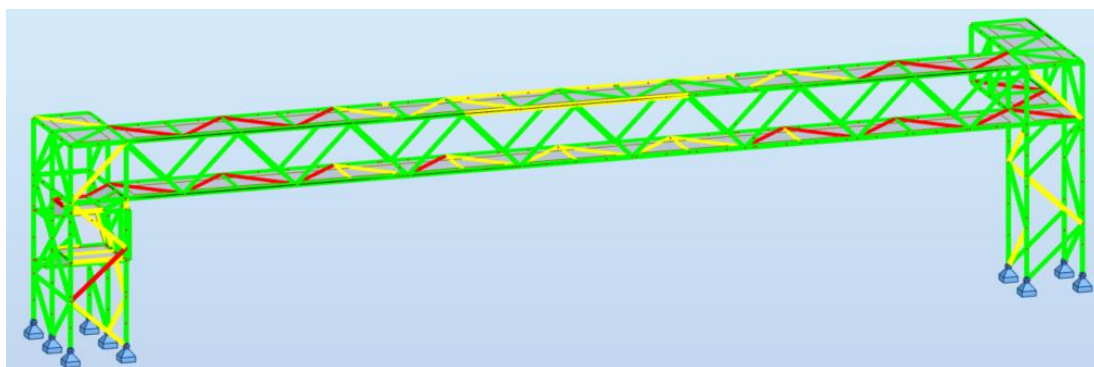
Uma vez que os fatores críticos são superiores a 10 conclui-se que a estrutura não é suscetível a efeitos de 2º ordem.

## 7.3 VERIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS

Na verificação das secções e dos elementos metálicos elaborou-se uma folha de cálculo em “Excel”, bastante elaborada, realizada com base nos fluxogramas que constam do subcapítulo 5.3 deste documento.

### 7.3.1 VERIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS

Na Figura 7.2 estão representados os resultados do pré dimensionamento realizado em “Robot Structural” referente a esta fase de estudo, indicando-se “a vermelho” os que não verificam a segurança.



**Figura 7.2 – Rácios das barras [38].**

#### 7.3.1.1 VERIFICAÇÃO DAS CORDAS DA PONTE E DAS TORRES (PERFIS SHS 250x8)

No gráfico da Figura 7.3 constata-se que o perfil mais solicitado tem um rácio de 0.9.

Conclui-se, pois, que os perfis SHS 250x8 escolhidos para esta família de barras nesta fase estão corretos.

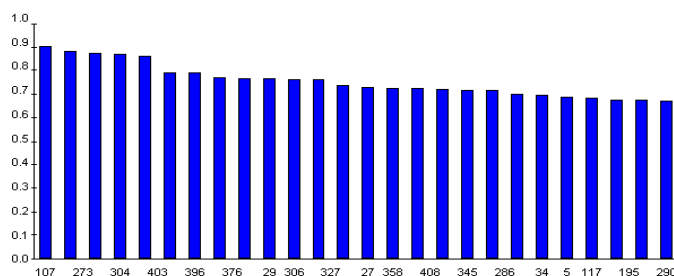


Figura 7.3 – Rácio das barras das cordas da ponte e das torres [38].

### 7.3.1.2 VERIFICAÇÃO DAS DIAGONAIS DA PONTE E DAS TORRES (PERFIS SHS 140x5)

O gráfico da Figura 7.4 mostra que o perfil mais solicitado têm um rácio de 1.2.

Este perfil localiza-se numa diagonal das torres.

Conclui-se, mais uma vez que quase todas as barras que formam as diagonais com perfis SHS 140x5 foram pré-dimensionadas corretamente.

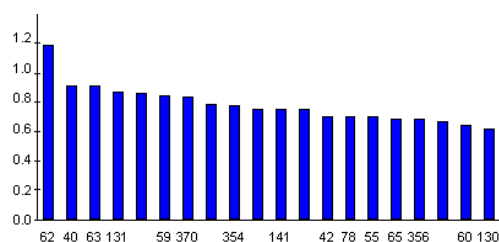


Figura 7.4 – Rácio das barras da diagonais da ponte e das torres - treliças exteriores [38].

### 7.3.1.3 VERIFICAÇÃO DAS DIAGONAIS E TRAVESSAS DO PAINEL HORIZONTAL INFERIOR DA PONTE (PERFIS SHS 100x4)

O gráfico da Figura 7.5 indica que grande parte das diagonais e travessas do painel horizontal têm rácios superiores a 1.0 o que justifica dado que no pré-dimensionamento não foram consideradas todas as ações.

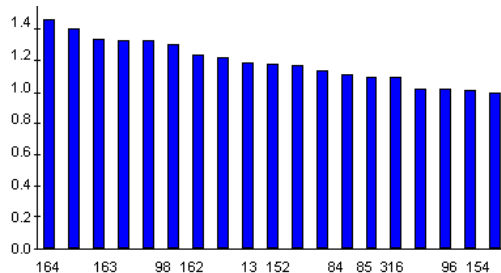


Figura 7.5 - Rácio das diagonais e prumos - Painel horizontal inferior da ponte [38].

Procedeu-se pois a um aumento destas secções optando-se por perfis tubulares SHS120x4.

### 7.3.1.4 VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS DE APOIO DOS DEGRAUS DAS ESCADAS (PERFIS IPE 120)

Os rácios de dimensionamento destas barras constam da Figura 7.6.

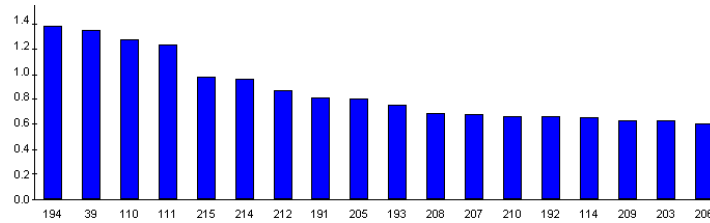


Figura 7.6 - Rácio das longarinas de apoio dos degraus da escada [38].

Uma vez que algumas barras têm rácios superiores à unidade foi necessário alterar também os perfis substituindo-os por perfis IPE180.

### 7.3.2 VERIFICAÇÃO DOS PERFIS ADOTADOS NO MODELO FINAL

No modelo final analisado no “Robot” fez-se o estudo das secções mais esforçadas de todas as barras de modo a proceder-se a uma análise completa, tendo em atenção não só os esforços isolados e .3combinados, mas também a verificação sempre que necessário das barras à encurvadura (varejamento, bambeamento, varejamento + bambeamento).

Nesta fase foi também utilizada uma folha de cálculo em “Excel”, mencionada já anteriormente, onde foram inseridos os esforços das barras para todas as combinações de ações retirados dos ficheiros de resultados “Robot”.

De referir, que o software “Robot” faz a análise da resistência das secções e dos elementos com base em todas as combinações de ações para os E.L.U e E.L.Ut., apresentando os rácios mais desfavoráveis para as combinações condicionantes.

Nos subcapítulos seguintes explica-se o dimensionamento das famílias de barras correspondentes aos elementos mais solicitados, e faz-se também a comparação dos resultados obtidos na folha de cálculo em “Excel” e no “Robot Structural”.

#### 7.3.2.1 VERIFICAÇÃO DA BARRA MAIS SOLICITADA DAS CORDAS DA PONTE (PERFIL SHS 250x8)

A barra mais solicitada das cordas da ponte é a barra nº272 indicada na Figura 7.8

O esforço máximo é de compressão e resulta da combinação de ações em que o vento y- é a ação variável base.

A seção é da classe 1 e os comprimentos de encurvadura são iguais a L para a encurvadura no plano XZ, e a 2L no plano XY, pois não existe nenhuma restrição neste plano que impeça a encurvadura entre as seções extremas.

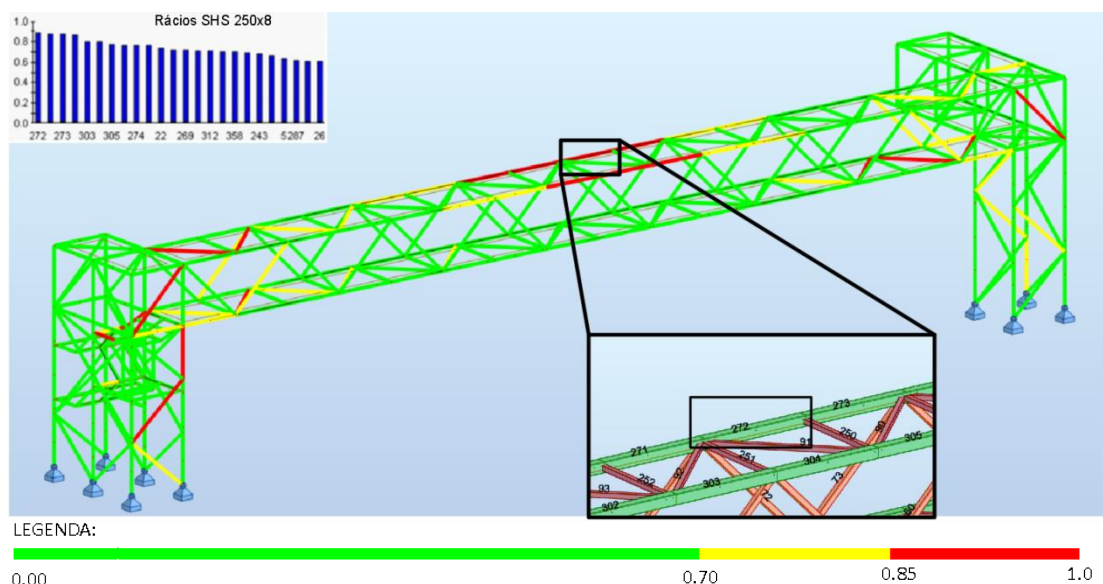


Figura 7.7 – Identificação da barra nº272 [38].

Nos quadros seguintes indicam-se os resultados principais do dimensionamento, e faz-se a comparação dos obtidos na folha de cálculo em “Excel” e no “Robot Structural”

Quadro 7.4 – Comparação dos rácios dos esforços na secção da barra nº272 - Folha de Cálculo/“Robot Structural”.

Verificação da Resistência (Secção)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Esforço Axial (N)	$N_{Ed} / N_{pl,Rd}$	0,69	0,69	1,00
Esforço Transverso (V)	$V_{y,Ed} / V_{y,pl,Rd}$	0,01	0,00	1,00
	$V_{z,Ed} / V_{z,pl,Rd}$	0,01	0,00	1,00
Momento Fleter (M)	$M_{y,Ed} / M_{pl,Rd}$	0,07	0,00	1,00
	$M_{z,Ed} / M_{pl,Rd}$	0,08	---	---
Torção ( $M_x$ )	$M_{x,Ed} / T_{Rd}$	0,00	---	---
Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+T)	$V_{ed,y} / V_{pl,y,T,Rd}$	0,01	0,01	1,00
	$V_{ed,z} / V_{pl,z,T,Rd}$	0,01	0,01	1,00
Flexão com Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+M+T)	$M_{ed,y} / M_{y,pl,Rd}$	0,07	---	---
	$M_{ed,z} / M_{z,pl,Rd}$	0,08	---	---
Flexão Composta com Esforço Transverso (N+V+M)	$M_{Ed,y} / M_{N,y,Rd}$	0,17	0,00	1,00
	$M_{Ed,z} / M_{N,z,Rd}$	0,19	---	---
Flexão Desviada (N+My+Mz)	Flex. Comp.	0,00	0,00	1,00

Quadro 7.5 – Comparação dos rácios do dimensionamento à encurvadura da barra nº272 - Folha de Cálculo/“Robot Structural”.

Verificação da Encurvadura (Barra)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Elemento Uniforme Comprimido (N)	$N_{Ed} / N_{b,Rd}$	0,86	0,86	1,00
Elemento Uniforme em Flexão (M)	$M_{Ed,y} / M_{b,Rd}$	0,07	0,07	1,1
Elemento Uniforme em Flexão Composta com Compressão (N+M)	Condição (6.61)	0,95	0,95	1,0
	Condição (6.62)	0,85	0,85	1,0

Conclusão: O rácio final é igual a 0.95.

A justificação completa do dimensionamento realizado no “Robot Structural” e na folha de cálculo desta barra está no ANEXO V.

### 7.3.2.2 VERIFICAÇÃO DA DIAGONAL MAIS SOLICITADA DAS TORRES (PERFIL SHS 150x6.3)

A barra nº 62 indicada na figura seguinte é a mais solicitada para a combinação com ação variável base o vento X-.

A secção é da classe 1 e os esforços condicionantes são de compressão.

Os comprimentos de encurvadura adotados são iguais a 0.75L nos dois planos principais de inércia, segundo o definido no ponto BB.1.3 (3) do anexo BB do EC3-1 [27].

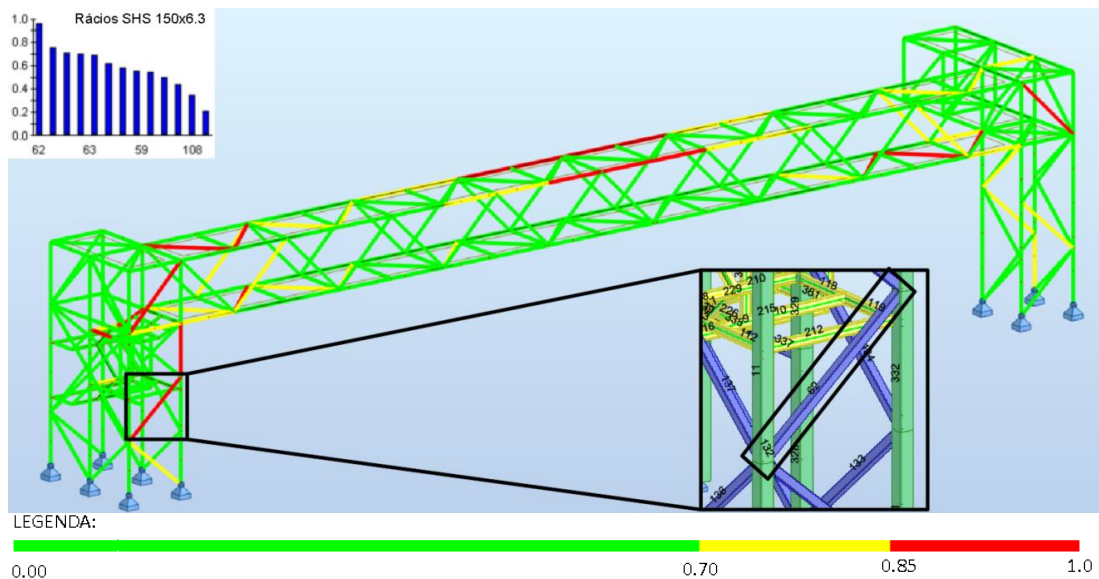


Figura 7.8 – Identificação da barra nº62 [38].

No quadros seguintes resumem-se as verificações realizadas na folha de cálculo e no software “Robot Structural”, e faz-se a comparação dos mesmos.

Quadro 7.6 - Comparação dos rácios dos esforços na secção na barra nº62 - Folha de Cálculo/“Robot Structural”.

Verificação da Resistência (Secção)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Esforço Axial (N)	$N_{Ed} / N_{pl,Rd}$	0,77	0,77	1,00
Esforço Transverso (V)	$V_{y,Ed} / V_{y,pl,Rd}$	0,00	0,00	1,00
	$V_{z,Ed} / V_{z,pl,Rd}$	0,00	0,00	1,00
Momento Fletor (M)	$M_{y,Ed} / M_{pl,Rd}$	0,00	0	1,00
	$M_{z,Ed} / M_{pl,Rd}$	0,00	---	---
Torção ( $M_x$ )	$M_{x,Ed} / T_{Rd}$	0,00	---	---
Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+T)	$V_{ed,y} / V_{pl,y,T,rd}$	0,00	---	---
	$V_{ed,z} / V_{pl,z,T,rd}$	0,00	---	---
Flexão com Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+M+T)	$M_{ed,y} / M_{y,pl,Rd}$	0,00	---	---
	$M_{ed,z} / M_{z,pl,Rd}$	0,00	---	---
Flexão Composta com Esforço Transverso (N+V+M)	$M_{Ed,y} / M_{N,y,Rd}$	0,00	0	1,00
	$M_{Ed,z} / M_{N,z,Rd}$	0,00	---	---
Flexão Desviada (N+My+Mz)	Flex. Comp.	0,00	---	---

**Quadro 7.7 - Comparação dos rácios do dimensionamento à encurvadura da barra nº62 - Folha de Cálculo/“Robot Structural”.**

Verificação da Encurvadura (Barra)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Elemento Uniforme Comprimido (N)	$N_{Ed} / N_{b,Rd}$	0,92	0,92	1,01
Elemento Uniforme em Flexão (M)	$M_{Ed,y} / M_{b,Rd}$	0,01	0,0087	1,0
Elemento Uniforme em Flexão	Condição (6.61)	0,94	0,94	1,0
Composta com Compressão (N+M)	Condição (6.62)	0,93	0,92	1,0

Conclusão: O rácio final desta barra é igual a 94% da sua resistência.

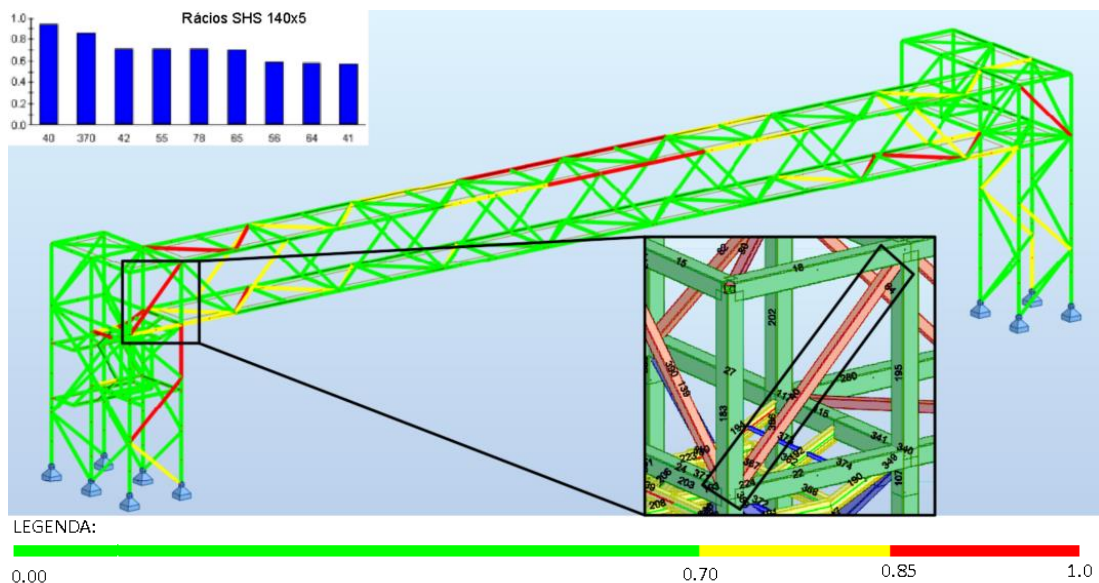
O cálculo detalhado está no ANEXO V.

### 7.3.2.3 VERIFICAÇÃO DA DIAGONAL MAIS SOLICITADA DA PONTE (PERFIL SHS 140x5)

O elemento mais solicitado corresponde à barra nº 40 indicada na figura em baixo.

A combinação condicionante que serviu para o dimensionamento é de tração e verifica-se quando a sobrecarga é a ação variável base.

Os esforços maiores estão localizados na secção “ $x=1.0L$ ”.



**Figura 7.9 – Identificação da barra nº40 (SHS 140x5 mais solicitado) [38].**

O Quadro 7.8 resume as verificações que foram feitas.

**Quadro 7.8 – Comparação dos rácios dos esforços na secção na barra nº40 - Folha de Cálculo/“Robot Structural”.**

Verificação da Resistência (Secção)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Esforço Axial (N)	$N_{Ed} / N_{pl,Rd}$	0,95	0,95	1,00
Esforço Transverso (V)	$V_{y,Ed} / V_{y,pl,Rd}$	0,00	0,00	1,00
	$V_{z,Ed} / V_{z,pl,Rd}$	0,00	0,00	1,00
Momento Fletor (M)	$M_{y,Ed} / M_{pl,Rd}$	0,00	---	---
	$M_{z,Ed} / M_{pl,Rd}$	0,00	---	---
Torção ( $M_x$ )	$M_{x,Ed} / T_{Rd}$	0,00	---	---

Conclusão: O rácio final desta barra represente 95% da sua resistência.

O cálculo pormenorizado deste elemento consta do ANEXO V.

### 7.3.2.4 VERIFICAÇÃO DA DIAGONAL MAIS SOLICITADA DA TRELIÇA HORIZONTAL DA PONTE (PERFIL SHS 120x4)

O elemento mais solicitado refere-se à diagonal nº164 identificada na Figura 7.10.

A combinação condicionante ocorre quando a sobrecarga é a ação variável base.

A seção é da classe 1 e os maiores esforços são de compressão.

Consideraram-se comprimentos de encurvadura iguais a 0.75L nos dois planos principais de inércia [27].

No quadros em baixo faz-se o resumo e a comparação das verificações.

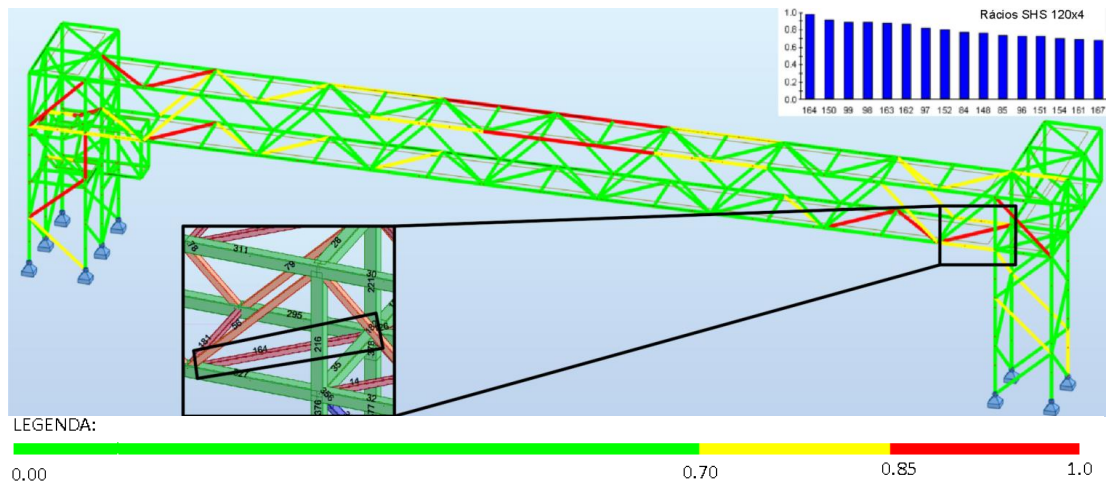


Figura 7.10 – Localização da barra nº164 [38].

Quadro 7.9 - Comparação dos rácios dos esforços na secção na barra nº164 - Folha de Cálculo/“Robot Structural”.

Verificação da Resistência (Secção)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Esforço Axial (N)	$N_{Ed} / N_{pl,Rd}$	0,14	0,1378	0,99
Esforço Transverso (V)	$V_{y,Ed} / V_{y,pl,Rd}$	0,00	0	0,00
	$V_{z,Ed} / V_{z,pl,Rd}$	0,04	0,04	1,00
Momento Fletor (M)	$M_{y,Ed} / M_{pl,Rd}$	0,50	---	---
	$M_{z,Ed} / M_{pl,Rd}$	0,03	---	---
Torção ( $M_x$ )	$M_{x,Ed} / T_{Rd}$	0,00	---	---
Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+T)	$V_{ed,y} / V_{pl,y,T,Rd}$	0,00	---	---
	$V_{ed,z} / V_{pl,z,T,Rd}$	0,04	---	---
Flexão com Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+M+T)	$M_{ed,y} / M_{y,pl,Rd}$	0,50	---	---
	$M_{ed,z} / M_{z,pl,Rd}$	0,03	---	---
Flexão Composta com Esforço Transverso (N+V+M)	$M_{Ed,y} / M_{N,y,Rd}$	0,50	---	---
	$M_{Ed,z} / M_{N,z,Rd}$	0,03	---	---
Flexão Desviada (N+My+Mz)	Flex. Comp.	0,32	0,31	1,02

**Quadro 7.10 – Comparação dos rácios de dimensionamento à encurvadura na barra nº164 - Folha de Cálculo/“Robot Structural”.**

Verificação da Encurvadura (Barra)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Elemento Uniforme Comprimido (N)	$N_{Ed} / N_{b,Rd}$	0,18	0,18	0,99
Elemento Uniforme em Flexão (M)	$M_{Ed,y} / M_{b,Rd}$	0,67	0,67	1,0
Elemento Uniforme em Flexão	Condição (6.61)	0,89	0,89	1,0
Composta com Compressão (N+M)	Condição (6.62)	0,62	0,63	1,0

Conclusão: O rácio final é igual 89% da sua resistência.

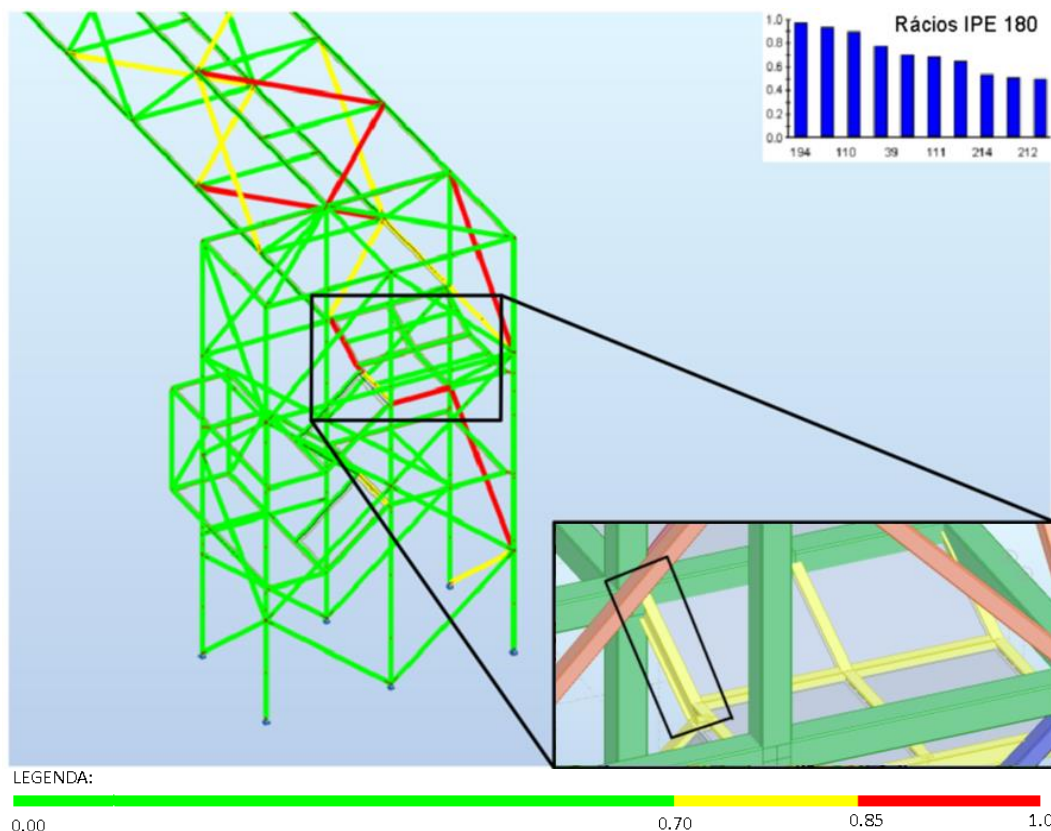
O cálculo detalhado do dimensionamento desta barra consta no ANEXO V.

### 7.3.2.5 VERIFICAÇÃO DAS LONGARINAS DE APOIO DOS DEGRAUS DAS ESCADAS (PERFIL IPE 180)

O perfil das longarinas das escadas mais solicitado corresponde à barra nº194 que é da classe 1.

A combinação condicionante para o E.L.U é a combinação cuja ação variável base é a sobrecarga.

Os maiores esforços verificam-se nas seções a meio vão.



**Figura 7.11 Localização e identificação do elemento nº194 (IPE 180 mais solicitados) [38].**

O resumo do cálculo encontra-se nos Quadros 7.11 e 7.12.

**Quadro 7.11 - Comparação dos rácios dos esforços na secção na barra nº194 - Folha de Cálculo/“Robot Structural”.**

Verificação da Resistência (Secção)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Esforço Axial (N)	$N_{Ed} / N_{pl,Rd}$	0,17	0,17	1,02
Esforço Transverso (V)	$V_{y,Ed} / V_{y,pl,Rd}$	0,00	0	1,00
	$V_{z,Ed} / V_{z,pl,Rd}$	0,15	---	---
Momento Fletor (M)	$M_{y,Ed} / M_{pl,Rd}$	0,68	---	---
	$M_{z,Ed} / M_{pl,Rd}$	0,02	---	---
Torção ( $M_x$ )	$M_{x,Ed} / T_{Rd}$	0,00	---	---
Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+T)	$V_{ed,y} / V_{pl,y,T,rd}$	0,00	0	1,00
	$V_{ed,z} / V_{pl,z,T,rd}$	0,15	0,15	1,02
Flexão com Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+M+T)	$M_{ed,y} / M_{y,pl,Rd}$	0,68	0,68	1,00
	$M_{ed,z} / M_{z,pl,Rd}$	0,02	---	---
Flexão Composta com Esforço Transverso (N+V+M)	$M_{Ed,y} / M_{N,y,Rd}$	0,68	---	---
	$M_{Ed,z} / M_{N,z,Rd}$	0,02	---	---
Flexão Desviada (N+My+Mz)	Flex. Comp.	0,48	0,48	1,01

**Quadro 7.12 – Comparação dos rácios de dimensionamento à encurvadura na barra nº164 - Folha de Cálculo/“Robot Structural”.**

Verificação da Encurvadura (Barra)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Elemento Uniforme Comprimido (N)	$N_{Ed} / N_{b,Rd}$	0,19	0,21	0,90
Elemento Uniforme em Flexão (M)	$M_{Ed,y} / M_{b,Rd}$	0,75	0,76	1,0
Elemento Uniforme em Flexão	Condição (6.61)	0,87	0,89	1,0
Composta com Compressão (N+M)	Condição (6.62)	0,61	0,62	1,0

Conclusão: O rácio final desta barra é 87% da sua resistência.

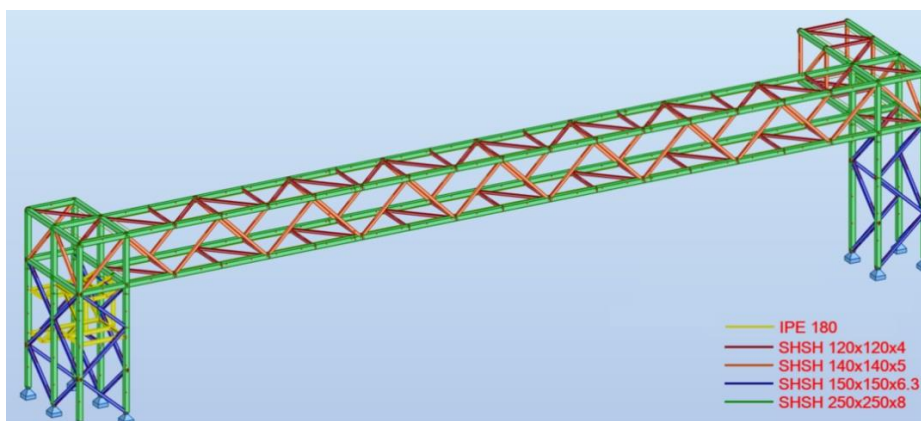
A justificação detalhada dos cálculos encontra-se no ANEXO V.

Notas:

- Por razões construtivas de ligação dos degraus às longarinas das escadas deveria optar-se por perfis da série UPN, com características elásticas idênticas aos IPE escolhidos nos modelos de cálculo.

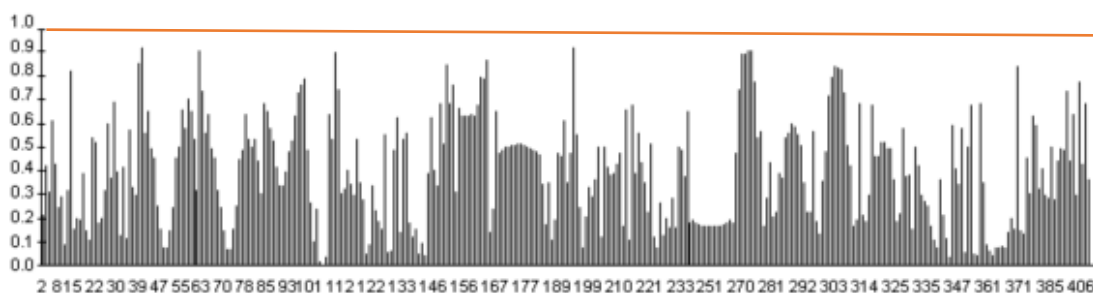
### 7.3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas secções dos perfis dimensionados procedeu-se nesta fase ao dimensionamento final (ver Figura 7.12).



**Figura 7.12 – Modelo final com indicação dos perfis adotados [38].**

O gráfico da Figura 7.13 indica os rácios finais referentes ao cálculo das secções/elementos de todas as barras da estrutura no software “Robot”.



**Figura 7.13 – Rácios de todas as barras da estrutura [38].**

De um modo geral constata-se mais uma vez que o programa “Robot Structural” faz uma excelente análise de dimensionamento respeitando o EC3-1-1.

Verifica-se, também, que os resultados obtidos no dimensionamento das barras a partir da folha de cálculo são da mesma ordem de grandeza dos do software “Robot Structural”, o que permite validar também esta folha.

## 7.4 VERIFICAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES

Na determinação das flechas foi usada a combinação característica e respeitados os limites recomendados pelo EC3-1-1.

### 7.4.1 DEFORMAÇÃO LOCAL

As flechas foram calculadas no “Robot Structural”.

Foram considerados para as vigas do pavimento valores de  $L/250$  e  $L/300$  para as flechas  $\delta_{\max}$  e  $\delta_2$  respetivamente.

Calcularam-se as flechas dos perfis que constituem o pavimento e comparam-se com os valores máximos admissíveis.

Os resultados calculados estão indicados no Quadro 7.13.

**Quadro 7.13 – Verificação das flechas.**

nº barra	nº Combinação	Secção	L	$\delta_{\max}$			$\delta_2$		
				L/250	Flecha	Rácio	L/300	Flecha	Rácio
164	207	SHSH 120x120x4	3.80 m	15.22 mm	-17.32 mm	1.14	12.68 mm	-15.06295	1.19
295	210	SHSH 250x250x8	2.72 m	10.88 mm	1.82 mm	0.17	9.07 mm	1.175589	0.13
194	201	IPE 180	1.15 m	4.60 mm	-0.70 mm	0.15	3.83 mm	-0.493828	0.13

As barras que não cumprem as condições de segurança em relação aos estados limites de serviço estão indicadas no Quadro 7.14, tendo-se substituído por secções com inercias maiores.

**Quadro 7.14 – Verificação da flecha na barra nº164.**

nº barra	nº Combinação	Secção	L	$\delta_{max}$			$\delta_2$		
				L/250	Flecha	Rácio	L/300	Flecha	Rácio
164	207	SHSH 120x120x5	3.80 m	15.22 mm	-14.35 mm	0.94	12.68 mm	-12.40123	0.98

*Nota: No ANEXO V encontram-se as notas de cálculo dos estudos realizados para outras barras.*

## 7.4.2 DEFORMAÇÃO GLOBAL

Na verificação das flechas da ponte respeitaram-se as seguintes condições:

- L/250 para os deslocamentos verticais;
- L/300 para os deslocamentos horizontais.

Em que L representa o vão da ponte.

### 7.4.2.1 PONTE

No Quadro 7.15 indicam-se os resultados das verificações nos nós com maiores deslocamentos.

**Quadro 7.15 – Flechas máximas na ponte.**

Ponte			
Troço central		Troço em consola	
L	42,96 m	L	5,40 m
$\delta_{lim}$ (L/250)	17,18 cm	$\delta_{lim}$ (2L/250)	4,32 cm
$\delta_{2, lim}$ (L/300)	14,32 cm	$\delta_{2, lim}$ (2L/300)	3,60 cm
$\delta_{max}$	9,20 cm	$\delta_{max}$	2,00 cm
$\delta_2$	5,90 cm	$\delta_2$	1,70 cm
Nó	105	Nó	34
nº Comb.	202	nº Comb.	231
Combinação	ELS Característica (SC)	Combinação	ELS Característica (SC)
Direção	Z-Z	Direção	Z-Z
Verificação	OK	Verificação	OK

*Nota: O nó nº105 encontra-se a meio vão do tabuleiro principal e o nó 34 na extremidade da consola com maior vão.*

### 7.4.2.2 TORRES

Relativamente às deformações das torres foram retirados dos ficheiros de resultados do “Robot” os valores dos nós com maiores deslocamentos e feita a comparação com os máximos admissíveis, conforme se mostra no Quadro 7.16.

**Quadro 7.16 - Flechas máximas nas torres.**

Torres			
Torre 1		Torre 2	
H	9,93 m	H	9,93 m
$\delta_{lim} (L/300)$	3,31 cm	$\delta_{lim} (L/300)$	3,31 cm
$\delta_{max}$	1,70 cm	$\delta_{max}$	1,80 cm
Nó	2	Nó	14
nº Comb.	241	nº Comb.	223
Combinação	ELS Característica (Verão)	Combinação	ELS Característica (Wy+)
Direção	X-X	Direção	Y-Y
Verificação	OK	Verificação	OK

Nota: Os nós 2 e 14 refere-se a nós localizados nas extremidades superior das torres.

## 7.5 VERIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DEVIDO À AÇÃO DE PEÕES

O estudo dinâmico da verificação das condições de conforto dos peões foi realizado a partir do método “SÉTRA”.

### 7.5.1 CLASSIFICAÇÃO DO RISCO DE RESSONÂNCIA

Foram analisados os primeiros 10 modos de vibração da estrutura, para dois casos modais de cargas:

- PP + RCP
- PP + RCP + 0.7 kN/m<sup>2</sup> (1 peão/m<sup>2</sup>)

Nos Quadros 7.17 e 7.18 indicam-se:

- os modos de vibração da estrutura relevantes a “**amarelo**”;
- a participação de massa relativa de cada modo de vibração a “**azul**”.

Mostra-se, também, a direção e o risco de ressonância conforme a classificação das frequências próprias da estrutura (ver Figura 5.19).

**Quadro 7.17 – Modos de vibração excluindo a massa dos peões.**

Modos de vibração	Sem Massa de Peões								Direção		Risco de Ressonância
	f	T	Massa mobilizada acumulada			Massa mobilizada					
	(Hz)	(s)	Ux (%)	Uy (%)	Uz (%)	Ux (%)	Uy (%)	Uz (%)			
1	2.5	0.4	0.25	43.48	0.48	0.25	43.48	0.48	y-y	Transversal	Risco 3
2	2.65	0.38	0.45	57.09	3.57	0.21	13.61	3.09	y-y	Transversal	Risco 4
3	3.29	0.3	0.75	57.12	46.64	0.29	0.03	43.07	z-z	Vertical	Risco 3
4	5.32	0.19	76.08	57.53	46.67	75.33	0.41	0.03	x-x	Longitudinal	Risco 4
5	5.64	0.18	89.6	58.31	47.36	13.52	0.78	0.69	x-x	Longitudinal	Risco 4
6	6.5	0.15	89.6	58.53	47.39	0	0.23	0.03	y-y	Transversal	Risco 4
7	7.14	0.14	90.2	58.87	47.42	0.6	0.34	0.03	y-y	Transversal	Risco 4
8	8.16	0.12	90.26	67.73	47.79	0.06	8.86	0.36	y-y	Transversal	Risco 4
9	8.45	0.12	90.36	71.88	48.02	0.11	4.15	0.23	y-y	Transversal	Risco 4
10	8.97	0.11	92.63	72.03	48.02	2.27	0.15	0.01	x-x	Longitudinal	Risco 4

**Quadro 7.18 - Modos de vibração incluindo a massa dos peões.**

Modos de vibração	Com Massa de Peões								Direcção		Risco de Ressonância
	f	T	Massa mobilizada acumulada			Massa mobilizada					
	(Hz)	(s)	Ux (%)	Uy (%)	Uz (%)	Ux (%)	Uy (%)	Uz (%)			
1	2.29	0.44	0.01	43.98	0.84	0.01	43.98	0.84	y-y	Transversal	Risco 3
2	2.45	0.41	0.48	59.09	3.93	0.47	15.11	3.09	y-y	Transversal	Risco 3
3	3.02	0.33	0.7	59.15	49.16	0.22	0.06	45.23	z-z	Vertical	Risco 3
4	4.96	0.2	80.18	59.61	49.19	79.49	0.46	0.03	x-x	Longitudinal	Risco 3
5	5.26	0.19	89.37	60.66	49.82	9.19	1.05	0.64	x-x	Longitudinal	Risco 4
6	5.96	0.17	89.68	60.92	49.83	0.31	0.26	0.01	x-x	Longitudinal	Risco 4
7	6.54	0.15	90.76	60.98	50.05	1.08	0.07	0.22	x-x	Longitudinal	Risco 4
8	7.79	0.13	91.09	72.19	50.63	0.34	11.21	0.58	y-y	Transversal	Risco 4
9	8.16	0.12	92.45	72.73	50.63	1.35	0.54	0	x-x	Longitudinal	Risco 4
10	8.36	0.12	93.23	72.9	50.64	0.78	0.17	0.01	x-x	Longitudinal	Risco 4

No ANEXO VI encontram-se os deslocamentos dos modos de vibração mais participativos.

### 7.5.2 CLASSIFICAÇÃO DO PASSADIÇO E RÁCIO DE AMORTECIMENTO CRÍTICO

Uma vez que o passadiço se localiza num hospital foi classificado da classe II, tendo-se considerado o rácio de amortecimento crítico 0.2% (ver Quadro 5.17).

### 7.5.3 CASOS DE CARGA

Com base na classificação da ponte e no risco de ressonância foi apenas necessário considerar a ação referente ao Caso 3.

Consideraram-se as ações definidas no Quadro 5.21 e os respetivos coeficientes  $\Psi$  e apenas os modos de vibração cujas frequências são:

- 3.02 Hz na direção vertical incluindo a massa dos peões;
- 3.29 Hz na direção vertical excluindo a massa dos peões;
- 2.29 Hz na direção horizontal incluindo a massa dos peões.

Os resultados das forças  $F_0$  estão indicadas no quadro seguinte.

**Quadro 7.19 – Cálculo das forças  $F_0$  [32].**

Parâmetros	Ação					
	Vertical		Longitudinal	Transversal		
f (Hz)	3,02	3,29	4,96	2,29	2,45	2,5
Massa de Peões	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Não
Classe	II	II	II	II	II	II
d (/m <sup>2</sup> )	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
$\xi$ (%)	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
Area <sup>tabuleiro</sup> (m <sup>2</sup> )	114,68	114,68	114,68	114,68	114,68	114,68
n	91,74	91,74	91,74	91,74	91,74	91,74
$\psi$	0,525	0,863	0,050	0,475	0,130	0,000
F (N)	70,0	70,0	35,0	7,0	7,0	7,0
$F_0$ (N/m <sup>2</sup> )	1,414	2,324	0,067	0,128	0,035	0,000

Nota: As colunas a “**amarelo**” correspondem aos casos considerados.

## 7.5.4 VALIDAÇÃO DA FUNÇÃO APLICADA NO MODELO

O método adotado para o estudo dinâmico foi verificado inicialmente, recorrendo a um caso simples com 1 grau de liberdade, a partir de uma análise “time-history” realizada no “Robot Structural”, e comparado com os resultados determinados numa “rotina” realizada em “MatLAB” [38], [39].

Os dois estudos apontam para resultados análogos conforme se mostra no ANEXO IV.

Com base na validação da função “time-history” do “Robot” para o caso simples, aplicou-se a mesma metodologia ao modelo da estrutura de modo a determinarem-se as acelerações na ponte.

## 7.5.5 RESULTADOS

### 7.5.5.1 CARGA VERTICAL - FREQUÊNCIA 3.02 HZ INCLUINDO A MASSA DOS PEÕES

Para a frequência de 3.02 Hz obteve-se uma aceleração máxima de **0.120 m/s<sup>2</sup>** no nó 112 localizado a meio vão do tabuleiro.

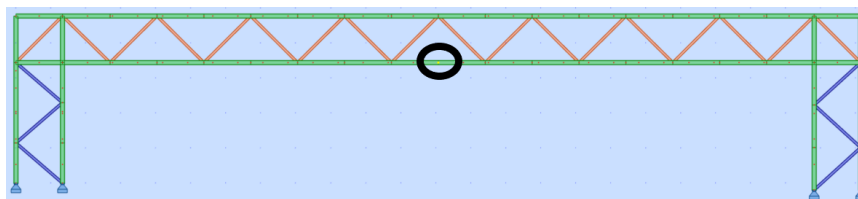


Figura 7.14 – Localização do nó 112.

No gráfico da Figura 7.15 observa-se que as acelerações tendem em estabilizar ao fim de 7 segundos.

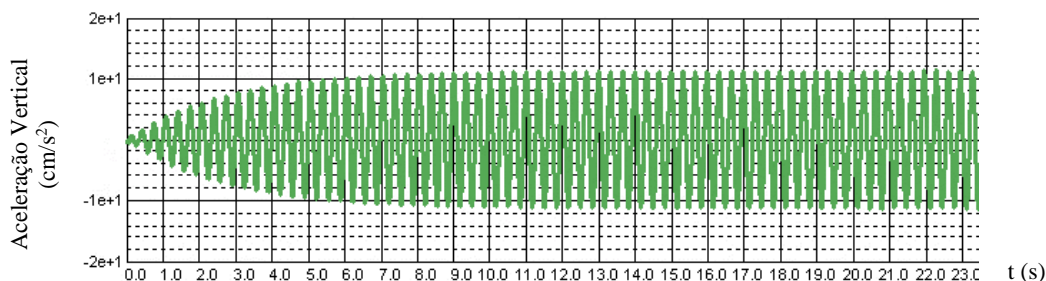


Figura 7.15 - Aceleração no nó 112 para a frequência de 3.02 Hz.

Constata-se no nó 112 que para o dobro da frequência (2x3.02 Hz) o valor máximo da aceleração passa a ser igual a 0.011 m/s<sup>2</sup>.

A Figura 7.18 mostra que os valores máximos da aceleração são alcançados no início e estabilizam após 4 segundos.

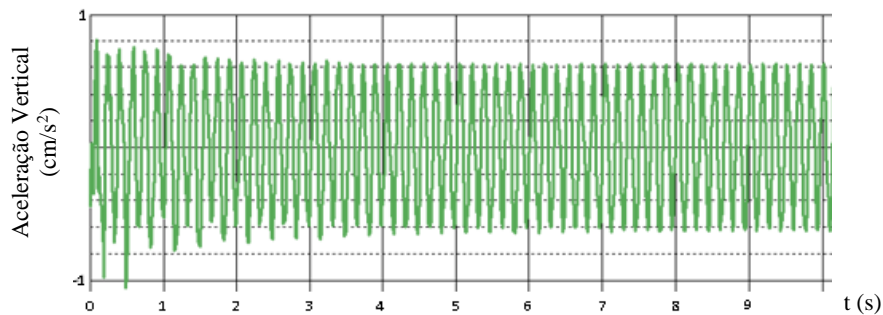


Figura 7.16 - Aceleração no nó 112 para a frequência de 6.04 Hz.

### 7.5.5.2 CARGA VERTICAL - FREQUÊNCIA 3.29 HZ EXCLUINDO A MASSA DOS PEÕES

Para a frequência de 3.29 Hz obteve-se uma aceleração máxima de 0.210 m/s<sup>2</sup> igualmente no nó 112.

Na figura seguinte constata-se que as acelerações tendem também a estabilizar ao fim de 7 segundos.

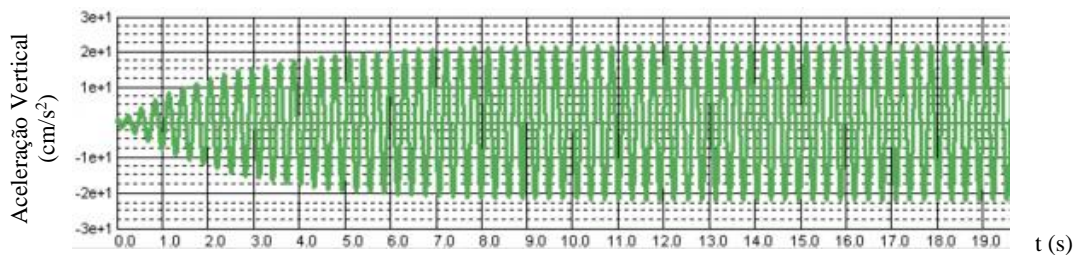


Figura 7.17 - Aceleração no nó 112 para a frequência de 3.29 Hz.

No nó 112 verifica-se que para a frequência 6.58 Hz o valor máximo da aceleração é igual a 0.022 m/s<sup>2</sup>.

A Figura 7.18 mostra que os valores máximos da aceleração máximos surgem no início e tendem a estabilizar para acelerações mais baixas.

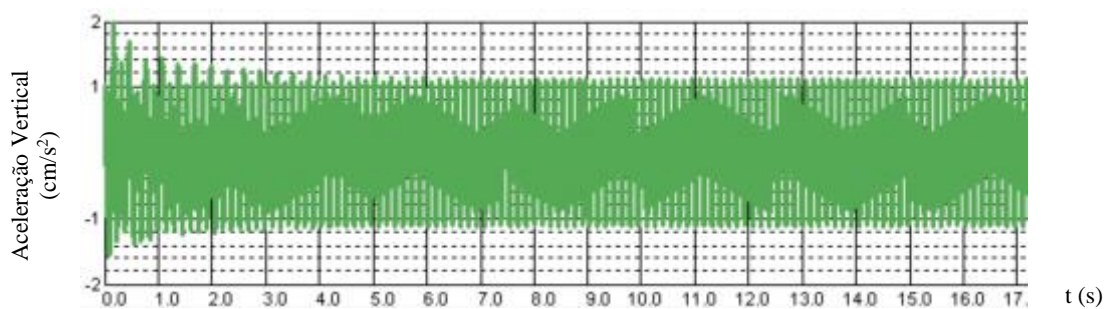


Figura 7.18 – Aceleração no nó 112 para a frequência de 6.58 Hz.

### 7.5.5.3 CARGA HORIZONTAL - FREQUÊNCIA 2.29 HZ INCLUINDO MASSA DOS PEÕES

Devido à excitação horizontal constata-se no nó 112 que para a frequência de 2.29 Hz os valores das acelerações tendem a estabilizar ao fim de 8 segundos, atingindo um pico máximo de 0.012 m/s<sup>2</sup>.

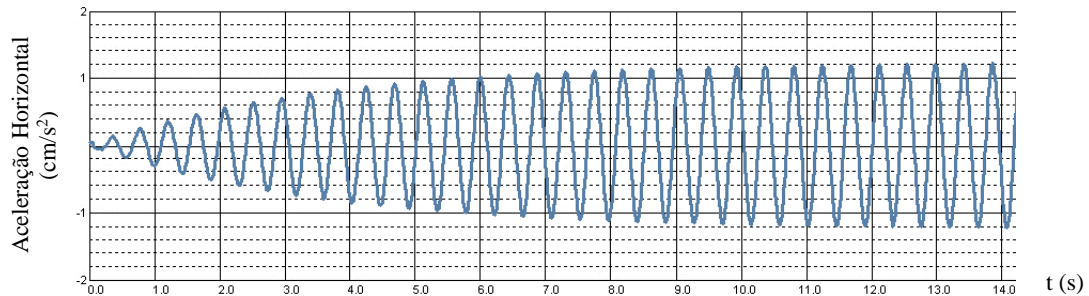


Figura 7.19 –Aceleração no nó 112 para a frequência 2.29 Hz.

Para o dobro da frequência as acelerações máximas horizontais são iguais a 0.001 m/s<sup>2</sup> e ocorrem nos nós 31 e 220 respectivamente.

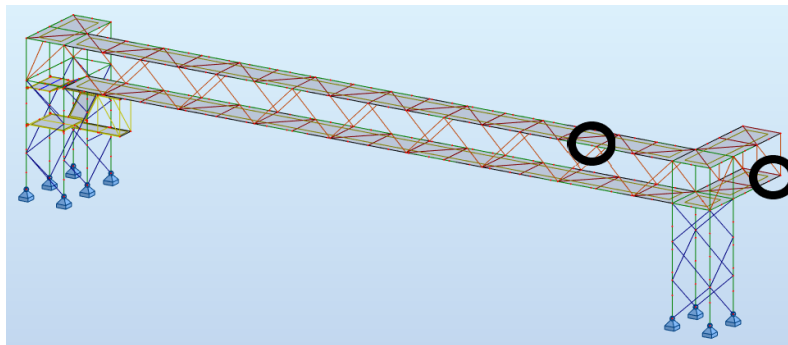


Figura 7.20 – Nós 220 na ponte e 31 na consola.

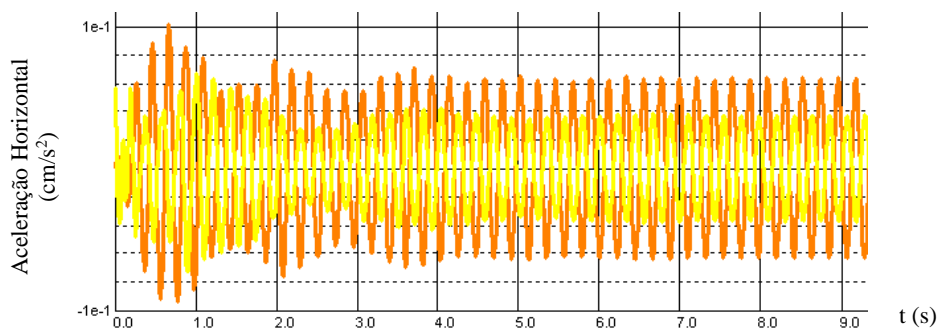


Figura 7.21 - Acelerações nos nós 31 “amarelo” e 220 “laranja” para a frequência 4.58 Hz.

### 7.5.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os resultados verifica-se que os valores obtidos respeitam os níveis de conforto do método “SÉTRA”.

**Quadro 7.20 – Resultados das frequências versus acelerações.**

		Resultados					
Direção da Ação		Vertical				Tranversal (Horizontal)	
f (Hz)		3,02	6,04	3,29	6,58	2,29	4,58
Aceleração (m/s <sup>2</sup> )	Resultados obtidos	0,120	0,011	0,210	0,022	0,012	0,001
	Limite <b>Sétra</b>	0,50		0,50		0,10	
Nº nó		112	112	112	112	112	220

De referir que se a ponte não apresentasse condições de conforto para os peões ter-se-ia de recorrer a outros meios de modo a ultrapassar este problema, tais como:

- Alteração da massa modal;
- Modificação da rigidez estrutural;
- Inserção de dissipadores de vibração.

## **7.6 VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES**

Tal como já foi indicado a estrutura será ligada em obra recorrendo a ligações aparafusadas sendo as restantes ligações soldadas em oficina.

Na verificação das ligações foram elaboradas folhas de cálculo em “Excel” respeitando as expressões de dimensionamento da parte 8 do EC3.

Recorreu-se, também, aos softwares de cálculo “Idea Statica” e ao “Robot Structural” [38] [40].

De referir que o software “Idea Statica”, faz uma análise de tensões em 3D permitindo em certos casos o dimensionamento tendo em conta a plastificação das ligações.

Os pormenores das ligações deste projeto constam nas peças desenhadas do ANEXO XI.

### **7.6.1 LIGAÇÕES APARAFUSADAS EM PERFIS DA SÉRIE SHS COM CHAPA DE TOPO**

As ligações dos troços da ponte serão executadas com chapas de topo aparafusadas e soldadas com penetração total aos perfis metálicos [8].

Estas ligações são do tipo C e E e foram calculadas para os esforços axiais, momentos fletores e esforços transversos mais desfavoráveis.

Foram verificadas também as resistências dos parafusos, das soldaduras e das chapas de ligação.

### 7.6.1.1 LIGAÇÕES TIPO SHS 250x8 - SHS250x8

Dentro das ligações deste tipo a ligação mais solicitada é a do nó 97 (ver Figura 7.22).

Nesta ligação a combinação condicionante é a do E.L.U. com a ação variável base o vento na direção Y+.

O dimensionamento foi feito simultaneamente nos softwares “Robot”, “Idea Statica” e nas folhas de cálculo em “Excel”, e os resultados comparados.

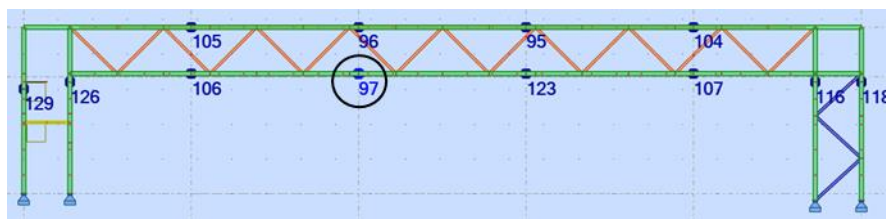


Figura 7.22 – Localização da ligação do nó 97.

No quadro seguinte resumem-se algumas das verificações realizadas em cada um dos softwares.

Quadro 7.21 – Verificação da ligação do nó 97.

Componente a Verificar	Esforço a Verificar	Nomenclatura da verificação	Cálculo	Robot Stutural		Idea Statica	
			Resultado	Resultado	Rácio	Resultado	Rácio
Parafusos	Tração	Ft,Ed / Ft,Rd	0.78	0.68	1.15	0.98	0.80
	Punçoamento	Ft,Rd / Bp,Rd	0.23	0.20	1.16	Verifica	---
	Corte+tração	Fv,Ed / Fv,Rd + Ft,Ed / 1.4Ft,Rd	0.57	---	---	0.71	0.81
Soldadura	Tração	Ft,Ed / Fw,Rd	0.66	0.58	1.13	Verifica	---
	Tração+My	Ftw,Ed(My) / Fw,Rd	0.80	0.58	1.38	Verifica	---
	Tração+Mz	Ftw,Ed(Mz) / Fw,Rd	0.67	0.58	1.16	Verifica	---
Chapa de Topo	Momento y-y	Med,y-y/MRd,y-y	0.98	1.07	0.92	1.02	0.97
	Momento z-z	Med,z-z/MRd,z-z	0.91	1.07	0.85	1.02	0.89

Esta ligação está incluída nas peças desenhadas deste projeto e corresponde à “Ligação Tipo J1”.

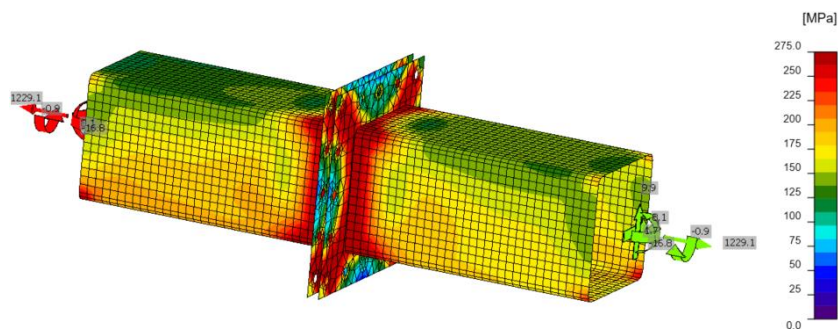
A análise desta ligação mostra que existem algumas diferenças na abordagem dos métodos de cálculo utilizados, tais como:

- Chapas de topo:
  - O software “Robot Structural” utiliza a norma “NCCI: SN044a”.
  - O software “Idea Statica” faz o dimensionamento recorrendo a uma análise de tensões.
  - Na folha de cálculo utilizou-se uma análise a partir dos esforços máximos axiais, de flexão e de corte segundo o EC3-1-8.
- Parafusos:
  - O “Robot” divide a força de tração pelo número total de parafusos para as ligações da Categoria E.

- O “Idea Statica” determina a força de tração nos parafusos com base na distribuição das tensões resultantes dos esforços na ligação.
  - Na folha de cálculo procedeu-se a uma análise com base nos esforços máximos axiais, de flexão e de corte.
- Soldaduras:
- Em ambos os softwares o cálculo das soldaduras é realizado pelo método direcional.
  - Na folha de cálculo utilizou-se o método simplificado.

Os relatórios dos softwares e das folha de cálculo encontram-se no ANEXO VII.

Na Figura 7.23 mostra-se as tensões na ligação do nó 97 no “Idea Statica”.



**Figura 7.23 – Tensões na ligação do nó n°97 [40].**

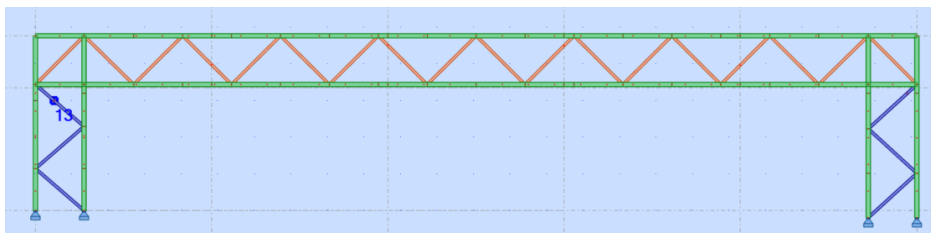
*Nota: Todas as ligações deste tipo foram calculados com recurso aos mesmos softwares e conduziram a resultados que asseguram a segurança.*

### 7.6.1.2 LIGAÇÕES TIPO SHS 150x6.3 - SHS 150x6.3

A ligação mais desfavorável é a do nó 13 (ver Figura 7.24).

Nesta ligação a combinação condicionante é a do E.L.U. para a ação variável base a temperatura de “Verão”.

O cálculo foi realizado a partir dos softwares “Robot”, “Idea Statica” e das folhas de cálculo tendo-se comparado os resultados.



**Figura 7.24 – Localização da ligação do nó 13.**

No Quadro 7.22 resumem-se as verificações em cada um dos softwares.

**Quadro 7.22 - Verificação da ligação do nó 13.**

Componente a Verificar	Esforço a Verificar	Nomenclatura da verificação	Cálculo	Robot Stutural		Idea Statica	
			Resultado	Resultado	Rácio	Resultado	Rácio
Parafusos	Tração	Ft,Ed / Ft,Rd	0,48	0,47	1,01	0,92	0,52
	Punçoamento	Ft,Rd / Bp,Rd	0,19	0,19	1,01	Verifica	---
	Corte+tração	Fv,Ed / Fv,Rd + Ft,Ed / 1.4Ft,Rd	0,34	---	---	0,65	0,52
Soldadura	Tração	Ft,Ed / Fw,Rd	0,72	0,66	1,10	Verifica	---
	Tração+My	Ftw,Ed(My) / Fw,Rd	0,74	0,66	1,12	Verifica	---
	Tração+Mz	Ftw,Ed(Mz) / Fw,Rd	0,72	0,66	1,10	Verifica	---
Chapa de Topo	Momento y-y	Med,y-y/MRd,y-y	0,94	0,82	1,14	1,01	0,93
	Momento z-z	Med,z-z/MRd,z-z	0,93	0,82	1,14	1,01	0,92

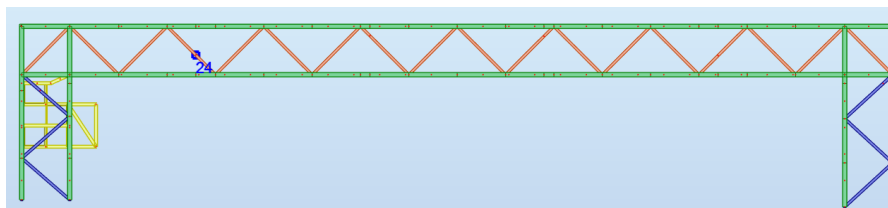
A ligação deste tipo incluída nas peças desenhadas corresponde à “Ligação Tipo J2”.

No ANEXO VII juntam-se os resultados dos softwares e das folhas de cálculo.

### 7.6.1.3 LIGAÇÕES TIPO SHS 140x5 - SHS 140x5

A ligação mais desfavorável é a do nó 24.

Nesta ligação a combinação condicionante é a do E.L.U. com a ação variável base a sobrecarga X-.



**Figura 7.25 – Localização da ligação do nó 24.**

No Quadro 7.23 indicam-se os resultados das verificações.

**Quadro 7.23 - Verificação da ligação do nó 24.**

Componente a Verificar	Esforço a Verificar	Nomenclatura da verificação	Cálculo	Robot Stutural		Idea Statica	
			Resultado	Resultado	Rácio	Resultado	Rácio
Parafusos	Tração	Ft,Ed / Ft,Rd	0,43	0,52	0,82	0,91	0,47
	Punçoamento	Ft,Rd / Bp,Rd	0,18	0,20	0,92	Verifica	---
	Corte+tração	Fv,Ed / Fv,Rd + Ft,Ed / 1.4Ft,Rd	0,31	---	---	0,65	0,47
Soldadura	Tração	Ft,Ed / Fw,Rd	0,58	0,46	1,27	Verifica	---
	Tração+My	Ftw,Ed(My) / Fw,Rd	0,60	0,46	1,30	Verifica	---
	Tração+Mz	Ftw,Ed(Mz) / Fw,Rd	0,58	0,46	1,27	Verifica	---
Chapa de Topo	Momento y-y	Med,y-y/MRd,y-y	0,66	0,87	0,76	1,01	0,65
	Momento z-z	Med,z-z/MRd,z-z	0,65	0,87	0,75	1,01	0,65

Esta ligação corresponde à “Ligação Tipo J3” nas peças desenhadas.

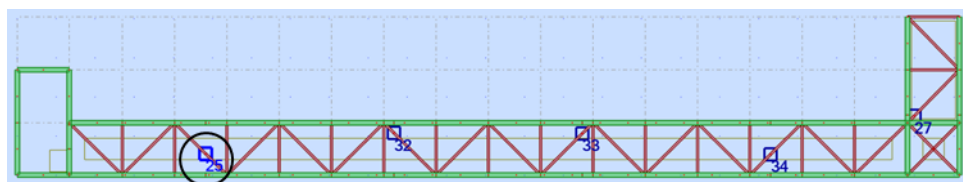
Os restantes elementos de cálculo estão no ANEXO VII.

### 7.6.1.4 LIGAÇÃO TIPO SHS 120x5 - SHS 120x5

A ligação deste tipo mais desfavorável é a do nó 25 (ver Figura 7.26).

A combinação condicionante é a do E.L.U. para a ação variável base o vento Y-.

Recorreu-se, tal como nas outras ligações aos softwares “Robot”, “Idea Statica” e às folhas de cálculo, e compararam-se os resultados.



**Figura 7.26 – Localização da ligação do nó 25.**

No Quadro 7.24 indicam-se parte das verificações realizadas.

**Quadro 7.24 - Verificação da ligação 25.**

Componente a Verificar	Esforço a Verificar	Nomenclatura da verificação	Cálculo	Robot Stutural		Idea Statica	
			Resultado	Resultado	Rácio	Resultado	Rácio
Parafusos	Tração	$F_t,Ed / F_t,Rd$	0,28	0,17	1,64	0,62	0,45
	Punçoamento	$F_t,Rd / B_p,Rd$	0,12	0,07	1,71	Verifica	---
	Corte+tração	$F_v,Ed / F_v,Rd + F_t,Ed / 1.4F_t,Rd$	0,20	---	---	0,45	0,45
Soldadura	Tração	$F_t,Ed / F_w,Rd$	0,28	0,24	1,17	Verifica	---
	Tração+My	$F_{t,w},Ed(My) / F_w,Rd$	0,64	0,24	2,68	Verifica	---
	Tração+Mz	$F_{t,w},Ed(Mz) / F_w,Rd$	0,30	0,24	1,24	Verifica	---
Chapa de Topo	Momento y-y	$M_{ed,y-y} / M_{Rd,y-y}$	0,46	0,29	1,60	1,00	0,46
	Momento z-z	$M_{ed,z-z} / M_{Rd,z-z}$	0,38	0,29	1,32	1,00	0,38

Esta ligação refere-se à “Ligação Tipo J4” incluída nas peças desenhadas.

Os relatórios de todos os cálculos estão no ANEXO VII.

## 7.6.2 LIGAÇÕES COM PERFIS IPE180

As ligações dos perfis principais das escadas foram realizadas com soldaduras e com parafusos.

### 7.6.2.1 LIGAÇÃO TIPO SOLDADA

Estas ligações foram executadas com soldaduras com penetração total após a realização prévia dos chanfros na alma e nos banzos dos perfis.

O cálculo foi feito no software “Idea Statica” com base nos esforços da combinação condicionante.

Na figura mostram-se as tensões máximas de comparação.

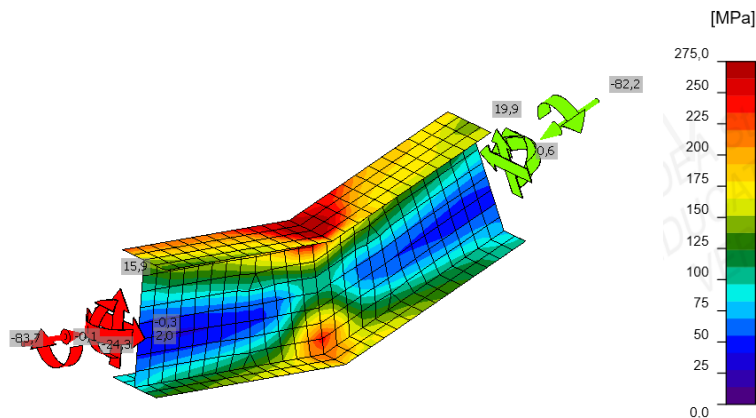


Figura 7.27 – Tensões na ligação entre IPE's [40].

Os cálculo desta ligação está no ANEXO VII.

### 7.6.2.2 LIGAÇÃO APARAFUSADA TIPO T

Esta ligação foi estudada no software “Idea Statica” para a combinação condicionante do E.L.U. com a ação variável base o vento X-.

A ligação é composta por uma chapa soldada à alma do perfil secundário, 4 parafusos M12 da classe 10.9 e um rigidificador colocado na alma do perfil principal.

Na Figura 7.28 indicam-se as tensões máximas resultantes do dimensionamento.

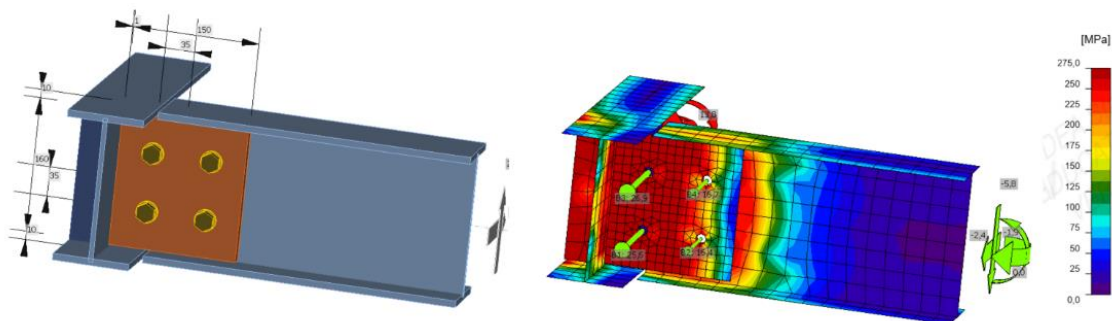


Figura 7.28 – Ligação aparafusada entre perfis IPE180 – Tipo “T”.

Os elementos do cálculo desta ligação constam no ANEXO VII.

### 7.6.2.3 LIGAÇÃO APARAFUSADA TIPO IPE180 - SHS250x8

Esta ligação foi usada nos perfis das escadas com os pilares da torre 1.

Na Figura 7.29 mostram-se todos os elementos que compõem da ligação modelada no software “Idea Statica” para combinação condicionante com a ação variável base o vento Y+.

Na figura seguinte estão indicadas as tensões de comparação em todos os elementos incluídos no relatório de calculo do ANEXO VII.

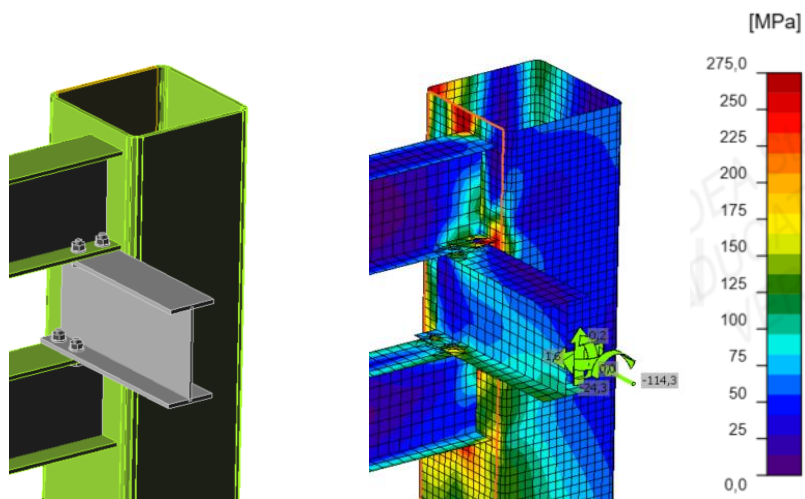


Figura 7.29 – Ligação dos IPE's 180 ao pilar [40].

#### 7.6.2.4 LIGAÇÃO APARAFUSADA TIPO IPE180 - IPE180

Esta ligação dos perfis IPE180 das diagonais ao perfil IPE 180 da consola pertence à torre 1 e foi modelada no software “Idea Statica”.

Na Figura 7.30 mostram-se todos os elementos da ligação constituída por IPE's, chapas de 10 mm e por 8 parafusos M12 da classe 10.9.

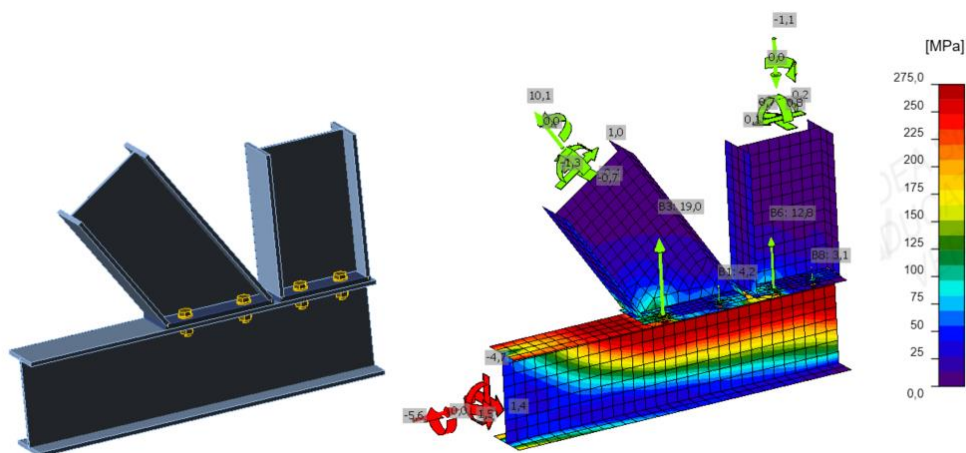


Figura 7.30 – Ligação aparafusada das diagonais a um montante.

#### 7.6.2.5 LIGAÇÃO APARAFUSADA TIPO IPE180 - SHS250x8

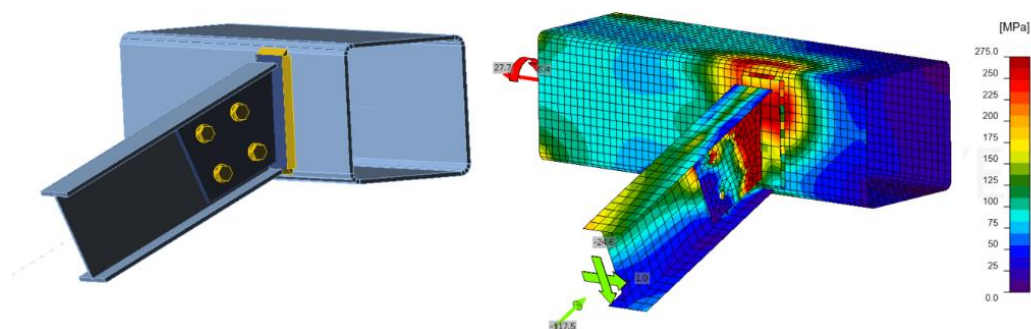
Na Figura 7.31 indicam-se os elementos que formam este tipo de ligações, nomeadamente os perfis, as chapas de 10mm, os parafusos M12 da classe 10.9 e as soldaduras que asseguram a união de todos os elementos.

Esta ligação é da “Categoria A” e foi analisada no software “Idea Statica” e na folha de cálculo com base na combinação condicionante.

O dimensionamento dos parafusos e das soldaduras consta no quadro seguinte.

**Quadro 7.25 – Verificação da ligação aparafusada.**

Componente a Verificar	Esforço a Verificar	Nomenclatura da verificação	Cálculo	Idea Statica	
			Resultado	Resultado	Rácio
Parafusos	Corte	Fv,Ed/Fv,Rd	0.89	0.98	0.91
	Esmagamento	FV,Ed / Fb,Rd	0.66	Verifica	---
	---	---	---	---	---
Soldadura	Tração (Sold)	Ft,Ed / Fw.Rd	0.63	Verifica	---
	Corte (Vz)	FZ/Fw.Rd	0.13	Verifica	---
	---	---	---	---	---

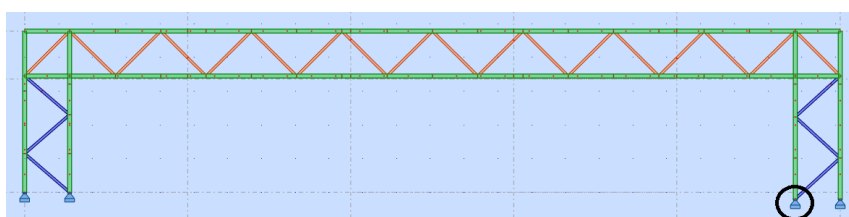


**Figura 7.31 – Ligação IPE180 – SHS250x8 [40].**

### 7.6.3 LIGAÇÃO TIPO BASES DAS COLUNAS AOS PLINTO DE BETÃO ARMADO

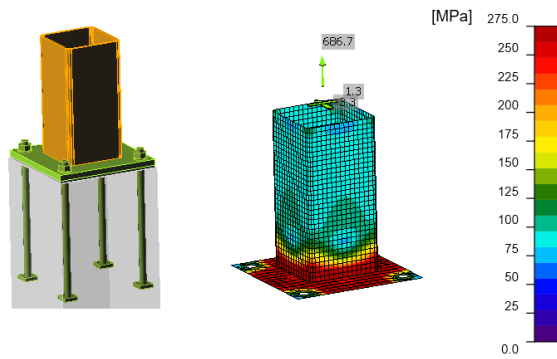
Estas ligações garantem a transmissão de todos os esforços da superestrutura aos plintos de betão armado das fundações.

O cálculo foi realizado com base na combinação mais condicionante para a ação variável base o vento Y+ recorrendo aos softwares “Robot Structural” e “Idea Statica”.



**Figura 7.32 - Nó de ligação coluna-plinto.**

Esta ligação é constituída por uma chapa com espessura de 25mm soldada com penetração total ao montante e por 4 chumbadouros M30 da classe 10.9.



**Figura 7.33 – Ligação coluna-plinto [40].**

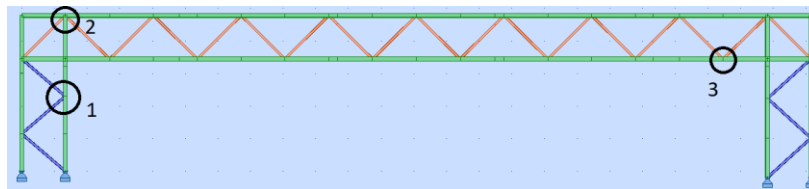
As ligações deste tipo “LIGAÇÃO TIPO C-S1” e “LIGAÇÃO TIPO C-S2” contam nas peças desenhadas.

Os relatórios de cálculo estão no ANEXO VII.

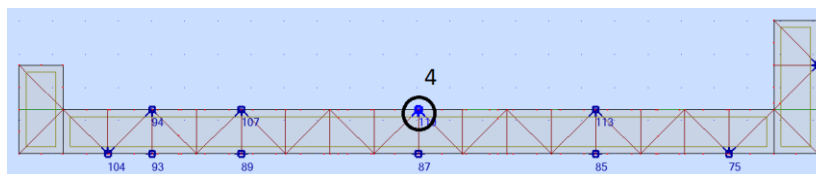
#### **7.6.4 LIGAÇÕES SOLDADAS TIPO KT, K E T**

Todas as ligações deste grupo foram verificadas no software “Robot Structural” exceto a do nó nº2 da Figura 7.34.

Nestas ligações as excentricidades dos eixos das diagonais e das cordas não ultrapassam os 60 mm, razão pela qual foi possível desprezar os momentos devido às excentricidades.



**Figura 7.34 – Ligações mais solicitadas do tipo K.**



**Figura 7.35 – Ligação mais solicitada do tipo KT**

##### **7.6.4.1 LIGAÇÕES SOLDADAS TIPO K COM DIAGONAIS SHS150x6.3**

A ligação mais solicitada deste tipo é a do nó nº1 indicada Figura 7.34.

No dimensionamento cumpriram-se as condições do EC3-1-8 resumidas nos Quadros 7.26 e 7.27.

**Quadro 7.26 – Condições de validade nas ligações tipo K.**

Quadro 7.8 do EC3-1 - Domínio de Validade - Diagonal/Corda										
Tipo de Junta	Parametros das Juntas									Afastamento ou sobreposição
	bi/b0	bi/ti	hi/ti	bi/ti	hi/ti	ho/b0	hi/bi	b0/t0	h0/t0	
	0,6	23,8	23,8	23,8	23,8	1	1	31,3	31,3	
	Compressao			Tração						
K com afastamento	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
N com afastamento									g/b0 0,28	OK

**Quadro 7.27 – Outras condições de verificação (Quadro 5.29).**

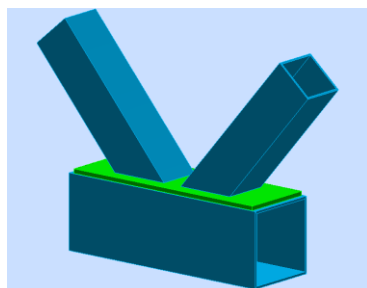
Quadro 7.9 - Condições Suplementares para utilização do Quadro 7.10 do EC3-1			
Tipos de elemento diagonal	Tipos de elemento diagonal	Parametros da Junta	
Secção Tubular Quadrada	K ou N com afastamento	(b1+b2)/2b1	b0/t0
		1	31,3
		OK	OK

Esta ligação foi calculada para os esforços da combinação mais desfavorável do E.L.U para a ação variável base o vento Y-.

A ligação das diagonais à chapa e ao banzo do perfil tubular foi realizada com soldaduras de penetração total.

Foi necessário adicionar uma chapa de reforço às diagonais uma vez que a espessura do banzo do perfil SHS250x8 não é suficiente.

O relatório de dimensionamento detalhado do software desta ligação encontra-se no ANEXO VII.

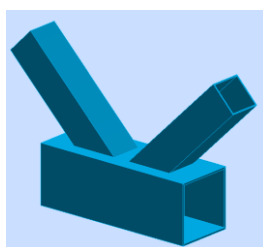


**Figura 7.36 – Ligação tipo K - Corda SHS 250x8 + Diagonais SHS150x6.3 [38].**

#### 7.6.4.2 LIGAÇÕES SOLDADAS TIPO K COM DIAGONAIS SHS140x5

Na Figura 7.37 apresenta-se uma ligação deste tipo.

A ligação mais solicitada corresponde ao nó n°3 da estrutura.



**Figura 7.37 – Ligação tipo K - Corda SHS250x8 + Diagonais SHS140x5 [38].**

Esta ligação foi calculada para a combinação mais desfavorável do E.L.U. para a ação variável base a sobrecarga X+.

A ligação das diagonais à corda foi realizada com soldaduras de penetração total.

Respeitaram-se as condições de validade resumidas nos Quadros 7.28 e 7.29.

No ANEXO VII estão indicadas as restantes verificações feitas no “Robot Structural”.

**Quadro 7.28 – Condições de validade das ligações tipo K.**

Quadro 7.8 do EC3-1 - Domínio de Validade - Diagonal/Corda											
Tipo de Junta	Parâmetros das Juntas										
	bi/b0	bi/ti	hi/ti	bi/ti	hi/ti	ho/b0	hi/bi	b0/t0	h0/t0	Afastamento ou sobreposição	
	0,6	23,8	23,8	23,8	23,8	1	1	31,3	31,3		
	Compressão		Tração								
K com afastamento	OK	OK		OK		OK	OK	OK	OK	g/b0	OK
N com afastamento									0,28		

**Quadro 7.29 – Outras condições a respeitar.**

Quadro 7.9 - Condições Suplementares para utilização do Quadro 7.10 do EC3-1			
Tipos de elemento diagonal	Tipos de elemento diagonal	Parâmetros da Junta	
Secção Tubular	K ou N com afastamento	(b1+b2)/2b1	b0/t0
Quadrada		1	31,3
		OK	OK

### 7.6.4.3 LIGAÇÕES SOLDADAS TIPO KT E T COM DIAGONAIS E PRUMOS SHS120x5

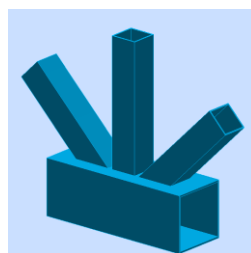
Nas ligações deste tipo a mais solicitada é a do nó 4 localizado a meio vão da ponte, cuja configuração geométrica se indica na Figura 7.38.

Esta ligação foi realizada na totalidade com soldaduras de ângulo com penetração total para a combinação mais desfavorável do E.L.U.

Conforme se mostra no Quadro 7.30 esta ligação não verifica algumas das condições de validade impostas pelo EC3-1-8.

**Quadro 7.30 – Condições de validade das ligações tipo KT.**

Quadro 7.8 do EC3-1 - Domínio de Validade - Diagonal/Corda											
Tipo de Junta	Parâmetros das Juntas										
	bi/b0	bi/ti	hi/ti	bi/ti	hi/ti	ho/b0	hi/bi	b0/t0	h0/t0	Afastamento ou sobreposição	
	0,48	24,0	24,0	24,0	24,0	1	1	31,3	31,3		
	Compressão		Tração								
T,Y,X	OK	OK		OK		OK	OK	OK	OK	-----	
K com afastamento	OK	OK		OK		OK	OK	OK	OK	g/b0	ERRO
N com afastamento									0,08		



**Figura 7.38 – Ligação tipo KT - Diagonais e prumo SHS120x5 + Corda SHS250x8 [38].**

O relatório do software com o resultado das verificações está no ANEXO VII.

#### 7.6.4.4 LIGAÇÃO TIPO KT

A ligação mais solicitada deste tipo é a do nó 2 representado na Figura 7.34.

O dimensionamento foi realizado no software “Idea Statica” com base numa análise de tensões, a partir dos esforços da combinação condicionante do E.L.U. para a ação variável base o vento Y+.

Da análise efetuada constatou-se a necessidade de se proceder ao reforço das ligações das diagonais recorrendo a chapas de 10 mm de espessura, conforme se mostra na “LIGAÇÃO TIPO N1” incluída nas peças desenhadas do projeto.

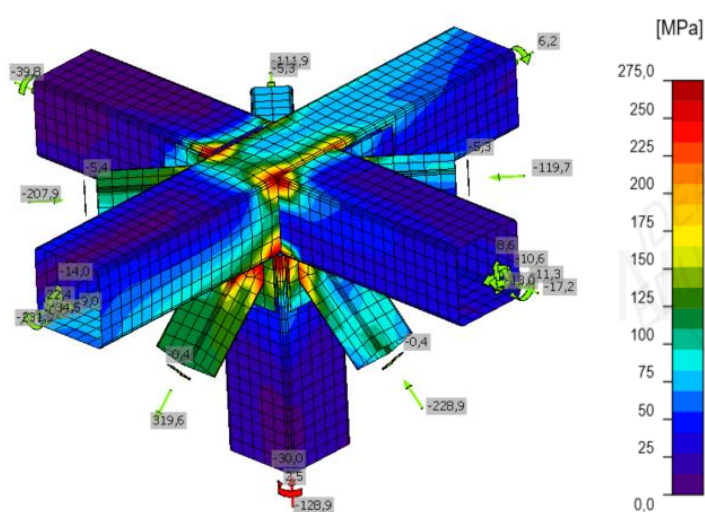


Figura 7.39 – Ligação do nó 2 [40].

No ANEXO VII junta-se a informação respeitante aos cálculos realizados

## 7.7 VERIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO

### 7.7.1 PLINTOS

Todos os plintos P1 da Torre 1 têm dimensões de 0.55m x 0.55m x 0.40m e foram calculados com base nas combinações dos esforços condicionantes dos E.L.U. e E.L.Ut. indicados no Quadro 7.31.

**Quadro 7.31 – Esforços nos Plintos P1.**

Combinação		Esforços				
Ação Condicionante	Node/Case/Mode	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)
ELU - verão 1.2	7/ 130 (C)	568,47	5,30	-762,17	2,12	227,39
ELUt - W (X-) - Característica	7/ 224 (C)	401,49	3,16	-403,29	1,26	160,59
ELUt - Frequente	7/ 301 (C)	253,66	2,69	-203,12	1,07	101,47
ELUt - QP	7/ 402 (C)	194,40	2,13	-205,96	0,85	77,76

Recorreu-se aos softwares “XD-CoSec” [41] e “XD-ConServ” [42], desenvolvidos na Universidade de Aveiro para a determinação das armaduras, considerando para os materiais o betão da classe C30/37 e aço A500NR.

Os resultados finais conduzem às seguintes armaduras:

- Longitudinais - 16Ø20 (5 varões em cada face);
- Transversais - 4 ramos de Ø8//0.15m.

*Nota: No ANEXO VIII juntam-se os resultados obtidos nos softwares acima mencionados.*

## 7.7.2 PAREDES DE BETÃO

A ligação da estrutura metálica à fundação da Torre 2 foi realizada a partir de uma secção composta por quatro paredes ligadas entre si com espessuras de 0.55m.

A fundação é rígida com as dimensões de 3.80m x 3.60m x 1.10m conforme se mostra no desenho nº 5-EM das peças desenhadas deste projeto.

No Quadro 7.32 indica-se o plano de cargas nas bases dos pilares metálicos da Torre 2.

**Quadro 7.32 – Esforços nas bases dos pilares da Torre 2.**

Combinação		Esforços		
Ação Condicionante	Node/Case/Mode	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)
ELU - W (Y+)	19/ 81 (C)	1,01	-49,79	1368,93
ELU - W (Y+)	13/ 81 (C)	-208,75	0,76	-876,89
ELU - W (X+)	15/ 73 (C)	-410,63	-62,45	-362,68
ELU - W (Y+)	15/ 82 (C)	-165,86	-388,40	1194,18

Uma vez que estes elementos funcionam como “viga parede” as armaduras foram calculadas recorrendo a modelos do tipo “escora - tirante” [1, Sec. 9.5], indicados nas figuras seguintes.

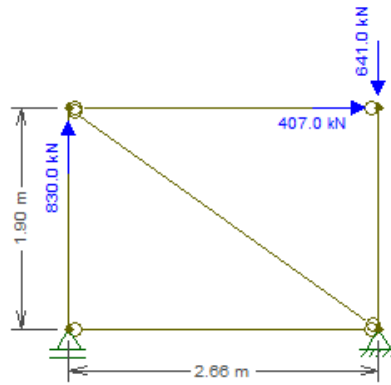


Figura 7.40 – Ações na Parede P2 - Ações [43].

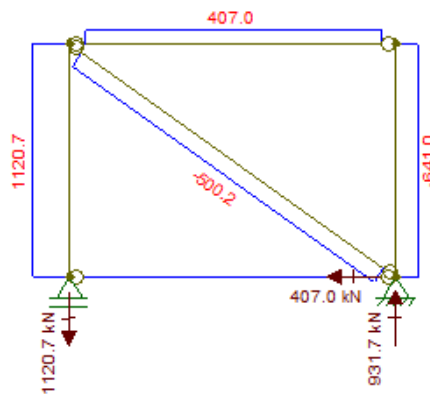


Figura 7.41 – Esforços e reações na Parede P2 [43].

O dimensionamento orgânico conduziu às seguintes armaduras:

- Verticais –  $\varnothing 12 // 0.20\text{m}$
- Horizontais –  $\varnothing 8 // 0.15\text{m}$
- Escoras verticais –  $16\varnothing 16$

*Nota: Todos os elementos do dimensionamento contam do ANEXO VIII.*

### 7.7.3 SAPATAS

As sapatas S1 e S2 foram fundadas aos mesmos níveis das fundações dos edifícios vizinhos.

O estudo foi realizado com base no Anexo D do EC7 (ANEXO IX), considerando-as como rígidas assentes em terrenos drenados.

Os assentamentos foram analisados recorrendo ao método indireto.

Determinaram-se os esforços resultantes aplicados no centro de gravidade das sapatas para as combinações condicionantes.

Com base nos esforços recorreu-se a uma folha de cálculo em “Excel” e determinaram-se as resistências para as combinações de ações dos E.L.U. e de E.L.Ut. conforme descrito no subcapítulo 5.7.2 deste documento.

Os materiais adotados foram o betão da classe C30/37 e o aço A500 NR.

Considerou-se as classes de exposição XC4, estrutural S6 e recobrimentos mínimos de 5cm.

### **7.7.3.1 SAPATA S1**

O dimensionamento desta sapata foi realizado com base nos critérios definidos na memória descritiva deste documento no subcapítulo 5.7.2.

Na verificação dos assentamentos recorreu-se ao “método indireto” considerando a combinação mais desfavorável do E.L.Ut. para a ação variável base o vento “Y-” (combinação característica).

Na determinação das tensões no terreno de fundação e no dimensionamento das armaduras considerou-se a combinação do E.L.U. com as ações variáveis base do vento Y- e X+.

Com base nestes estudos concluiu-se que a geometria adequada para esta sapata é de 4.2m x 7.0m x 1.1m em que as armaduras determinadas pelo método das bielas conduziram aos seguintes valores:

- Direção X (faces inferior e superior) – Ø16//0.15m
- Direção Y (faces inferior e superior) – Ø20//0.125m

Os cálculos e peças desenhadas estão nos ANEXOS IX e XI respetivamente.

### **7.7.3.2 SAPATA S2**

O dimensionamento desta sapata foi feito de um modo análogo ao da sapata anterior.

Concluiu-se que as dimensões adequadas eram de 3.8m x 3.6m x 1.1m com as seguintes armaduras:

- Direção X (faces inferior e superior) – Ø16//0.15m.
- Direção Y (faces inferior e superior) – Ø16//0.20m

Nos ANEXOS XI e XI juntam-se todos elementos dos estudos realizados.

## **7.8 OUTROS ELEMENTOS ESTRUTURAIS**

### **7.8.1 REVESTIMENTO DOS ALÇADOS EM VIDRO LAMINADO**

Os painéis dos alçados laterais em vidro laminado foram dimensionados para uma ação de cálculo de  $1.5 \times 2.82 \text{ kN/m}^2$  correspondente à ação do vento como ação variável base (ver capítulo 3.2.2).

Com base nas características definidas na ficha técnica destes materiais escolheu-se um vidro com uma espessura de 20 mm.

### **7.8.2 JUNTAS DE LIGAÇÃO ENTRE EDIFÍCIOS**

As juntas de ligação devem possuir folgas suficientes de modo a permitirem o funcionamento independente dos edifícios.

Assim na consola metálica do passadiço que liga ao Edifício H01 a junta deve permitir os seguintes deslocamentos mínimos:

- 1.3 cm segundo X;
- 0.6 cm segundo Y;
- 0.7 cm segundo Z.

Para a consola metálica da ponte que faz a ligação ao Edifício A01 a junta foi dimensionada para os seguintes deslocamentos:

- 0.5 cm segundo X;
- 0.3 cm segundo Y;
- 0.2 cm segundo Z.

### **7.8.3 PAVIMENTO METÁLICO DO PISO**

O piso do pavimento metálico da ponte foi dimensionado para uma ação de cálculo de  $1.5 \times 5.0 \text{ kN/m}^2$  correspondente à ação da sobrecarga como ação variável base para um vão de 2.40 m.

A chapa metálica escolhida foi a do perfil tipo “Perfitec TR65 C” com uma espessura de 1.2mm (ANEXO IX).

### **7.8.4 CHAPAS METÁLICAS DO REVESTIMENTO DA COBERTURA**

As chapas do revestimento da cobertura foram calculadas para uma ação de cálculo de  $1.5 \times 1.15 \text{ kN/m}^2$  corresponde à ação do vento como ação variável base.

Optou-se por um painel sandwich do tipo “Perfitec rooftec 4” com uma espessura de 40mm conforme a ficha técnica que consta no ANEXO IX.



## 8 CONCLUSÕES

A realização deste projeto foi muito importante uma vez que permitiu consolidar grande parte dos conhecimentos adquiridos na licenciatura e no mestrado, e simultaneamente adquirir novos conhecimentos.

Este trabalho permitiu o aprofundamento dos Eurocódigos estruturais, incluindo algumas partes não abordadas no curso, tais como a parte 4 do Eurocódigo 1 referente à ação do vento, e a parte 2 do EC3 relativo às pontes metálicas.

Do projeto propriamente dito concluiu-se:

- A estrutura metálica tem um peso total de 33 tf.
- O peso desta ponte é reduzido comparativamente com outras estruturas do mesmo tipo.
- As combinações de ações mais condicionantes para os estados limites últimos foram as ações cujas variáveis base são o vento e a sobrecarga.
- A estrutura é composta por elementos treliçados formando um caixão espacial e pode-se classificar como “Non Sway”, uma vez que os deslocamentos em todas as combinações não são significativos, não sendo necessário recorrer a uma análise de 2º ordem.
- No dimensionamento dos elementos metálicos os fenómenos de encurvadura foram os mais condicionantes.
- A estrutura apresenta frequências com risco de ressonância mas respeita os critérios de conforto, não sendo necessário alterar as frequências naturais da estrutura.
- Todas as secções dos perfis da ponte são tubulares retangulares da classes 1.
- A análise das ligações metálicas foi realizada com recurso a 3 processos independentes: folhas de cálculo em “Excel”, softwares “Robot Structural” e “Idea Statica” com resultados idênticos.

Na elaboração deste trabalho foram desenvolvidas competências em diversos domínios:

- Softwares: Utilização do AutoCAD 3D na preparação dos modelos deste projeto e na realização das peças desenhadas das estruturas metálicas e de betão armado.

- Desenvolvimento de competências na modelação e dimensionamento de estruturas com recurso a programas de elementos finitos nomeadamente: o “Robot Strutral” e o “Idea Statica” no cálculo de ligações metálicas.
- Aplicação de outros softwares: “LTBeamN”, “XD-ConServ”, “XD-CoSec” e “Ftool”.
- Utilização do “Excel” através de diversas folhas de cálculo utilizadas no dimensionamento de estruturas metálicas (secções, elementos, ligações, estruturas de betão armado).

Na realização deste projeto surgiram alguns assuntos ligados a temas que não foram aprofundados e constituem um desafio futuro a explorar como engenheiro de estruturas, nomeadamente:

- Estruturas de aço leve (LSF).
- Análise de 2º ordem com recurso a análises não lineares.
- Aprofundamento de outros softwares nomeadamente o “Advance Concreet”, “Revit”, “Cad Works” com metodologia BIM, “SAP 2000” e “Gala Reinforcement”.
- Dimensionamento de elementos em vidro estrutural.
- Análise à fadiga.
- A continuidade na preparação de peças desenhadas necessárias em todas as fases de realização de qualquer projeto.

Concluindo, o presente trabalho foi bastante positivo e constituiu uma ferramenta importante para desafios futuros profissionais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Appleton, *Estruturas de Betão - Volume 1*, 1ª Edição. Amadora: Edições Orion, 2013.
- [2] W. F. and M. D.B., *DESIGN OF STRUCTURAL CONNECTIONS TO EUROCODE 3*, no. September. Watford: Building Research Establishment Ltd., 2003.
- [3] Google Inc., “Google Earth Pro.” EUA, 2017.
- [4] P. Batardo, “Arquitetura.” Repartição Técnica de Engenharia - Direção de Infraestruturas do Exercito, Lisboa, 2016.
- [5] M. Labisa, J. E. C. Correia, and J. Beiró, “ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO - HOSPITAL DAS FORÇAS ARMADAS - CONSTRUÇÃO DO PASSADIÇO DE LIGAÇÃO DO EDIFÍCIO H01 AO A04.” Geocontrolo - Geotécnia e Estruturas de Fundações SA, Bobadela, 2016.
- [6] NP EN 1993-1-1, “Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios,” in *Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço*, Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 2010.
- [7] EN 1993-2, “Part 2: Steel Bridges,” in *Eurocode 3 - Designs of steel structures*, Comité Europeu de Normalização, 2006.
- [8] NP EN 1993-1-8, “Parte 1-8: Projecto de ligações,” in *Eurocódigo 3 - Projeto de estruturas de aço*, Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 2010.
- [9] NP EN 1992-1-1, “Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios,” in *Eurocódigo 2 - Projecto estruturas de betão*, Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 2010.
- [10] J. N. Camara, A. Costa, J. F. Almeida, E. Julio, and J. Alfaiate, “Estruturas de Betão I.” Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2016.
- [11] NP EN 1991-1-1, “Parte 1-1: Acções Gerais - Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios,” in *Eurocódigo 1 - Acções em estruturas*, Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 2009.
- [12] NP EN 1991-2, “Parte 2: Acções de tráfego em pontes,” in *Eurocódigo 1 - Acções em estruturas*, Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 2005.
- [13] NP EN 1991-1-4, “Parte 1-4: Acções gerais - Acções do vento,” in *Eurocódigo 1 – Acções em estruturas*, Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 2010.
- [14] EN 1993-3-1, “Part 3-1: Towers, masts and chimneys – Towers and masts,” in *Eurocode 3: Design of steel structures*, vol. 1990, no. 2002, Comité Europeu de Normalização, 2006.
- [15] NP EN 1991-1-5, “Parte 1-5: Acções gerais - Acções térmicas,” in *Eurocódigo 1 – Acções em estruturas*, Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 2009.

- [16] NP EN 1998-1, “Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios,” in *Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos*, Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 2010.
- [17] EN 1998-2, “Part 2: Bridges,” in *Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance*, Bruxelas: Comité Europeu de Normalização, 2005.
- [18] A. K. Chopra, *Dinâmica de Estruturas*, Quarta Edi. PEARSON, 2014.
- [19] EN 1990, “Annex A2 - Application for bridge,” in *Eurocode: Basis of structural design*, Comité Europeu de Normalização, 2005.
- [20] NP EN 1990, *Eurocódigo: Bases para o projeto de estruturas*. Lisboa: Instituto Português da Qualidade, 2009.
- [21] G. D. Brown, “Design of portal frames to Eurocode 3: An overview for UK designers,” p. 48, 2013.
- [22] W. F. Chen and S. E. Kim, “3: Steel and Composite Frames - Design of Steel Structures with LRFD Using Advanced Analysis,” in *STABILITY AND DUCTILITY OF STEEL STRUCTURES*, First Edit., T. Usami and Y. Itoh, Eds. Oxford: Elsevier Science Ltd, 1998.
- [23] J. S. Viseu, *Apontamentos do curso de formação de introdução à NP EN 1993-1-1:2010*. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2014.
- [24] R. A. D. Simões, *Manual de Dimensionamento de Estruturas Metálicas*, 3ª edição. Coimbra: Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista, 2014.
- [25] P. M. Vindima, “Estabilidade em vigas metálicas: Cálculo de momentos críticos,” Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.
- [26] A. Reis and D. Camotim, *Estabilidade e Dimensionamento de Estruturas*, 1ª edição. Amadora, 2012.
- [27] DD ENV 1993-1-1, “Part 1.1: General rules and rules for buildings,” in *Eurocode 3 : Design of steel structures*, Comité Europeu de Normalização, 1992.
- [28] CTICM, “LTBeamN.” France.
- [29] I. Roos, “HUMAN INDUCED VIBRATIONS ON FOOTBRIDGES,” Delft University of Technology, 2009.
- [30] HIVOSS/ RFCS (Research Fund for Coal and Steel), “Human Induced Vibrations of Steel Structures.” RWTH AACHEN UNIVERSITY, Aquisgrana, Alemanha, 2008.
- [31] J. Paulo and F. Sanches, “Controlo de Vibrações em Pontes Pedonais Sujeitas a Acções de Multidões,” Universidade Nova de Lisboa, 2012.
- [32] Sétra/Afgc (French association of civil engineering), “Footbridges - Assessment of vibrational behaviour of footbridges under pedestrian loading,” no. october. Sétra, Paris, France, 2006.
- [33] J. S. Viseu, *Apontamentos do curso de formação de introdução à NP EN 1993-1-8:2010*. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2014.
- [34] EN 1090-2, *Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2: Technical requirements for steel structures*. Comité Europeu de Normalização, 2008.
- [35] J. Appleton, *Estruturas de Betão - Volume 2*, 1ª Edição. Edições Orion, 2013.
- [36] NP EN 1997-1, “Parte 1: Regras gerais,” in *Eurocódigo 7: Projecto geotécnico*, Lisboa:

Instituto Português da Qualidade, 2010.

- [37] J. S. Viseu, *Folhas da Unidade Curricular Projecto de Estruturas*. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2014.
- [38] Autodesk Inc, “Autodesk Robot Structural Analysis Professional.” 2019.
- [39] Autodesk Inc, “Autodesk AutoCAD 2017.” EUA, 2017.
- [40] L. Sabatka and J. Sabatka, “IDEA StatiCa.” IDEA Statica, Czech Republic, 2019.
- [41] A. Monteiro, M. Morais, and P. Cachim, “XD-CoSec.” Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.
- [42] J. Ferreira, P. Cachim, and M. Morais, “XD-ConServ.” Universidade de Aveiro, Aveiro.
- [43] L. F. Martha, “Ftool.” Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- [44] MathWorks, “MATLAB.” Massachusetts, EUA, 2015.
- [45] J. S. Brazão Farinha and A. Correia dos Reis, *Tabelas Técnicas*. Setubal, 1993.
- [46] P. Mendes, *Folhas da Unidade Curricular de Dinâmica de Estruturas*. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012.



# **ANEXOS**

## ÍNDICE DOS ANEXOS

<b>Nº ANEXO</b>	<b>TÍTULO</b>	<b>PÁGINAS</b>
ANEXO I	QUADROS DAS COMBINAÇÕES DE AÇÕES	I-1 a I-16
ANEXO II	IMPERFEIÇÕES GEOMETRICAS	II-1 a II-6
ANEXO III	FOLHA DE CÁLCULO DO ESTUDO DA AÇÃO DO VENTO	III-1 a III-4
ANEXO IV	VALIDAÇÃO DA FUNÇÃO “TIME HISTORY”	IV-1 a IV-4
ANEXO V	RELATÓRIOS DO “ROBOT” E DAS FOLHAS DE CÁLCULO EM “EXCEL” UTILIZADAS NO DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS METÁLICOS	V-1 a V-35
ANEXO VI	DEFORMADAS DOS MODOS DE VIBRAÇÃO	VI-1 a VI-13
ANEXO VII	VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”	VII-1 a VII-85
ANEXO VIII	VERIFICAÇÃO DAS FUNDAÇÕES	VIII-1 a VIII-4
ANEXO IX	QUADROS, TABELAS E CATALOGOS	IX-1 a IX-7
ANEXO X	RELATÓRIO GEOTÉCNIO	X-1 a X-16
ANEXO XI	PEÇAS DESENHADAS	XI-1 a XI-3
		01.EM a 07.EM

ANEXO I

QUADROS DAS COMBINAÇÕES DE AÇÕES



Quadro A.1 – Combinações para o E.L.U. – Situação de Projeto Sísmico.

Combinação		Var. Base	PP	RCP	SC				W				ΔT				Sismo						
					X+		X-		X+		X-		Y+		Y-		Verão		Inverno		Tipo 1	Tipo 2	
					γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	
E.L.Ultimos	Sísmica	Tipo 1	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,5	---	---	1	---	
			1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,5	1	---
			1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,5	---	---	-1	---
			1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,5	-1	---
		Tipo 2	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,5	---	---	---	1
			1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,5	---	1
			1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,5	---	---	---	-1
			1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,5	---	-1

Quadro A.2 – Combinações para o E.L.U. – Situação de Projeto Persistente ou Transitória.

Combinação		Var. Base	PP	RCP	SC				W				ΔT								
					X+		X-		X+		X-		Y+		Y-		Verão		Inverno		
					γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	
E.L.Ultimos	Fundamental	SC - X+	1,35	1,35	1,35	---	---	---	1,5	0,3	---	---	---	---	---	---	1,5	0,6	---	---	
			1,35	1,35	1,35	---	---	---	1,5	0,3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1,5	0,6
			1,35	1,35	1,35	---	---	---	---	---	---	---	1,5	0,3	---	---	---	1,5	0,6	---	---
			1,35	1,35	1,35	---	---	---	---	---	---	---	1,5	0,3	---	---	---	---	---	1,5	0,6
		SC - X-	1,35	1,35	---	---	1,35	---	---	---	1,5	0,3	---	---	---	---	---	1,5	0,6	---	---
			1,35	1,35	---	---	1,35	---	---	---	1,5	0,3	---	---	---	---	---	---	---	1,5	0,6
			1,35	1,35	---	---	1,35	---	---	---	---	---	---	---	1,5	0,3	1,5	0,6	---	---	
			1,35	1,35	---	---	1,35	---	---	---	---	---	---	---	1,5	0,3	---	---	---	1,5	0,6
E.L.Ultimos	Fundamental	W (x+)	1,35	1,35	1,35	0,4	---	---	1,5	---	---	---	---	---	---	---	1,5	0,6	---	---	
			1,35	1,35	1,35	0,4	---	---	1,5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1,5	0,6
		W (x-)	1,35	1,35	---	---	1,35	0,4	---	---	1,5	---	---	---	---	---	---	1,5	0,6	---	---
			1,35	1,35	---	---	1,35	0,4	---	---	1,5	---	---	---	---	---	---	---	---	1,5	0,6
		W (y+)	1,35	1,35	1,35	0,4	---	---	---	---	---	---	1,5	---	---	---	---	1,5	0,6	---	---
			1,35	1,35	1,35	0,4	---	---	---	---	---	---	1,5	---	---	---	---	---	---	1,5	0,6
		W (y-)	1,35	1,35	---	---	1,35	0,4	---	---	---	---	---	---	---	1,5	---	1,5	0,6	---	---
			1,35	1,35	---	---	1,35	0,4	---	---	---	---	---	---	---	1,5	---	---	---	1,5	0,6
E.L.Ultimos	Fundamental	Verão	1,35	1,35	1,35	0,4	---	---	1,5	0,3	---	---	---	---	---	---	1,5	---	---	---	
			1,35	1,35	1,35	0,4	---	---	---	---	---	---	1,5	0,3	---	---	---	1,5	---	---	
			1,35	1,35	---	---	1,35	0,4	---	---	1,5	0,3	---	---	---	---	---	1,5	---	---	
			1,35	1,35	---	---	1,35	0,4	---	---	---	---	---	---	1,5	0,3	1,5	---	---	---	
		Inverno	1,35	1,35	1,35	0,4	---	---	1,5	0,3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1,5	---
			1,35	1,35	1,35	0,4	---	---	---	---	---	---	1,5	0,3	---	---	---	---	---	1,5	---
			1,35	1,35	---	---	1,35	0,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1,5	---
			1,35	1,35	---	---	1,35	0,4	---	---	---	---	---	---	---	1,5	0,3	---	---	1,5	---

Quadro A.3 – Combinações para o E.L.Ut. – Combinação Característica.

Combinação		Var. Base	PP	RCP	SC				W				ΔT								
					X+		X-		X+		X-		Y+		Y-		Verão		Inverno		
					Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	
E.L.Utilização	Característica	SC - X+	1	1	1	---	---	---	1	0,3	---	---	---	---	---	---	1	0,6	---	---	
			1	1	1	---	---	---	1	0,3	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,6	
			1	1	1	---	---	---	---	---	---	---	1	0,3	---	---	---	---	---	1	0,6
			1	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,6
		SC - X-	1	1	---	---	1	---	---	---	---	1	0,3	---	---	---	---	---	---	1	0,6
			1	1	---	---	1	---	---	---	---	1	0,3	---	---	---	---	---	---	1	0,6
E.L.Utilização	Característica	W (x+)	1	1	1	0,4	---	---	1	---	---	---	---	---	---	---	1	0,6	---	---	
			1	1	1	0,4	---	---	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,6
		W (x-)	1	1	---	---	1	0,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,6
			1	1	---	---	1	0,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,6
		W (y+)	1	1	1	0,4	---	---	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---	---	1	0,6
			1	1	1	0,4	---	---	---	---	---	---	---	1	---	---	---	---	---	1	0,6
		W (y-)	1	1	---	---	1	0,4	---	---	---	---	---	---	---	1	---	---	---	1	0,6
			1	1	---	---	1	0,4	---	---	---	---	---	---	---	1	---	---	---	1	0,6
E.L.Utilização	Característica	Verão	1	1	1	0,4	---	---	1	0,3	---	---	---	---	---	---	1	---	---	---	
			1	1	1	0,4	---	---	---	---	---	---	1	0,3	---	---	---	---	---	---	
			1	1	---	---	1	0,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
			1	1	---	---	1	0,4	---	---	---	---	---	---	---	1	0,3	---	---	---	
		Inverno	1	1	1	0,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	---
			1	1	1	0,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	---
			1	1	---	---	1	0,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	---
			1	1	---	---	1	0,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	---

Quadro A.4 – Combinações para o E.L.Ut. – Combinação Frequente.

Combinação		Var. Base	PP	RCP	SC				W				ΔT								
					X+		X-		X+		X-		Y+		Y-		Verão		Inverno		
					Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	
E.L.Utilização	Frequente	SC - X+	1	1	1	0,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,5	---	---	
			1	1	1	0,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,5
		SC - X-	1	1	---	---	1	0,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
			1	1	---	---	1	0,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
E.L.Utilização	Frequente	W (x+)	1	1	---	---	---	---	1	0,2	---	---	---	---	---	---	1	0,5	---	---	
			1	1	---	---	---	---	1	0,2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,5
		W (x-)	1	1	---	---	---	---	---	---	1	0,2	---	---	---	---	---	---	---	1	0,5
			1	1	---	---	---	---	---	---	1	0,2	---	---	---	---	---	---	---	1	0,5
		W (y+)	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,2	---	---	---	---	---	---
			1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,2	---	---	---	---	---	---
W (y-)	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,2	1	0,5	---	---		
	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,2	---	---	---	---		
E.L.Utilização	Frequente	Verão	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
		Inverno	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1	0,6

Quadro A.5 – Combinações para o E.L.Ut. – Combinação Quase-permanente.

Combinação		Var. Base	PP	RCP	SC				W				ΔT							
					X+		X-		X+		X-		Y+		Y-		Verão		Inverno	
					Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ	Υ	Ψ
E.L.Utilização	Q. Permanente	Verão	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		Inverno	1	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1

ANEXO II

IMPERFEIÇÕES GEOMETRICAS



Nas páginas seguintes apresentam-se os quadros de cálculo realizados numa folha de cálculo em “Excel”, que serviram para a determinação das forças laterais equivalente.

Portico XZ (Y=0.00 m; Z=2.29 m)

Case	h	m	$\Phi_0$	$\alpha_h$	$\alpha_m$	$\Phi$
1	9,54	4	0,005	0,667	0,791	0,003
2	9,54	4	0,005	0,667	0,791	0,003
5	9,54	3	0,005	0,667	0,816	0,003
6	9,54	3	0,005	0,667	0,816	0,003






nº Barra	L	Case	$N_{Ed}$ (kN)	Força (kN)	Nó de aplicação	$N_{Ed,médio}^{Coluna}$ (kN)
5	2,29	1	43,85	0,116	53	10,6675
		2	60,61	0,160		14,1460
		5	91,60	0,249		19,3444
		6	160,39	0,437		36,3526

nº Barra	L	Case	$N_{Ed}$ (kN)	Força (kN)	Nó de aplicação	$N_{Ed,médio}^{Coluna}$ (kN)
331	2,29	1	53,74	0,142	97	24,8944
		2	76,27	0,201		36,5484
		5	183,06	0,498		83,0350
		6	142,49	0,388		72,9065

nº Barra	L	Case	$N_{Ed}$ (kN)	Força (kN)	Nó de aplicação	$N_{Ed,médio}^{Coluna}$ (kN)
345	2,42	1	49,01	0,129	95	25,8303
		2	71,54	0,189		39,4831
		5	111,50	0,303		76,7000
		6	177,74	0,484		89,7898

nº Barra	L	Case	$N_{Ed}$ (kN)	Força (kN)	Nó de aplicação	$N_{Ed,médio}^{Coluna}$ (kN)
352	2,42	1	6,49	0,017	51	0,9306
		2	5,86	0,015		-0,0388
		5	19,61	0,053		0,0504
		6	-36,54	0,000		-13,8566

Legenda:

	Torre 2 (4 colunas)
	Torre 1 (6 colunas)
	Valor maior que "0" e maior que 50% do $N_{Ed,médio}^{Coluna}$
	Valor maior que 50% do $N_{Ed,médio}^{Coluna}$
	Valor maior que "0"

## ANEXO II – IMPERFEIÇÕES GEOMETRICAS

Portico XZ (Y=0.00 m; Z=4.59 m)

Case	h	m	$\Phi_0$	$\alpha_h$	$\alpha_m$	$\Phi$
1	9,54	2	0,005	0,667	0,866	0,003
2	9,54	2	0,005	0,667	0,866	0,003
5	9,54	2	0,005	0,667	0,866	0,003
6	9,54	2	0,005	0,667	0,866	0,003

nº Barra	L	Case	N <sub>Ed</sub> (kN)	Força (kN)	Nó de aplicação	N <sub>Ed,médio</sub> <sup>Coluna</sup> (kN)
11	4,59	1	-15,45	0,00	25	1,4715
		2	-30,02	0,00		-0,4328
		5	-79,44	0,00		-10,1875
		6	-63,15	0,00		2,3899

nº Barra	L	Case	N <sub>Ed</sub> (kN)	Força (kN)	Nó de aplicação	N <sub>Ed,médio</sub> <sup>Coluna</sup> (kN)
332	2,30	1	50,02	0,144	52	37,1244
		2	72,27	0,209		55,8882
		5	182,57	0,527		125,6935
		6	130,66	0,377		115,9154

nº Barra	L	Case	N <sub>Ed</sub> (kN)	Força (kN)	Nó de aplicação	N <sub>Ed,médio</sub> <sup>Coluna</sup> (kN)
346	2,43	1	61,55	0,18	50	36,5152
		2	94,82	0,27		56,2141
		5	171,50	0,50		112,3608
		6	225,96	0,65		126,9629

nº Barra	L	Case	N <sub>Ed</sub> (kN)	Força (kN)	Nó de aplicação	N <sub>Ed,médio</sub> <sup>Coluna</sup> (kN)
379	4,85	1	-44,90	0,00	29	-10,7608
		2	-70,44	0,00		-17,6304
		5	-166,81	0,00		-41,6780
		6	-181,35	0,00		-52,2650

Legenda:



Torre 2 (4 colunas)



Torre 1 (6 colunas)



Valor maior que "0" e maior que 50% do N<sub>Ed,médio</sub><sup>Coluna</sup>



Valor maior que 50% do N<sub>Ed,médio</sub><sup>Coluna</sup>

x.xx

Valor maior que "0"

Portico XZ (Y=0.00 m; Z=6.88 m)

Case	h	m	$\Phi_0$	$\alpha_h$	$\alpha_m$	$\Phi$
1	9,54	2	0,005	0,667	0,866	0,003
2	9,54	2	0,005	0,667	0,866	0,003
5	9,54	2	0,005	0,667	0,866	0,003
6	9,54	2	0,005	0,667	0,866	0,003






nº Barra	L	Case	$N_{Ed}$ (kN)	Força (kN)	Nó de aplicação	$N_{Ed,médio}^{Coluna}$ (kN)
11	4,59	1	-15,45	0,000	25	1,4715
		2	-30,02	0,000		-0,4328
		5	-79,44	0,000		-10,1875
		6	-63,15	0,000		2,3899

nº Barra	L	Case	$N_{Ed}$ (kN)	Força (kN)	Nó de aplicação	$N_{Ed,médio}^{Coluna}$ (kN)
58	2,29	1	100,32	0,290	21	37,1244
		2	154,23	0,445		55,8882
		5	330,39	0,954		125,6935
		6	341,30	0,985		115,9154

nº Barra	L	Case	$N_{Ed}$ (kN)	Força (kN)	Nó de aplicação	$N_{Ed,médio}^{Coluna}$ (kN)
375	2,42	1	91,20	0,263	22	36,5152
		2	141,91	0,410		56,2141
		5	306,75	0,886		112,3608
		6	307,58	0,888		126,9629

nº Barra	L	Case	$N_{Ed}$ (kN)	Força (kN)	Nó de aplicação	$N_{Ed,médio}^{Coluna}$ (kN)
379	4,85	1	-44,90	0,000	29	-10,7608
		2	-70,44	0,000		-17,6304
		5	-166,81	0,000		-41,6780
		6	-181,35	0,000		-52,2650

Legenda:

	Torre 2 (4 colunas)
	Torre 1 (6 colunas)
	Valor maior que "0" e maior que 50% do $N_{Ed,médio}^{Coluna}$
	Valor maior que 50% do $N_{Ed,médio}^{Coluna}$
	Valor maior que "0"

ANEXO II – IMPERFEIÇÕES GEOMETRICAS

Portico XZ (Y=0.00 m; Z=9.54 m)

Case	h	m	$\Phi_0$	$\alpha_h$	$\alpha_m$	$\Phi$
1	9,54	2	0,005	0,667	0,866	0,003
2	9,54	2	0,005	0,667	0,866	0,003
5	9,54	2	0,005	0,667	0,866	0,003
6	9,54	2	0,005	0,667	0,866	0,003




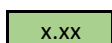

nº Barra	L	Case	$N_{Ed}$ (kN)	Força (kN)		Nó de aplicação	$N_{Ed,médio}^{Coluna}$ (kN)
183	2,66	1	-1,18	0,000	0,000	2	1,4715
		2	-4,03	0,000			-0,4328
		5	-14,23	0,000			-10,1875
		6	-14,98	0,000			2,3899

nº Barra	L	Case	$N_{Ed}$ (kN)	Força (kN)		Nó de aplicação	$N_{Ed,médio}^{Coluna}$ (kN)
195	2,66	1	92,92	0,268	0,685	8	37,1244
		2	144,33	0,417			55,8882
		5	309,53	0,894			125,6935
		6	312,87	0,903			115,9154

nº Barra	L	Case	$N_{Ed}$ (kN)	Força (kN)		Nó de aplicação	$N_{Ed,médio}^{Coluna}$ (kN)
216	2,66	1	90,36	0,261	0,669	14	36,5152
		2	141,44	0,408			56,2141
		5	309,13	0,892			112,3608
		6	304,42	0,879			126,9629

nº Barra	L	Case	$N_{Ed}$ (kN)	Força (kN)		Nó de aplicação	$N_{Ed,médio}^{Coluna}$ (kN)
241	2,66	1	-2,77	0,000	0,000	18	-10,7608
		2	-6,02	0,000			-17,6304
		5	-19,41	0,000			-41,6780
		6	-18,88	0,000			-52,2650

Legenda:

	Torre 2 (4 colunas)
	Torre 1 (6 colunas)
	Valor maior que "0" e maior que 50% do $N_{Ed,médio}^{Coluna}$
	Valor maior que 50% do $N_{Ed,médio}^{Coluna}$
	Valor maior que "0"

ANEXO III

FOLHA DE CÁLCULO DO ESTUDO DA AÇÃO DO  
VENTO



Nos quadros seguintes referem-se aos estudos realizados para a ação do vento.

Nota: Os resultados a “amarelo” indicam as cargas pontuais do vento transmitidas pelos painéis de vidro à ponte pedonal.

**Quadro A.6 – Ação do Vento no tabuleiro.**

Tabuleiro																					
Zona de aplicação	Dados			Valor de Referência da Velocidade do Vento				Vento médio							Turbulência do vento			Pressão dinâmica de pico			
	Zona	Cat. Terreno	z	V <sub>b,0</sub>	C <sub>dir</sub>	C <sub>season</sub>	V <sub>b</sub>	z <sub>0</sub>	z <sub>0,II</sub>	z <sub>min</sub>	z <sub>max</sub>	k <sub>r</sub>	c <sub>r</sub> (z)	c <sub>0</sub> (z)	v <sub>m</sub> (z)	k <sub>1</sub>	σ <sub>v</sub>	I <sub>v</sub> (z)	q <sub>b</sub>	C <sub>e</sub> (z)	q <sub>p</sub> (z)
			m	m/s			m/s	m	m	m	m								m/s		kN/m <sup>2</sup>
Tabuleiro (z=20m)	A	II	20	27	1	1	27	0,05	0,05	3	200	0,2	1,14	1	30,74	1	5,13	0,17	0,46	2,81	1,28

**Quadro A.7 – Ação do Vento no tabuleiro (continuação)**

Tabuleiro																			
Dimensões necessárias do tabuleiro			Força perpendicular ao passadiço ('X')							Força paralela ao passadiço ('Y')						Força vertical no passadiço ('Z')			
h <sub>secção tabuleiro</sub>	b <sub>secção tabuleiro</sub>	b <sub>vidro,tabuleiro</sub>	C <sub>f,x</sub>	C	q <sub>w,x</sub>	q <sub>w,x, centro tabuleiro</sub>	q <sub>w,x, cordas</sub>	F <sub>w,x, cada nó no vidro</sub>	% dir. 'X'	nº de cordas	q <sub>w,y</sub>	q <sub>w,y, centro tabuleiro</sub>	q <sub>w,y, cordas</sub>	F <sub>w,y, cada nó no vidro</sub>	C <sub>f,z</sub>	C	q <sub>w,z</sub>	q <sub>w,z, centro tabuleiro</sub>	q <sub>w,z, cordas</sub>
m	m	m			kN/m <sup>2</sup>	kN/m	kN/m	kN	%		kN/m <sup>2</sup>	kN/m	kN/m	kN			kN/m <sup>2</sup>	kN/m	kN
3.26	3.16	1.42	2.20	6.18	2.82	9.18	4.59	6.52	25%	4	0.70	2.30	0.57	0.81	0.90	2.53	1.15	3.64	1.82

Quadro A.8 – Ação do Vento nas torres 1 e 2.

TORRES																						
Zona de aplicação	Dimensões Da Torre/Pilar			Dados			Valor de Referência da Velocidade do Vento				Vento médio							Turbulência do vento				
	b	d	h	Zona	Cat. Terreno	z	V <sub>b,0</sub>	C <sub>dir</sub>	C <sub>season</sub>	V <sub>b</sub>	z <sub>0</sub>	z <sub>0,l</sub>	z <sub>min</sub>	z <sub>max</sub>	k <sub>r</sub>	c <sub>r</sub> (z)	c <sub>0</sub> (z)	v <sub>m</sub> (z)	k <sub>t</sub>	σ <sub>v</sub>	I <sub>v</sub> (z)	
	m	m	m			m	m/s			m/s	m	m	m	m				m/s				
Torre 1 (Y)	3	5,8	7,14	A	II	3	27	1	1	27	0,05	0,1	3	200	0,19	0,78	1	21,00	1	5,13	0,24	
Torre 1 (Y)	3	5,8	7,14	A	II	3	27	1	1	27	0,05	0,1	3	200	0,19	0,78	1	21,00	1	5,13	0,24	
Torre 1 (Y)	3	5,8	7,14	A	II	4,38	27	1	1	27	0,05	0,1	3	200	0,19	0,85	1	22,95	1	5,13	0,22	
Torre 1 (Y)	3	5,8	7,14	A	II	7,14	27	1	1	27	0,05	0,1	3	200	0,19	0,94	1	25,45	1	5,13	0,20	
Torre 1 (X)	5,8	3	7,14	A	II	5,8	27	1	1	27	0,05	0,1	3	200	0,19	0,90	1	24,39	1	5,13	0,21	
Torre 1 (X)	5,8	3	7,14	A	II	5,8	27	1	1	27	0,05	0,1	3	200	0,19	0,90	1	24,39	1	5,13	0,21	
Torre 1 (X)	5,8	3	7,14	A	II	7,14	27	1	1	27	0,05	0,1	3	200	0,19	0,94	1	25,45	1	5,13	0,20	
Torre 2 (X e Y)	3	3	7,14	A	II	3	27	1	1	27	0,05	0,1	3	200	0,19	0,78	1	21,00	1	5,13	0,24	
Torre 2 (X e Y)	3	3	7,14	A	II	4,38	27	1	1	27	0,05	0,1	3	200	0,19	0,85	1	22,95	1	5,13	0,22	
Torre 2 (X e Y)	3	3	7,14	A	II	7,14	27	1	1	27	0,05	0,1	3	200	0,19	0,94	1	25,45	1	5,13	0,20	

Quadro A.9 - Ação do Vento nas torres 1 e 2 (continuação).

TORRES													
Zona de aplicação	Pressão dinâmica de pico			Força Resultante									
	q <sub>b</sub>	C <sub>e</sub> (z)	q <sub>p</sub> (z)	C <sub>f,0</sub>	ψ <sub>r</sub>	ψ <sub>r</sub>	C	C <sub>s</sub> C <sub>d</sub>	Dimensões		A <sub>ref</sub>	F <sub>w</sub>	F <sub>w,por</sub> nó em cada vidro
									b (m)	h (m)			
Torre 1 (Y)	0,46	1,64	0,75	2,2	1	1	2,20	1	3	0,91	2,73	4,49	1,12
Torre 1 (Y)	0,46	1,64	0,75	2,2	1	1	2,20	1	3	1,46	4,38	7,20	1,80
Torre 1 (Y)	0,46	1,85	0,84	2,2	1	1	2,20	1	3	1,46	4,38	8,13	2,03
Torre 1 (Y)	0,46	2,14	0,98	2,2	1	1	2,20	1	3	1,46	4,38	9,41	2,35
Torre 1 (X)	0,46	2,02	0,92	1,7	1	1	1,70	1	2,9	0,91	2,64	4,12	1,03
Torre 1 (X)	0,46	2,02	0,92	1,7	1	1	1,70	1	2,9	1,46	4,23	6,61	1,65
Torre 1 (X)	0,46	2,14	0,98	1,7	1	1	1,70	1	2,9	1,46	4,23	7,03	1,76
Torre 2 (X e Y)	0,46	1,64	0,75	2,1	1	1	2,10	1	3	1,46	4,38	6,87	1,72
Torre 2 (X e Y)	0,46	1,85	0,84	2,1	1	1	2,10	1	3	1,46	4,38	7,76	1,94
Torre 2 (X e Y)	0,46	2,14	0,98	2,1	1	1	2,10	1	3	1,46	4,38	8,98	2,24

## ANEXO IV

# VALIDAÇÃO DA FUNÇÃO “TIME HISTORY”



Na realização deste estudo foi criado um modelo simples de uma viga bi-encastada com 5 metros de vão submetida simultaneamente a dois carregamentos aplicados a meio vão:

- Uma massa de 1 tonelada;
- Uma força pontual a oscilar ao longo do tempo.

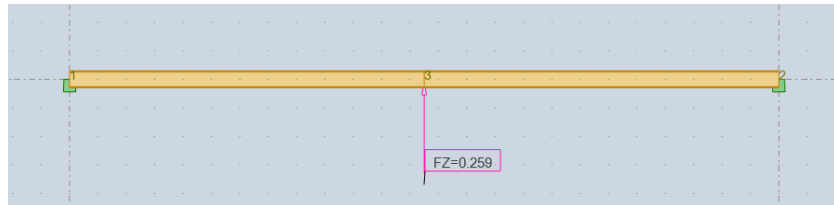


Figura A.1 – Modelo da viga com a carga dinâmica.

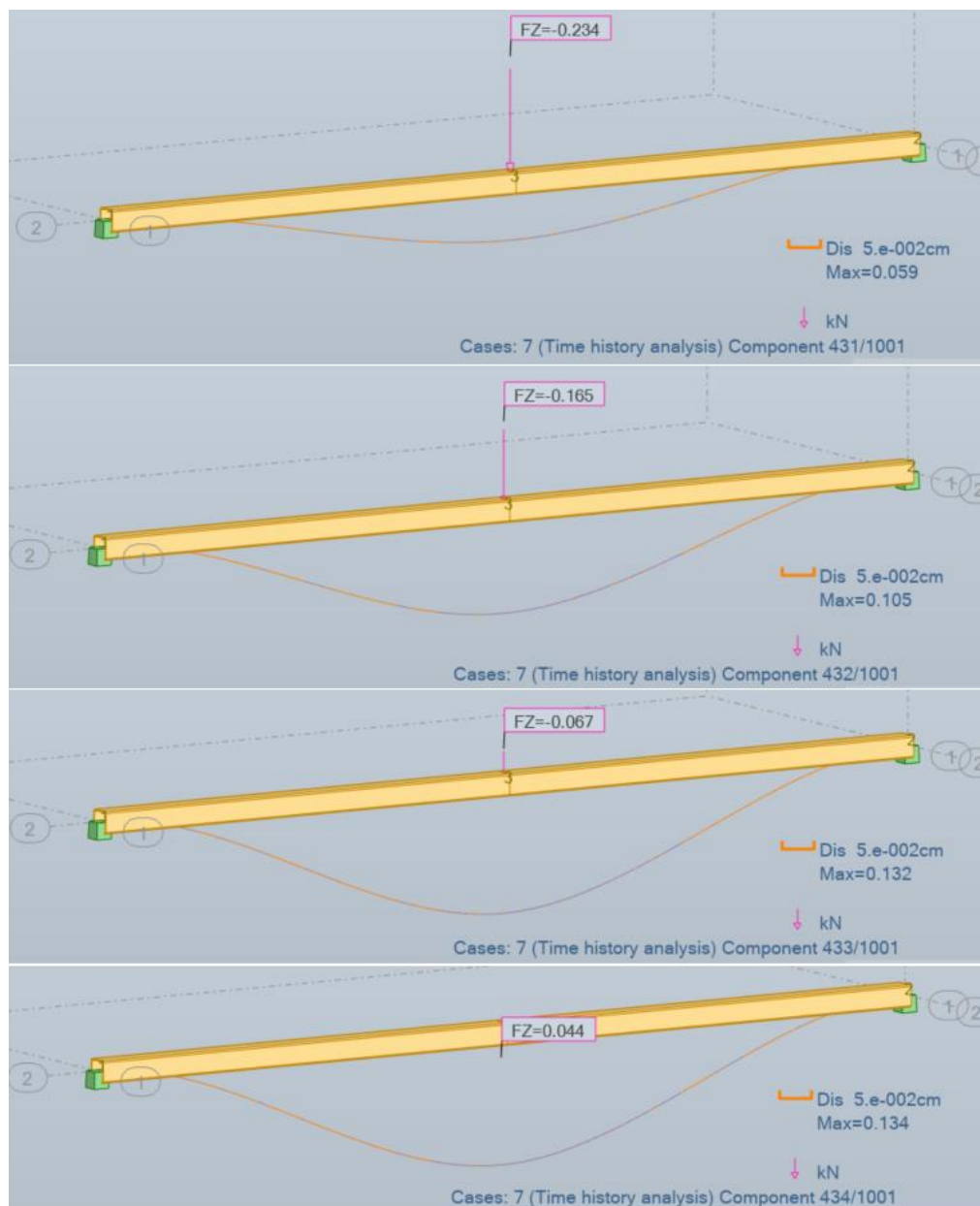


Figura A.2 – Sequencias das deformações do modelo determinadas a partir de uma análise “Time History” (0.04 segundos).

De modo a validar os resultados no software Robot utilizou-se uma rotina a partir do software “MatLAB” [44] com as expressões da dinâmica de estruturas [18] tendo-se obtido resultados análogos.

A rigidez foi obtida de acordo com as Tabelas Técnicas [45]:

$$K = \frac{12 \times E \times I}{L^3} \quad (V.1)$$

*Em que:*

*K* – rigidez (kN/m);

*E* – modulo de elasticidade (kPa – kN/m<sup>2</sup>);

*I* – inercia (m<sup>4</sup>);

*L* – altura do pilar (m).

Foram usadas as seguintes formulas para obter as características dinâmicas [46]:

$$\omega_N = \sqrt{\frac{k}{M}} \quad (V.2)$$

$$\omega_A = \omega_N \times \sqrt{1 - \xi^2} \quad (V.3)$$

$$f_{A\text{"ou"}n} = \frac{\omega_{A\text{"ou"}n}}{2\pi} \quad (V.4)$$

$$T_{A\text{"ou"}n} = \frac{1}{f_{A\text{"ou"}n}} \quad (V.5)$$

*Em que:*

$\omega_n$  e  $\omega_a$  – frequência angular natural e amortecida, respetivamente (rad/s);

$f_n$  e  $f_a$  – frequência natural e frequência amortecida (Hz);

$T_n$  e  $T_a$  – período natural e período amortecido (s);

$\xi$  – coeficiente de amortecimento relativo (%);

*M* – massa (ton).

Empregou-se a seguinte expressão para simular os “passos pedonais” [32]:

$$F(t) = F_0 \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t) \quad (V.6)$$

*Em que:*

$F(t)$  – história da força em função do tempo (kN);

$F_0$  – amplitude da força (kN);

$f$  – frequência natural (Hz).

Foram usadas as formulas recursivas para obter os deslocamentos, velocidades e acelerações [18]:

$$u_{i+1} = A(\Delta t) \cdot u_i + B(\Delta t) \cdot \dot{u}_i + C(\Delta t) \cdot f_i + D(\Delta t) \cdot f_{i+1} \quad (V.7)$$

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{A}(\Delta t) \cdot u_i + \dot{B}(\Delta t) \cdot \dot{u}_i + \dot{C}(\Delta t) \cdot f_i + \dot{D}(\Delta t) \cdot f_{i+1} \quad (V.8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A(\Delta t) = e^{-\xi \cdot \omega_n \cdot \Delta t} \cdot \left[ \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \sin(\omega_a \cdot \Delta t) \right] \\ B(\Delta t) = e^{-\xi \cdot \omega_n \cdot \Delta t} \cdot \left[ \frac{1}{\omega_a} \cdot \sin(\omega_a \cdot \Delta t) \right] \\ C(\Delta t) = \frac{1}{K} \left\{ \frac{2 \cdot \xi}{\omega_n \cdot \Delta t} + e^{-\xi \cdot \omega_n \cdot \Delta t} \cdot \left[ \left( \frac{1-2 \cdot \xi^2}{\omega_a \cdot \Delta t} - \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \right) \cdot \sin(\omega_a \cdot \Delta t) - \left( 1 + \frac{2 \cdot \xi}{\omega_n \cdot \Delta t} \right) \cdot \cos(\omega_a \cdot \Delta t) \right] \right\} \\ D(\Delta t) = \frac{1}{K} \cdot \left\{ 1 - \frac{2 \cdot \xi}{\omega_n \cdot \Delta t} + e^{-\xi \cdot \omega_n \cdot \Delta t} \cdot \left[ \frac{2 \cdot \xi^2 - 1}{\omega_a \cdot \Delta t} \cdot \sin(\omega_a \cdot \Delta t) + \frac{2 \cdot \xi}{\omega_n \cdot \Delta t} \cdot \cos(\omega_a \cdot \Delta t) \right] \right\} \end{array} \right. \quad (V.9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{A}(\Delta t) = -e^{-\xi \cdot \omega_n \cdot \Delta t} \cdot \left[ \frac{\omega_n}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \sin(\omega_a \cdot \Delta t) \right] \\ \dot{B}(\Delta t) = e^{-\xi \cdot \omega_n \cdot \Delta t} \cdot \left[ \cos(\omega_a \cdot \Delta t) - \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \sin(\omega_a \cdot \Delta t) \right] \\ \dot{C}(\Delta t) = \frac{1}{K} \cdot \left\{ -\frac{1}{\Delta t} + e^{-\xi \cdot \omega_n \cdot \Delta t} \cdot \left[ \left( \frac{\omega_n}{\sqrt{1-\xi^2}} + \frac{\xi}{\Delta t \cdot \sqrt{1-\xi^2}} \right) \cdot \sin(\omega_a \cdot \Delta t) + \frac{1}{\Delta t} \cdot \cos(\omega_a \cdot \Delta t) \right] \right\} \\ \dot{D}(\Delta t) = \frac{1}{K \cdot \Delta t} \cdot \left\{ 1 - e^{-\xi \cdot \omega_n \cdot \Delta t} \cdot \left[ \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \sin(\omega_a \cdot \Delta t) + \cos(\omega_a \cdot \Delta t) \right] \right\} \end{array} \right. \quad (V.10)$$

E obtiveram-se resultados semelhantes.

Notas:

- 1- Na validação da função “Time History” foi utilizado um coeficiente de amortecimento de 5%, uma força pontual de 0.259 kN a meio vão e uma inercia para a viga encastrada de  $5.79 \times 10^{-6} m^4$ .
- 2- A rotina usada no “MatLAB” foi a seguinte:

```
close all; clear; clc
g=9.80665;
```

```

m=1; %em toneladas
E=210*10^6; %kN/m2
I=5.79*10^-6; %m4 - inercia do perfil usado na viga.
L=2.5; %metro - metade da viga porque é 2 vezes a rigidez
considerando o deslocamento a meio vão
k=2*(12*E*I/L^3); %rigidez da viga encastrada-encastrada (kN/m)
Wn=sqrt(k/m); %frequencia angular
q=0.05; %coeficiente de amortecimento
Wa=Wn*sqrt(1-q^2);
fn=Wn/(2*pi);

dt=0.01;
t=0:dt:10;t=t';
NP=length(t);

f0=0.259; %kN

f(1:NP,1)=0;
for i=1:NP
    f(i,1)=f0*cos(2*pi()*fn*t(i));
end

figure(1)
plot(t,f);xlabel('t (s)');ylabel('F (kN)');
title('História da força a simular a ação pedonal');

u(1:NP,1)=0;v(1:NP,1)=0;a(1:NP,1)=0;
for i=1:NP-1
    EXP=exp(-q*Wn*dt);
    COS=cos(Wa*dt);
    SIN=sin(Wa*dt);
    AUX1=q/sqrt(1-q^2);
    AUX2=(1-2*q^2)/(Wa*dt);
    AUX3=2*q/(Wn*dt);
    AUX4=(2*q^2-1)/(Wa*dt);
    AUX5=Wn/sqrt(1-q^2);
    AUX6=q/(dt*sqrt(1-q^2));

    A=EXP*(AUX1*SIN+COS);
    B=EXP*SIN/Wa;
    C=1/k*(AUX3+EXP*((AUX2-AUX1)*SIN-(1+AUX3)*COS));
    D=1/k*(1-AUX3+EXP*(AUX4*SIN+AUX3*COS));

    AP=-EXP*AUX5*SIN;
    BP=EXP*(COS-AUX1*SIN);
    CP=1/k*(-1/dt+EXP*((AUX5+AUX6)*SIN+COS/dt));
    DP=1/(k*dt)*(1-EXP*(AUX1*SIN+COS));

    u(i+1,1)=A*u(i,1)+B*v(i,1)+C*f(i,1)+D*f(i+1,1);
    v(i+1,1)=AP*u(i,1)+BP*v(i,1)+CP*f(i,1)+DP*f(i+1,1);
    a(i+1,1)=-Wn^2*u(i+1,1)-2*q*Wn*v(i+1,1)+f(i+1)/m;
end

Umax=max(abs(u))*100; %multiplicar por 100 para o deslocamento
sair em cm
Vmax=max(abs(v))*100; %multiplicar por 100 para a velocidade sair
em cm/s
Amax=max(abs(a))*100; %multiplicar por 100 para a velocidade sair
em cm/s2

figure(2)
plot(t,a*100);xlabel('t (s)');ylabel('a (cm/s2)');
title('História das acelerações após o inicio da carga dinâmica')

figure(3)
plot(t,v*100);xlabel('t (s)');ylabel('v (cm/s)');

```

```

title('História das velocidades após o início da carga dinâmica')

figure(4)
plot(t,u*100);xlabel('t (s)');ylabel('d (cm)');
title('História dos deslocamentos após o início da carga
dinâmica')
    
```

Nos itens seguintes indicam-se os resultados no “Robot” e no “MatLAB” dos diferentes parâmetros necessários à validação da função “Time History”.

- **Frequências:**

**Quadro A.10 – Frequência natural - MatLAB.**

fn =
6.8780

**Quadro A.11 – Frequência natural - Robot Structural.**

Case	Frequency (Hz)
6	6.878

- **Acelerações, velocidades e deslocamentos:**

**Quadro A.12 – Aceleração máxima, Velocidade máxima e Deslocamento máximo - MatLAB.**

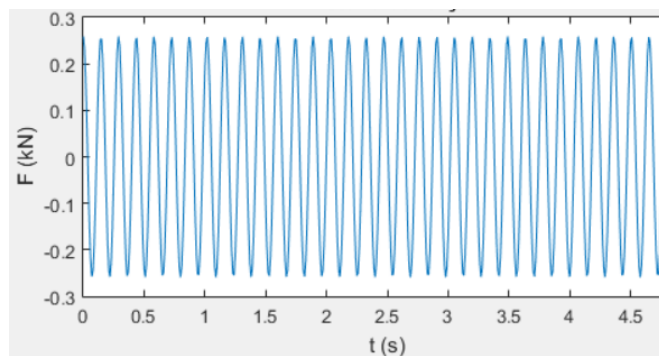
Aceleração Máxima	Velocidade Máxima	Deslocamento Máximo
Amax = 254.9920	Vmax = 5.9004	Umax = 0.1365

**Quadro A.13 – Aceleração (AZ), Velocidade (VZ) e Deslocamento (UZ) – “Robot”.**

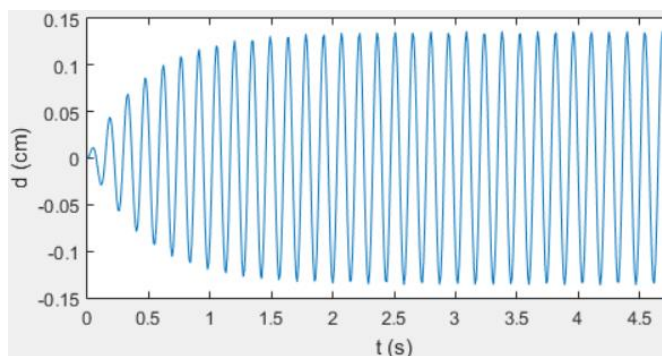
Node/Case	AZ (cm/sec2)	UZ (cm)	VZ (cm/sec)
1/ Time history analysis/1	0.0>>	0.0	0.0
1/ Time history analysis/1	0.0<<	0.0	0.0
1/ Time history analysis/1	0.0	0.0>>	0.0
1/ Time history analysis/1	0.0	0.0<<	0.0
1/ Time history analysis/1	0.0	0.0	0.0>>
1/ Time history analysis/1	0.0	0.0	0.0<<
2/ Time history analysis/1	0.0>>	0.0	0.0
2/ Time history analysis/1	0.0<<	0.0	0.0
2/ Time history analysis/1	0.0	0.0>>	0.0
2/ Time history analysis/1	0.0	0.0<<	0.0
2/ Time history analysis/1	0.0	0.0	0.0>>
2/ Time history analysis/1	0.0	0.0	0.0<<
3/ Time history analysis/928	254.954>>	-0.137	0.010
3/ Time history analysis/659	-254.950<<	0.137	-0.042
3/ Time history analysis/659	-254.950	0.137>>	-0.042
3/ Time history analysis/928	254.954	-0.137<<	0.010
3/ Time history analysis/888	1.249	-0.000	5.900>>
3/ Time history analysis/619	0.145	-0.000	-5.900<<

- **Gráficos da “história da força”, dos deslocamentos, das velocidades e das acelerações:**

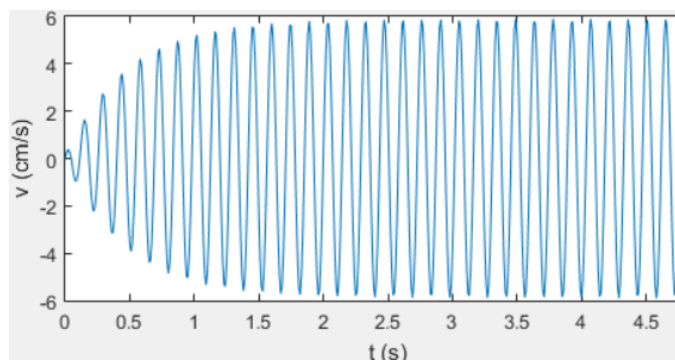
Os gráficos nas figuras seguintes foram realizados a partir da rotina do “MatLAB”:



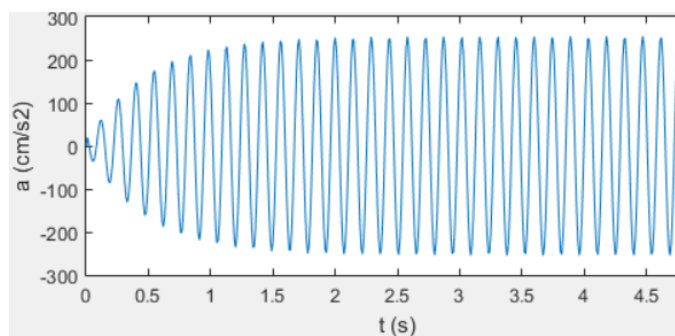
**Figura A.3 – Gráfico - “História da Força”.**



**Figura A.4 – Gráfico – “História dos Deslocamentos”.**

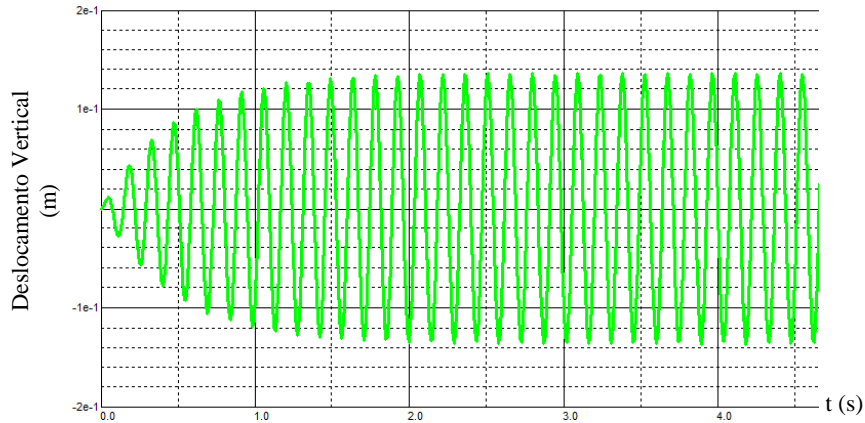


**Figura A.5 – Gráfico – “História das Velocidades”.**

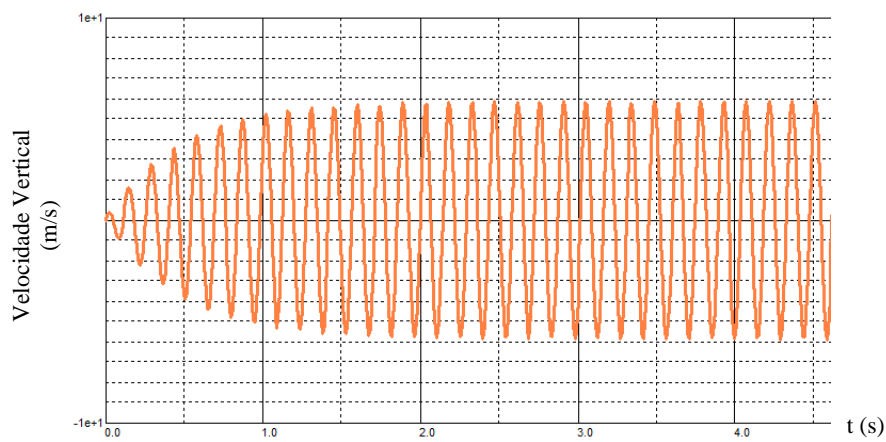


**Figura A.6 – Gráfico – “História das Acelerações”.**

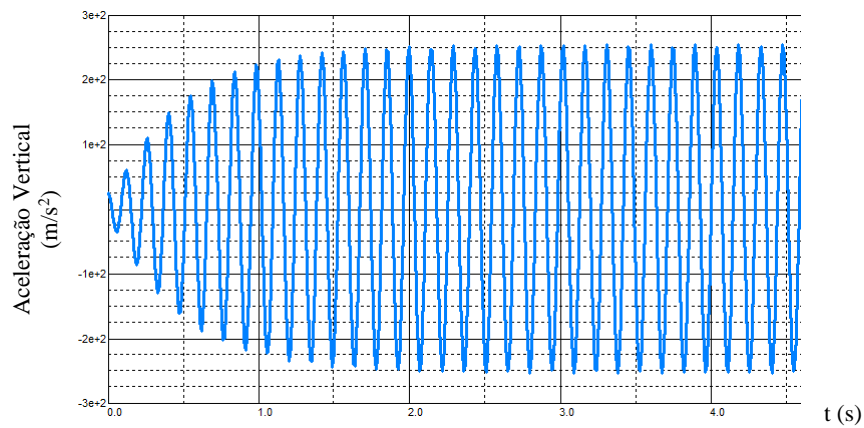
Os gráficos seguintes são os do “Robot Strutural”:



**Figura A.7 – Gráfico – “História dos Deslocamentos”.**



**Figura A.8 – Gráfico – “História das Velocidades”.**



**Figura A.9 – Gráfico – “História das acelerações”.**

Conclusão: Os resultados são análogos e permitem a validação da função “Time History”.



ANEXO V

RELATÓRIOS DO “ROBOT” E DAS FOLHAS  
DE CÁLCULO EM “EXCEL” UTILIZADAS NO  
DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS  
METÁLICOS



**I - Barra nº272 (SHS 250x8) - Dimensionamento**

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 272  
m

POINT: 25

COORDINATE: x = 1.00 L = 2.68

LOADS:

Governing Load Case: 101 ULS:STD/213=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+6\*0.54+10\*1.50+11\*0.90 (1+2)\*1.35+6\*0.54+10\*1.50+11\*0.90+(192+194)\*-1.35+(172+174)\*-0.54

MATERIAL:

S 275 ( S 275 ) fy = 275.0000 MPa



SECTION PARAMETERS: SHSH 250x250x8

h=25.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.10	
b=25.0 cm	Ay=38.40 cm <sup>2</sup>	Az=38.40 cm <sup>2</sup>	Ax=76.80 cm <sup>2</sup>
tw=0.8 cm	Iy=7455.00 cm <sup>4</sup>	Iz=7455.00 cm <sup>4</sup>	Ix=11525.00 cm <sup>4</sup>
tf=0.8 cm	Wply=694.00 cm <sup>3</sup>	Wplz=694.00 cm <sup>3</sup>	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 1456.0364 kN	My,Ed = 12.9017 kN*m	Mz,Ed = -15.0292 kN*m	Vy,Ed = 4.7406 kN
Nc,Rd = 2112.0000 kN	My,Ed,max = 12.9017 kN*m		Mz,Ed,max = -15.0292 kN*m
	Vy,T,Rd = 607.6250 kN		
Nb,Rd = 1688.8368 kN	My,c,Rd = 190.8500 kN*m	Mz,c,Rd = 190.8500 kN*m	Vz,Ed = 3.9407 kN
	MN,y,Rd = 77.9518 kN*m	MN,z,Rd = 77.9518 kN*m	Vz,T,Rd = 607.6250 kN
	Mb,Rd = 173.5000 kN*m		Tt,Ed = 0.5019 kN*m
			Class of section = 1



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

z = 1.00	Mcr = 17287.4957 kN*m	Curve,LT - d	XLT = 1.00
Lcr,upp=2.68 m	Lam_LT = 0.11	fi,LT = 0.47	

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

Ly = 5.36 m	Lam_y = 0.63
Lcr,y = 5.36 m	Xy = 0.88
Lamy = 54.40	kyy = 0.85



About z axis:

Lz = 2.68 m	Lam_z = 0.31
Lcr,z = 2.68 m	Xz = 0.97
Lamz = 27.20	kyz = 0.26

Torsional buckling:

Curve,T=a	alfa,T=0.21
Lt=2.68 m	fi,T=0.49
Ncr,T=472387.0204 kN	X,T=1.00
Lam_T=0.07	Nb,T,Rd=1920.0000 kN

Flexural-torsional buckling

Curve,TF=a	alfa,TF=0.21
Ncr,y=5378.2020 kN	fi,TF=0.49
Ncr,TF=472387.0204 kN	X,TF=1.00
Lam_TF=0.07	Nb,TF,Rd=1920.0000 kN

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

N,Ed/Nc,Rd = 0.69 < 1.00 (6.2.4.(1))  
 (My,Ed/MN,y,Rd)<sup>3.59</sup> + (Mz,Ed/MN,z,Rd)<sup>3.59</sup> = 0.00 < 1.00 (6.2.9.1.(6))  
 Vy,Ed/Vy,T,Rd = 0.01 < 1.00 (6.2.6-7)  
 Vz,Ed/Vz,T,Rd = 0.01 < 1.00 (6.2.6-7)

ANEXO V – RELATÓRIOS DO “ROBOT” E DAS FOLHAS DE CÁLCULO EM  
“EXCEL” UTILIZADAS NO DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS METÁLICOS

---

$$\tau_{xy,Ed}/(f_y/(\sqrt{3})\cdot gM0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{xz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3})\cdot gM0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Global stability check of member:**

$$\lambda_{y} = 54.40 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \lambda_{z} = 27.20 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed}/\min(N_{b,Rd}, N_{t,Rd}, N_{b,TF,Rd}) = 0.86 < 1.00 \quad (6.3.1)$$

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.07 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.95 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.85 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

---

**LIMIT DISPLACEMENTS**



**Deflections (LOCAL SYSTEM):**

$$u_z = 0.0 \text{ cm} < u_{z,max} = L/250.00 = 1.1 \text{ cm} \quad \text{Verified}$$

**Governing Load Case:** 202 SLS:CHR/15=1\*1.00 + 2\*1.00 + 6\*1.00 + 8\*0.30 + 13\*0.60 (1+2+6)\*1.00+8\*0.30+13\*0.60+(191+171+193+173)\*-1.00

$$u_{inst,z} = 0.0 \text{ cm} < u_{inst,max,z} = L/300.00 = 0.9 \text{ cm} \quad \text{Verified}$$

**Governing Load Case:** 1\*6 + 0.3\*8 + 0.6\*13



**Displacements (GLOBAL SYSTEM):** Not analyzed

---

**Section OK !!!**

I - Barra nº272 (SHS 250x8) – Dimensionamento pela Tabela de Cálculo

**VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES E DA BARRA**  
EC3-1-1 - Tabelas de verificação para secções e elementos laminados

Eurocód.	$\gamma_{M0}$	$\gamma_{M1}$	$\gamma_{M2}$
Pt 3-2	1,00	1,10	1,25

Coef. $L_{cr,y}$	Coef. $L_{cr,z}$	Coef. $L_{cr,T}$
2,00	1,00	1,00

Nº Barra	Material	Secção	E	$f_y$	G	L
272	S 275	SHSH 250x250x8	2,10E+08	2,75E+05	8,10E+07	2,680

h	b	$t_w$	$t_f$	r	Area	PP
0,250	0,250	0,0080	0,0080	0,008	7,68E-03	0,591

$I_y$	$W_{el,y}$	$W_{pl,y}$	$i_y$ (m)	$I_z$	$W_{el,z}$	$W_{pl,z}$	$i_z$ (m)
7,46E-05	5,96E-04	6,94E-04	0,099	7,455E-05	5,96E-04	6,94E-04	0,099

$A_{vy}$	$A_{vz}$	$I_T$	$I_w$	$Y_s$	$Z_s$	$Y_m$	$Z_m$
3,84E-03	3,84E-03	1,15E-04	0,00E+00	0,125	0,125	0	0

$i_0^2$	$\epsilon$	$\beta$	$\eta$
0,0194	0,92	1,000	1,0

$L_{cr,y}$	$L_{cr,z}$	$L_{cr,T}$
5,36	2,68	2,68

Classe da Secção (Solicitado á Compressão)				
Secção SHS ou RHS	banzo	c/t	27,25	Classe 1
	alma	c/t	27,25	Classe 1

Esforços Resistentes da Secção	$N_{pl,Rd}$ ou $N_{t,Rd}$ (kN)	2112,00	2112,00	1,00
	$V_{y,pl,Rd}$ (kN)	609,68	609,68	1,00
	$V_{z,pl,Rd}$ (kN)	609,68	609,68	1,00
	$M_{y,pl,Rd}$ (kN.m)	190,85	190,85	1,00
	$M_{z,pl,Rd}$ (kN.m)	190,85	190,85	1,00
	$M_{y,el,Rd}$ (kN.m)	164,01	164,01	1,00
	$M_{z,el,Rd}$ (kN.m)	164,01	164,01	1,00
	$T_{rd}$ (kN.m)	148,77	---	---

$T_{t,Rd}$	$T_{w,Rd}$	$T_{Rd}$
148,77	0,00	148,77

Verificação ao Transverso
$hw/tw > 72\epsilon/\eta$
Verifica

Resistencia a Encurvadura por Compressão (Varejamento)							
Eixo Y-Y		Eixo Z-Z		Torção -		Flexão/torção	
$\alpha_y$	0,21	$\alpha_z$	0,21	$\alpha_z$	0,21	$\alpha_z$	0,21
Ncr (kN)	5378,20	Ncr (kN)	21512,81	Ncr,T (kN)	480849,90	Ncr,FT (kN)	5378,20
$\lambda'_y$	0,63	$\lambda'_z$	0,31	$\lambda'_T$	0,07	$\lambda'_{FT}$	0,63
$\Phi_y$	0,74	$\Phi_z$	0,56	$\Phi_T$	0,49	$\Phi_{FT}$	0,74
$\chi_y$	0,88	$\chi_z$	0,97	$\chi_T$	1,03	$\chi_{FT}$	0,88
$N_{y,b,Rd}$ (kN)	1688,84	$N_{z,b,Rd}$ (kN)	1870,77	$N_{T,b,Rd}$ (kN)	1975,74	$N_{FT,b,Rd}$ (kN)	1688,84
<b><math>N_{b,Rd}</math> (kN)</b>	<b>1688,84</b>						
Robot	1688,83						
Rácio	1,00						

Resistencia a Encurvadura por Flexão (Bambeamento)						Mcr (*)	
Eixo Y-Y						Formula	
C1	1,565	Zj (m)	0,000	$\lambda'_{LT}$	0,093	---	
C2		Zg (m)	0,125	$\alpha_{LT}$	0,76		
C3		Za (m)	0,125	$\Phi_{LT}$	0,464		
K	1	Zs (m)	0,000	$\chi_{LT}$	1,000	Robot	Rácio
Kw	1	<b>Mcr</b>	<b>22178,18</b>	$M_{b,Rd}$ (kN.m)	<b>173,50</b>	173,50	1,00

	Diagrama	Carga
Eixo Y-Y	Parabólico	Concentrada
Eixo Z-Z	Linear	Concentrada
Torção	Considerar Torção	

Legenda:

- Valores a preencher
- Valores "chave"
- Valores a verificar
- Verifica a esbelteza ( $\lambda' < 0.2$ )
- NA Não Aplicável

(\*) Valor determinado pelo LTbeamN ou pela Fórmula do Mcr da norma ENV 1993-1-1

**VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES E DA BARRA**

EC3-1-1 - Tabelas de verificação para secções e elementos laminados

Combinação e Secção a Verificar	101 (C)/ 272/ 325
---------------------------------	-------------------

Combinação da Barra a Verificar	101
---------------------------------	-----

Esforços Atuantes na Secção	$N_{Ed}$ (kN)	1456,04
	$V_{Ed,Y}$ (kN)	4,74
	$V_{Ed,Z}$ (kN)	3,94
	$M_{Ed,X}$ (kN.m)	0,50
	$M_{Ed,Y}$ (kN.m)	12,90
	$M_{Ed,Z}$ (kN.m)	-15,03

**Legenda:**  
 Verifica  
 Não Verifica

Esforços de Cálculo na Barra	$N_{Ed}^{Max}$ (kN)	1456,04
	$V_{Ed,Y}^{Max}$ (kN)	14,52
	$V_{Ed,Z}^{Max}$ (kN)	7,58
	$M_{Ed,X}^{Max}$ (kN.m)	0,50
	$M_{Ed,Y}^{Max}$ (kN.m)	12,90
	$M_{Ed,Z}^{Max}$ (kN.m)	15,03

**Legenda:**  
 Verifica  
 Não Verifica

Verificação da Resistência (Secção)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Esforço Axial (N)	$N_{Ed} / N_{pl,Rd}$	0,69	0,69	1,00
Esforço Transverso (V)	$V_{y,Ed} / V_{y,pl,Rd}$	0,01	0,00	1,00
	$V_{z,Ed} / V_{z,pl,Rd}$	0,01	0,00	1,00
Momento Fletor (M)	$M_{y,Ed} / M_{pl,Rd}$	0,07	0,00	1,00
	$M_{z,Ed} / M_{pl,Rd}$	0,08	---	---
Torção ( $M_x$ )	$M_{x,Ed} / T_{Rd}$	0,00	---	---
Torção Uniforme (St. Venant)	$t_{t,Ed,y}$ (kPa)	535,63	---	---
	$t_{t,Ed,z}$ (kPa)	535,63	---	---
Torção Não Uniforme	$t_{w,Ed}$ (kPa)	NA	---	---
Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+T)	$V_{pl,y,T,rd}$ (kN)	607,63	---	---
	$V_{Ed,y} / V_{pl,y,T,rd}$	0,01	0,01	1,00
	$V_{pl,z,T,rd}$ (kN)	607,63	---	---
	$V_{Ed,z} / V_{pl,z,T,rd}$	0,01	0,01	1,00
Flexão com Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+M+T)	$\rho_y$	0,00	---	---
	$\rho_z$	0,00	---	---
	$M_{y,pl,Rd}$ (kN)	190,85	---	---
	$M_{Ed,y} / M_{y,pl,Rd}$	0,07	---	---
	$M_{z,pl,Rd}$ (kN)	190,85	---	---
	$M_{Ed,z} / M_{z,pl,Rd}$	0,08	---	---
Flexão Composta com Esforço Transverso (N+V+M)	n	0,69	---	---
	$a_w$ ou a	0,48	---	---
	$a_f$	0,48	---	---
	$\rho_y$	0,00	---	---
	$\rho_z$	0,00	---	---
	$M_{N,y,rd}$	77,95	---	---
	$M_{Ed,y} / M_{N,y,rd}$	0,17	0,00	1,00
	$M_{N,z,rd}$	77,95	---	---
	$M_{Ed,z} / M_{N,z,rd}$	0,19	---	---
Flexão Desviada (N+My+Mz)	$\alpha$	3,59	3,59	1,00
	$\beta$	3,59	3,59	1,00
	Flex. Comp.	0,00	0,00	1,00

Verificação da Encurvadura (Barra)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Elemento Uniforme Comprimido (N)	$N_{Ed} / N_{b,Rd}$	0,86	0,86	1,00
Elemento Uniforme em Flexão (M)	$M_{Ed,y} / M_{b,Rd}$	0,07	0,07	1,08
Elemento Uniforme em Flexão Composta com Compressão (N+M) (Anexo B do EC3-1-1)	$M_{h(y-y)}$	12,90	---	---
	$\psi M_{h(y-y)}$	-2,67	---	---
	$M_{s(y-y)}$	6,77	---	---
	$\psi(y-y)$	-0,21	---	---
	$\alpha_s = M_s / M_h(y-y)$	0,52	---	---
	$\alpha_h = M_h / M_s(y-y)$	1,91	---	---
	$C_{my}$	0,62	0,62	1,00
	$M_{h(z-z)}$	-15,03	---	---
	$\psi M_{h(z-z)}$	11,68	---	---
	$M_{s(z-z)}$	-7,78	---	---
	$\psi(z-z)$	-0,78	---	---
	$\alpha_s = M_s / M_h(z-z)$	0,52	---	---
	$\alpha_h = M_h / M_s(z-z)$	1,93	---	---
	$C_{mz}$	0,40	0,4	1,00
	$M_h$	12,90	---	---
	$\psi M_h$	-2,67	---	---
	$M_s$	6,77	---	---
	$\psi$	-0,21	---	---
	$\alpha_s = M_s / M_h$	0,52	---	---
	$\alpha_h = M_h / M_s$	1,91	---	---
$C_{mLT}$	0,62	0,62	1,00	
$K_{yy}$	0,85	0,85	1,00	
$K_{yz}$	0,26	0,26	1,00	
$K_{zy}$	0,51	0,51	1,00	
$K_{zz}$	0,44	0,44	1,00	
Condição (6.61)	0,95	0,95	1,00	
Condição (6.62)	0,85	0,85	1,00	

**II - Barra nº62 (SHS 150x6.3) – Dimensionamento**

**STEEL DESIGN**

**CODE:** EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

**ANALYSIS TYPE:** Member Verification

**CODE GROUP:**

**MEMBER:** 62\_62\_Diagonais\_52\_DEFAULT\_NAME\_XXX  
 0.04 L = 0.15 m

**POINT:** 2 **COORDINATE:** x =

**LOADS:**

*Governing Load Case:* 94 ULS:STD/197=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+6\*0.54+8\*1.50+12\*0.90 (1+2)\*1.35+6\*0.54+8\*1.50+12\*0.90+(191+193)\*-1.35+(171+173)\*-0.54

**MATERIAL:**

S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.0000$  MPa



**SECTION PARAMETERS: SHSH 150x150x6.3**

h=15.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.10	
b=15.0 cm	Ay=17.90 cm <sup>2</sup>	Az=17.90 cm <sup>2</sup>	Ax=35.80 cm <sup>2</sup>
tw=0.6 cm	Iy=1223.00 cm <sup>4</sup>	Iz=1223.00 cm <sup>4</sup>	Ix=1909.00 cm <sup>4</sup>
tf=0.6 cm	Wply=192.00 cm <sup>3</sup>	Wplz=192.00 cm <sup>3</sup>	

**INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:**

N <sub>Ed</sub> = 759.8923 kN	My <sub>Ed</sub> = 0.0695 kN*m	
N <sub>c,Rd</sub> = 984.5000 kN	My <sub>Ed,max</sub> = 0.4342 kN*m	
N <sub>b,Rd</sub> = 821.6318 kN	My <sub>c,Rd</sub> = 52.8000 kN*m	Vz <sub>Ed</sub> = 0.4538 kN
	MN <sub>y,Rd</sub> = 15.7677 kN*m	Vz <sub>c,Rd</sub> = 284.2007 kN
	Mb <sub>Rd</sub> = 48.0000 kN*m	
		Class of section = 1



**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:**

z = 1.00	Mcr = 2122.3279 kN*m	Curve <sub>LT</sub> - d	XLT = 1.00
L <sub>cr,upp</sub> = 3.16 m	Lam <sub>LT</sub> = 0.16	fi <sub>LT</sub> = 0.50	

**BUCKLING PARAMETERS:**



About y axis:

Ly = 3.52 m	Lam <sub>y</sub> = 0.52
L <sub>cr,y</sub> = 2.64 m	Xy = 0.92
Lamy = 45.12	kyy = 1.23



About z axis:

Lz = 3.52 m	Lam <sub>z</sub> = 0.52
L <sub>cr,z</sub> = 2.64 m	Xz = 0.92
Lamz = 45.12	kzy = 0.00

**Torsional buckling:**

Curve <sub>T</sub> =a	alfa <sub>T</sub> =0.21
Lt=3.16 m	fi <sub>T</sub> =0.49
N <sub>cr,T</sub> =221561.8278 kN	X <sub>T</sub> =1.00
Lam <sub>T</sub> =0.07	Nb <sub>T,Rd</sub> =895.0000 kN

**Flexural-torsional buckling**

Curve <sub>TF</sub> =a	alfa <sub>TF</sub> =0.21
N <sub>cr,y</sub> =3644.2468 kN	fi <sub>TF</sub> =0.49
N <sub>cr,TF</sub> =221561.8278 kN	X <sub>TF</sub> =1.00
Lam <sub>TF</sub> =0.07	Nb <sub>TF,Rd</sub> =895.0000 kN

**VERIFICATION FORMULAS:**

*Section strength check:*

N<sub>Ed</sub>/N<sub>c,Rd</sub> = 0.77 < 1.00 (6.2.4.(1))  
 My<sub>Ed</sub>/My<sub>c,Rd</sub> = 0.00 < 1.00 (6.2.5.(1))  
 My<sub>Ed</sub>/MN<sub>y,Rd</sub> = 0.00 < 1.00 (6.2.9.1.(2))  
 Vz<sub>Ed</sub>/Vz<sub>c,Rd</sub> = 0.00 < 1.00 (6.2.6.(1))

*Global stability check of member:*

ANEXO V – RELATÓRIOS DO “ROBOT” E DAS FOLHAS DE CÁLCULO EM  
“EXCEL” UTILIZADAS NO DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS METÁLICOS

---

$\lambda_{y} = 45.12 < \lambda_{y,max} = 210.00$        $\lambda_{z} = 45.12 < \lambda_{z,max} = 210.00$       STABLE  
 $N_{Ed}/\text{Min}(N_{b,Rd}, N_{b,T,Rd}, N_{b,TF,Rd}) = 0.92 < 1.00$       (6.3.1)  
 $M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.01 < 1.00$       (6.3.2.1.(1))  
 $N_{Ed}/(X_y * N_{Rk}/gM1) + k_{yy} * M_{y,Ed,max}/(XLT * M_{y,Rk}/gM1) = 0.94 < 1.00$       (6.3.3.(4))  
 $N_{Ed}/(X_z * N_{Rk}/gM1) + k_{zy} * M_{y,Ed,max}/(XLT * M_{y,Rk}/gM1) = 0.92 < 1.00$       (6.3.3.(4))

---

**LIMIT DISPLACEMENTS**



**Deflections (LOCAL SYSTEM):**

$u_z = 0.0 \text{ cm} < u_{z,max} = L/250.00 = 1.4 \text{ cm}$

Verified

**Governing Load Case:** 240 SLS:CHR/160=1\*1.00 + 2\*1.00 + 6\*0.40 + 8\*0.30 + 11\*1.00 (1+2+11+193)\*1.00  
+(6+173)\*0.40+8\*0.30+191\*-1.00+171\*-0.40

$u_{inst,z} = 0.0 \text{ cm} < u_{inst,max,z} = L/300.00 = 1.2 \text{ cm}$

Verified

**Governing Load Case:** 0.4\*6 + 0.3\*10 + 1\*11



**Displacements (GLOBAL SYSTEM):** Not analyzed

---

**Section OK !!!**

II - Barra nº62 (SHS 150x6.3) – Dimensionamento pela Tabela de Cálculo

VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES E DA BARRA

EC3-1-1 - Tabelas de verificação para secções e elementos laminados

Eurocód.	$\gamma_{M0}$	$\gamma_{M1}$	$\gamma_{M2}$
Pt 3-2	1,00	1,10	1,25

Coef. $L_{cr,y}$	Coef. $L_{cr,z}$	Coef. $L_{cr,T}$
0,75	0,75	0,75

Nº Barra	Material	Secção	E	$f_y$	G	L
			kPa	kPa	kPa	m
62	S 275	SHSH 150x150x6.3	2,10E+08	2,75E+05	8,10E+07	3,516

h	b	$t_w$	$t_f$	r	Area	PP
m	m	m	m	m	m <sup>2</sup>	kN/m
0,150	0,150	0,0063	0,0063	0,006	3,58E-03	0,276

$I_y$	$W_{el,y}$	$W_{pl,y}$	$i_y$ (m)	$I_z$	$W_{el,z}$	$W_{pl,z}$	$i_z$ (m)
m <sup>4</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m	m <sup>4</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m
1,22E-05	1,63E-04	1,92E-04	0,058	1,223E-05	1,63E-04	1,92E-04	0,058

$A_{vy}$	$A_{vz}$	$I_T$	$I_w$	$Y_s$	$Z_s$	$Y_m$	$Z_m$
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>4</sup>	m <sup>6</sup>	m	m	m	m
1,79E-03	1,79E-03	1,91E-05	0,00E+00	0,075	0,075	0	0

$i_0^2$	$\epsilon$	$\beta$	$\eta$
m <sup>2</sup>			
0,0068	0,92	1,000	1,0

$L_{cr,y}$	$L_{cr,z}$	$L_{cr,T}$
m	m	m
2,64	2,64	2,64

Classe da Secção (Solicitado á Compressão)				
Secção SHS ou RHS	banzo	c/t	19,81	Classe 1
	alma	c/t	19,81	Classe 1

Esforços Resistentes da Secção	$N_{pl,Rd}$ ou $N_{t,Rd}$ (kN)	984,50	984,50	1,00
	$V_{y,pl,Rd}$ (kN)	284,20	284,20	1,00
	$V_{z,pl,Rd}$ (kN)	284,20	284,20	1,00
	$M_{y,pl,Rd}$ (kN.m)	52,80	52,80	1,00
	$M_{z,pl,Rd}$ (kN.m)	52,80	52,80	1,00
	$M_{y,el,Rd}$ (kN.m)	44,84	44,84	1,00
	$M_{z,el,Rd}$ (kN.m)	44,84	44,84	1,00
	$T_{rd}$ (kN.m)	41,31	---	---

$T_{t,Rd}$	$T_{w,Rd}$	$T_{Rd}$
kN.m	kN.m	kN.m
41,31	0,00	41,31

Verificação ao Transverso
$hw/tw > 72\epsilon/\eta$
Verifica

Resistencia a Encurvadura por Compressão (Varejamento)							
Eixo Y-Y		Eixo Z-Z		Torção -		Flexão/torção	
$\alpha_y$	0,21	$\alpha_z$	0,21	$\alpha_z$	0,21	$\alpha_z$	0,21
Ncr (kN)	3644,25	Ncr (kN)	3644,25	Ncr,T (kN)	226317,18	Ncr,FT (kN)	3644,25
$\lambda'_y$	0,52	$\lambda'_z$	0,52	$\lambda'_T$	0,07	$\lambda'_{FT}$	0,52
$\Phi_y$	0,67	$\Phi_z$	0,67	$\Phi_T$	0,49	$\Phi_{FT}$	0,67
$\chi_y$	0,92	$\chi_z$	0,92	$\chi_T$	1,03	$\chi_{FT}$	0,92
$N_{y,b,Rd}$ (kN)	821,63	$N_{z,b,Rd}$ (kN)	821,63	$N_{T,b,Rd}$ (kN)	921,04	$N_{FT,b,Rd}$ (kN)	821,63
<b><math>N_{b,Rd}</math> (kN)</b>	<b>821,63</b>						
Robot	821,63						
Rácio	1,00						

Resistencia a Encurvadura por Flexão (Bambeamento)						Mcr (*)
Eixo Y-Y						
C1	1,132	Zj (m)	0,000	$\lambda'_{LT}$	0,140	---
C2		Zg (m)	0,075	$\alpha_{LT}$	0,76	
C3		Za (m)	0,075	$\Phi_{LT}$	0,487	
K	1	Zs (m)	0,000	$\chi_{LT}$	1,000	Robot
Kw	1	Mcr	2687,17	$M_{b,Rd}$ (kN.m)	48,00	Rácio
						48,00
						1,00

	Diagrama	Carga
Eixo Y-Y	Parabólico	Uniforme
Eixo Z-Z	Linear	Concentrada
Torção	Considerar Torção	

Legenda:

- Valores a preencher
- Valores "chave"
- Valores a verificar
- Verifica a esbelteza ( $\lambda' < 0.2$ )
- NA Não Aplicável

(\*) Valor determinado pelo LTbeamN ou pela Fórmula do Mcr da norma ENV 1993-1-1

**VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES E DA BARRA**

EC3-1-1 - Tabelas de verificação para secções e elementos laminados

Combinação e Secção a Verificar	94 (C)/ 62/ 53
---------------------------------	----------------

Combinação da Barra a Verificar	94
---------------------------------	----

Esforços Atuantes na Secção	N <sub>Ed</sub> (kN)	759,93
	V <sub>ed,y</sub> (kN)	0,00
	V <sub>ed,z</sub> (kN)	0,50
	M <sub>Ed,x</sub> (kN.m)	0,00
	M <sub>Ed,y</sub> (kN.m)	0,00
	M <sub>Ed,z</sub> (kN.m)	0,00

**Legenda:**  
 Verifica  
 Não Verifica

Esforços de Cálculo na Barra	N <sub>Ed</sub> <sup>Max</sup> (kN)	759,93
	V <sub>ed,y</sub> <sup>Max</sup> (kN)	0,00
	V <sub>ed,z</sub> <sup>Max</sup> (kN)	0,50
	M <sub>Ed,x</sub> <sup>Max</sup> (kN.m)	0,00
	M <sub>Ed,y</sub> <sup>Max</sup> (kN.m)	0,44
	M <sub>Ed,z</sub> <sup>Max</sup> (kN.m)	0,00

**Legenda:**  
 Verifica  
 Não Verifica

Verificação da Resistência (Secção)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Esforço Axial (N)	N <sub>Ed</sub> / N <sub>pl,Rd</sub>	0,77	0,77	1,00
Esforço Transverso (V)	V <sub>y,Ed</sub> / V <sub>y,pl,Rd</sub>	0,00	0,00	1,00
	V <sub>z,Ed</sub> / V <sub>z,pl,Rd</sub>	0,00	0,00	1,00
Momento Fletor (M)	M <sub>y,Ed</sub> / M <sub>pl,Rd</sub>	0,00	0,00	1,00
	M <sub>z,Ed</sub> / M <sub>pl,Rd</sub>	0,00	---	---
Torção (M <sub>x</sub> )	M <sub>x,Ed</sub> / T <sub>Rd</sub>	0,00	---	---
Torção Uniforme (St. Venant)	t <sub>t,Ed,y</sub> (kPa)	0,00	---	---
	t <sub>t,Ed,z</sub> (kPa)	0,00	---	---
Torção Não Uniforme	t <sub>w,Ed</sub> (kPa)	NA	---	---
Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+T)	V <sub>pl,y,T,rd</sub> (kN)	284,20	---	---
	V <sub>Ed,y</sub> / V <sub>pl,y,T,rd</sub>	0,00	---	---
	V <sub>pl,z,T,rd</sub> (kN)	284,20	---	---
	V <sub>Ed,z</sub> / V <sub>pl,z,T,rd</sub>	0,00	---	---
Flexão com Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+M+T)	ρ <sub>y</sub>	0,00	---	---
	ρ <sub>z</sub>	0,00	---	---
	M <sub>y,pl,Rd</sub> (kN)	52,80	---	---
	M <sub>Ed,y</sub> / M <sub>y,pl,Rd</sub>	0,00	---	---
	M <sub>z,pl,Rd</sub> (kN)	52,80	---	---
Flexão Composta com Esforço Transverso (N+V+M)	M <sub>Ed,z</sub> / M <sub>z,pl,Rd</sub>	0,00	---	---
	n	0,77	---	---
	a <sub>w</sub> ou a	0,47	---	---
	a <sub>f</sub>	0,47	---	---
	ρ <sub>y</sub>	0,00	---	---
	ρ <sub>z</sub>	0,00	---	---
	M <sub>N,y,rd</sub>	15,77	---	---
	M <sub>Ed,y</sub> / M <sub>N,y,rd</sub>	0,00	0,00	1,00
M <sub>N,z,rd</sub>	15,77	---	---	
Flexão Desviada (N+My+Mz)	M <sub>Ed,z</sub> / M <sub>N,z,rd</sub>	0,00	---	---
	α	1,77	---	---
	β	1,77	---	---
Flex. Comp.		0,00	---	---

Verificação da Encurvadura (Barra)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Elemento Uniforme Comprimido (N)	N <sub>Ed</sub> / N <sub>b,Rd</sub>	0,92	0,92	1,01
Elemento Uniforme em Flexão (M)	M <sub>Ed,y</sub> / M <sub>b,Rd</sub>	0,01	0,01	1,04
Elemento Uniforme em Flexão Composta com Compressão (N+M) (Anexo B do EC3-1-1)	M <sub>h(y-y)</sub>	0,00	---	---
	ψM <sub>h(y-y)</sub>	0,00	---	---
	M <sub>s(y-y)</sub>	0,44	---	---
	ψ(y-y)	0,00	---	---
	α <sub>s</sub> = M <sub>s</sub> / M <sub>h(y-y)</sub>	---	---	---
	α <sub>h</sub> = M <sub>h</sub> / M <sub>s(y-y)</sub>	0,00	---	---
	C <sub>my</sub>	0,95	0,95	1,00
	M <sub>h(z-z)</sub>	0,00	---	---
	ψM <sub>h(z-z)</sub>	0,00	---	---
	M <sub>s(z-z)</sub>	0,00	---	---
	ψ(z-z)	0,00	---	---
	α <sub>s</sub> = M <sub>s</sub> / M <sub>h(z-z)</sub>	---	---	---
	α <sub>h</sub> = M <sub>h</sub> / M <sub>s(z-z)</sub>	0,00	---	---
	C <sub>mz</sub>	0,60	---	---
	M <sub>h</sub>	0,00	---	---
	ψM <sub>h</sub>	0,00	---	---
M <sub>s</sub>	0,44	---	---	
ψ	0,00	---	---	
α <sub>s</sub> = M <sub>s</sub> / M <sub>h</sub>	---	---	---	
α <sub>h</sub> = M <sub>h</sub> / M <sub>s</sub>	0,00	---	---	
C <sub>mLT</sub>	0,95	---	---	
K <sub>yy</sub>	1,23	1,23	1,00	
K <sub>yz</sub>	0,47	---	---	
K <sub>zy</sub>	0,74	---	---	
K <sub>zz</sub>	0,78	---	---	
Condição (6.61)		0,94	0,94	1,00
Condição (6.62)		0,93	0,92	1,01

**III - Barra nº40 (SHS 140x 5) – Dimensionamento**

**STEEL DESIGN**

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 40 Diagonais\_8\_DEFAULT\_NAME\_XXX

POINT: 25

COORDINATE: x = 1.00 L = 3.76 m

LOADS:

Governing Load Case: 66 ULS:STD/89=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+5\*1.35+9\*0.45+13\*0.90 (1+2+5+191+181+193+183)\*1.35+9\*0.45+13\*0.90

MATERIAL:

S 275 ( S 275 ) fy = 275.0000 MPa



SECTION PARAMETERS: SHSH 140x140x5

h=14.0 cm

gM0=1.00

gM1=1.10

b=14.0 cm

Ay=13.35 cm<sup>2</sup>

Az=13.35 cm<sup>2</sup>

Ax=26.70 cm<sup>2</sup>

tw=0.5 cm

Iy=807.00 cm<sup>4</sup>

Iz=807.00 cm<sup>4</sup>

Ix=1253.00 cm<sup>4</sup>

tf=0.5 cm

Wply=135.00 cm<sup>3</sup>

Wplz=135.00 cm<sup>3</sup>

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = -695.9272 kN

Nt,Rd = 734.2500 kN

Vz,Ed = -0.3692 kN

Vz,c,Rd = 211.9597 kN

Class of section = 1



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:



About z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.95 < 1.00$  (6.2.3.(1))

$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.2.6.(1))

**Section OK !!!**



III - Barra nº40 (SHS 140x 5) – Dimensionamento pela Tabela de Cálculo

**VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES E DA BARRA**  
EC3-1-1 - Tabelas de verificação para secções e elementos laminados

Eurocód.	$\gamma_{M0}$	$\gamma_{M1}$	$\gamma_{M2}$
Pt 3-2	1,00	1,10	1,25

Coef. $L_{cr,y}$	Coef. $L_{cr,z}$	Coef. $L_{cr,T}$
0,75	0,75	0,75

Nº Barra	Material	Secção	E	$f_y$	G	L
40	S 275	SHSH 140x140x5	kPa	kPa	kPa	m
			2,10E+08	2,75E+05	8,10E+07	3,762

h	b	$t_w$	$t_f$	r	Area	PP
m	m	m	m	m	m <sup>2</sup>	kN/m
0,140	0,140	0,0050	0,0050	0,005	2,67E-03	0,206

$I_y$	$W_{el,y}$	$W_{pl,y}$	$i_y$ (m)	$I_z$	$W_{el,z}$	$W_{pl,z}$	$i_z$ (m)
m <sup>4</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m	m <sup>4</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m
8,07E-06	1,15E-04	1,35E-04	0,055	8,070E-06	1,15E-04	1,35E-04	0,055

$A_{vy}$	$A_{vz}$	$I_T$	$I_w$	$Y_s$	$Z_s$	$Y_m$	$Z_m$
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>4</sup>	m <sup>6</sup>	m	m	m	m
1,34E-03	1,34E-03	1,25E-05	0,00E+00	0,070	0,070	0	0

$i_0^2$	$\epsilon$	$\beta$	$\eta$
m <sup>2</sup>	0,92	1,000	1,0
0,0060			

$L_{cr,y}$	$L_{cr,z}$	$L_{cr,T}$
m	m	m
---	---	---

Classe da Secção (Solicitado á Compressão)			
Secção SHS ou RHS	banzo	c/t	
	alma	c/t	
			24,00
			24,00

Esforços Resistentes da Secção	$N_{pl,Rd}$ ou $N_{t,Rd}$ (kN)	734,25	Robot	734,25	Rácio	1,00
	$V_{y,pl,Rd}$ (kN)	211,96	211,96	1,00		
	$V_{z,pl,Rd}$ (kN)	211,96	211,96	1,00		
	$M_{y,pl,Rd}$ (kN.m)	37,13	---	---		
	$M_{z,pl,Rd}$ (kN.m)	37,13	---	---		
	$M_{y,el,Rd}$ (kN.m)	31,70	---	---		
	$M_{z,el,Rd}$ (kN.m)	31,70	---	---		
	$T_{rd}$ (kN.m)	28,94	---	---		

$T_{t,Rd}$	$T_{w,Rd}$	$T_{Rd}$
kN.m	kN.m	kN.m
28,94	0,00	28,94

Verificação ao Transverso
$hw/tw > 72\epsilon/\eta$
Verifica

Resistencia a Encurvadura por Compressão (Varejamento)							
Eixo Y-Y		Eixo Z-Z		Torção -		Flexão/torção	
$\alpha_y$	---	$\alpha_z$	---	$\alpha_z$	---	$\alpha_z$	---
$N_{cr}$ (kN)	---	$N_{cr}$ (kN)	---	$N_{cr,T}$ (kN)	---	$N_{cr,FT}$ (kN)	---
$\lambda'_y$	---	$\lambda'_z$	---	$\lambda'_T$	---	$\lambda'_{FT}$	---
$\Phi_y$	---	$\Phi_z$	---	$\Phi_T$	---	$\Phi_{FT}$	---
$\chi_y$	---	$\chi_z$	---	$\chi_T$	---	$\chi_{FT}$	---
$N_{y,b,Rd}$ (kN)	---	$N_{z,b,Rd}$ (kN)	---	$N_{T,b,Rd}$ (kN)	---	$N_{FT,b,Rd}$ (kN)	---
$N_{b,Rd}$ (kN)	---						
Robot	---						
Rácio	---						

Resistencia a Encurvadura por Flexão (Bambeamento)						Mcr (*)
Eixo Y-Y						Formula
C1	---	$Z_j$ (m)	---	$\lambda'_{LT}$	---	---
C2	---	$Z_g$ (m)	---	$\alpha_{LT}$	---	---
C3	---	$Z_a$ (m)	---	$\Phi_{LT}$	---	---
K	---	$Z_s$ (m)	---	$\chi_{LT}$	---	Robot
Kw	---	Mcr	---	$M_{b,Rd}$ (kN.m)	---	Rácio

	Diagrama	Carga
Eixo Y-Y	Parabólico	Uniforme
Eixo Z-Z	Parabólico	Uniforme
Torção	Considerar Torção	

Legenda:

- Valores a preencher
- Valores "chave"
- Valores a verificar
- Verifica a esbelteza ( $\lambda' < 0.2$ )
- NA Não Aplicável

(\*) Valor determinado pelo LTbeamN ou pela Fórmula do Mcr da norma ENV 1993-1-1

**VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES E DA BARRA**  
EC3-1-1 - Tabelas de verificação para secções e elementos laminados

Combinação e Secção a Verificar **66 (C)/ 40/ 8**

Esforços Atuantes na Secção	$N_{Ed}$ (kN)	-695,93
	$V_{ed,y}$ (kN)	0,00
	$V_{ed,z}$ (kN)	-0,37
	$M_{Ed,x}$ (kN.m)	0,00
	$M_{Ed,y}$ (kN.m)	0,00
	$M_{Ed,z}$ (kN.m)	0,00

**Legenda:**  
 Verifica  
 Não Verifica

Combinação da Barra a Verificar **66**

Esforços de Cálculo na Barra	$N_{Ed}^{Max}$ (kN)	-695,93
	$V_{ed,y}^{Max}$ (kN)	0,00
	$V_{ed,z}^{Max}$ (kN)	0,37
	$M_{Ed,x}^{Max}$ (kN.m)	0,00
	$M_{Ed,y}^{Max}$ (kN.m)	0,35
	$M_{Ed,z}^{Max}$ (kN.m)	0,00

**Legenda:**  
 Verifica  
 Não Verifica

Verificação da Resistência (Secção)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Esforço Axial (N)	$N_{Ed} / N_{pl,Rd}$	0,95	0,95	1,00
Esforço Transverso (V)	$V_{y,Ed} / V_{y,pl,Rd}$	0,00	0,00	1,00
	$V_{z,Ed} / V_{z,pl,Rd}$	0,00	0,00	1,00
Momento Fletor (M)	$M_{y,Ed} / M_{pl,Rd}$	0,00	---	---
	$M_{z,Ed} / M_{pl,Rd}$	0,00	---	---
Torção ( $M_x$ )	$M_{x,Ed} / T_{Rd}$	0,00	---	---
Torção Uniforme (St. Venant)	$t_{t,Ed,y}$ (kPa)	0,00	---	---
	$t_{t,Ed,z}$ (kPa)	0,00	---	---
Torção Não Uniforme	$t_{w,Ed}$ (kPa)	NA	---	---
Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+T)	$V_{pl,y,T,rd}$ (kN)	211,96	---	---
	$V_{Ed,y} / V_{pl,y,T,rd}$	0,00	---	---
	$V_{pl,z,T,rd}$ (kN)	211,96	---	---
	$V_{Ed,z} / V_{pl,z,T,rd}$	0,00	---	---
Flexão com Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+M+T)	$\rho_y$	0,00	---	---
	$\rho_z$	0,00	---	---
	$M_{y,pl,Rd}$ (kN)	37,13	---	---
	$M_{Ed,y} / M_{y,pl,Rd}$	0,00	---	---
	$M_{z,pl,Rd}$ (kN)	37,13	---	---
Flexão Composta com Esforço Transverso (N+V+M)	$M_{Ed,z} / M_{z,pl,Rd}$	0,00	---	---
	$n$	-0,95	---	---
	$a_w$ ou $a$	0,48	---	---
	$a_f$	0,48	---	---
	$\rho_y$	0,00	---	---
	$\rho_z$	0,00	---	---
	$M_{N,y,rd}$	37,13	---	---
	$M_{Ed,y} / M_{N,y,rd}$	0,00	---	---
Flexão Desviada (N+My+Mz)	$M_{N,z,rd}$	37,13	---	---
	$M_{Ed,z} / M_{N,z,rd}$	0,00	---	---
	$\alpha$	1,69	---	---
	$\beta$	1,69	---	---
Flex. Comp.		0,00	---	---

Verificação da Encurvadura (Barra)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Elemento Uniforme Comprimido (N)	$N_{Ed} / N_{b,Rd}$	---	---	---
Elemento Uniforme em Flexão (M)	$M_{Ed,y} / M_{b,Rd}$	---	---	---
Elemento Uniforme em Flexão Composta com Compressão (N+M) (Anexo B do EC3-1-1)	$M_{h(y-y)}$	---	---	---
	$\psi M_{h(y-y)}$	---	---	---
	$M_{s(y-y)}$	---	---	---
	$\psi(y-y)$	---	---	---
	$\alpha_s = M_s / M_h(y-y)$	---	---	---
	$\alpha_h = M_h / M_s(y-y)$	---	---	---
	$C_{my}$	---	---	---
	$M_{h(z-z)}$	---	---	---
	$\psi M_h(z-z)$	---	---	---
	$M_{s(z-z)}$	---	---	---
	$\psi(z-z)$	---	---	---
	$\alpha_s = M_s / M_h(z-z)$	---	---	---
	$\alpha_h = M_h / M_s(z-z)$	---	---	---
	$C_{mz}$	---	---	---
	$M_h$	---	---	---
	$\psi M_h$	---	---	---
	$M_s$	---	---	---
	$\psi$	---	---	---
	$\alpha_s = M_s / M_h$	---	---	---
	$\alpha_h = M_h / M_s$	---	---	---
$C_{mLT}$	---	---	---	
$K_{yy}$	---	---	---	
$K_{yz}$	---	---	---	
$K_{zy}$	---	---	---	
$K_{zz}$	---	---	---	
Condição (6.61)		---	---	---
Condição (6.62)		---	---	---

**IV - Barra nº164 (SHS 120x4) – Dimensionamento**

**STEEL DESIGN**

**CODE:** EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

**ANALYSIS TYPE:** Member Verification

**CODE GROUP:**

**MEMBER:** 164 Diagonais\_24\_DEFAULT\_NAME\_XXX

**POINT:** 18

**COORDINATE:** x = 0.71 L = 2.69 m

**LOADS:**

Governing Load Case: 65 ULS:STD/87=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+5\*1.35+9\*0.45+12\*0.90 (1+2+5+19+181+193+183)\*1.35+9\*0.45+12\*0.90

**MATERIAL:**

S 275 ( S 275 ) fy = 275.0000 MPa



**SECTION PARAMETERS: SHSH 120x120x4**

h=12.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.10	
b=12.0 cm	Ay=9.20 cm <sup>2</sup>	Az=9.20 cm <sup>2</sup>	Ax=18.40 cm <sup>2</sup>
tw=0.4 cm	Iy=410.00 cm <sup>4</sup>	Iz=410.00 cm <sup>4</sup>	Ix=635.00 cm <sup>4</sup>
tf=0.4 cm	Wply=79.70 cm <sup>3</sup>	Wplz=79.70 cm <sup>3</sup>	

**INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:**

N,Ed = 69.1904 kN	My,Ed = 11.0341 kN*m	Mz,Ed = -0.6710 kN*m	Vy,Ed = -0.3557 kN
Nc,Rd = 506.0000 kN	My,Ed,max = 13.3522 kN*m		Mz,Ed,max = -0.8119 kN*m
	Vy,c,Rd = 146.0696 kN		
Nb,Rd = 390.7618 kN	My,c,Rd = 21.9175 kN*m	Mz,c,Rd = 21.9175 kN*m	Vz,Ed = -5.8494 kN
	MN,y,Rd = 21.9175 kN*m	MN,z,Rd = 21.9175 kN*m	Vz,c,Rd = 146.0696 kN
	Mb,Rd = 19.9250 kN*m		

Class of section = 1



**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:**

z = 1.00	Mcr = 790.9115 kN*m	Curve,LT - d	XLT = 1.00
Lcr,upp=2.85 m	Lam_LT = 0.17	fi,LT = 0.50	

**BUCKLING PARAMETERS:**



About y axis:

Ly = 3.80 m	Lam_y = 0.70
Lcr,y = 2.85 m	Xy = 0.85
Lamy = 60.45	kyy = 1.03



About z axis:

Lz = 3.80 m	Lam_z = 0.70
Lcr,z = 2.85 m	Xz = 0.85
Lamz = 60.45	kyz = 0.62

Torsional buckling:

Curve,T=a	alfa,T=0.21
Lt=2.85 m	fi,T=0.49
Ncr,T=113337.0405 kN	X,T=1.00
Lam_T=0.07	Nb,T,Rd=460.0000 kN

Flexural-torsional buckling

Curve,TF=a	alfa,TF=0.21
Ncr,y=1043.7387 kN	fi,TF=0.49
Ncr,TF=113337.0405 kN	X,TF=1.00
Lam_TF=0.07	Nb,TF,Rd=460.0000 kN

**VERIFICATION FORMULAS:**

Section strength check:

N,Ed/Nc,Rd = 0.14 < 1.00 (6.2.4.(1))  
 (My,Ed/MN,y,Rd)^1.70 + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^1.70 = 0.31 < 1.00 (6.2.9.1.(6))  
 Vy,Ed/Vy,c,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.6.(1))  
 Vz,Ed/Vz,c,Rd = 0.04 < 1.00 (6.2.6.(1))

ANEXO V – RELATÓRIOS DO “ROBOT” E DAS FOLHAS DE CÁLCULO EM  
“EXCEL” UTILIZADAS NO DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS METÁLICOS

---

*Global stability check of member:*

$\Lambda_{y} = 60.45 < \Lambda_{max} = 210.00$        $\Lambda_{z} = 60.45 < \Lambda_{max} = 210.00$       STABLE

$N_{Ed}/\text{Min}(N_{b,Rd}, N_{t,Rd}, N_{b,TF,Rd}) = 0.18 < 1.00$       (6.3.1)

$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.67 < 1.00$       (6.3.2.1.(1))

$N_{Ed}/(X_{y} \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.89 < 1.00$   
(6.3.3.(4))

$N_{Ed}/(X_{z} \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.63 < 1.00$   
(6.3.3.(4))

---

**LIMIT DISPLACEMENTS**



*Deflections (LOCAL SYSTEM):*

$u_z = 1.7 \text{ cm} > u_{z,max} = L/250.00 = 1.5 \text{ cm}$       Not verified

**Governing Load Case:** 207 SLS:CHR/26=1\*1.00 + 2\*1.00 + 6\*1.00 + 10\*0.30 + 14\*0.60 (1+2+6)\*1.00+10\*0.30+14\*0.60+(191+171+193+173)\*-1.00

$u_{inst,z} = 1.5 \text{ cm} > u_{inst,max,z} = L/300.00 = 1.3 \text{ cm}$       Not verified

**Governing Load Case:** 1\*5 + 0.3\*7 + 0.6\*11



*Displacements (GLOBAL SYSTEM): Not analyzed*

---

**Incorrect section !!!**

IV - Barra nº164 (SHS 120x5) – Dimensionamento

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 164 Diagonais\_24\_DEFAULT\_NAME\_XXX

POINT: 18

COORDINATE: x = 0.71 L = 2.69 m

LOADS:

Governing Load Case: 81 ULS:STD/151=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+5\*0.54+9\*1.50+12\*0.90 (1+2+192+194)\*1.35+(5+182+184)\*0.54+9\*1.50+12\*0.90

MATERIAL:

S 275 ( S 275 ) fy = 275.0000 MPa



SECTION PARAMETERS: SHSH 120x120x5

h=12.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.10	
b=12.0 cm	Ay=11.35 cm <sup>2</sup>	Az=11.35 cm <sup>2</sup>	Ax=22.70 cm <sup>2</sup>
tw=0.5 cm	Iy=498.00 cm <sup>4</sup>	Iz=498.00 cm <sup>4</sup>	Ix=777.00 cm <sup>4</sup>
tf=0.5 cm	Wply=97.60 cm <sup>3</sup>	Wplz=97.60 cm <sup>3</sup>	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N <sub>Ed</sub> = 198.6083 kN	My <sub>Ed</sub> = 5.3430 kN*m	Mz <sub>Ed</sub> = -0.2684 kN*m	Vy <sub>Ed</sub> = -0.1423 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 624.2500 kN	My <sub>Ed,max</sub> = 6.4655 kN*m		Mz <sub>Ed,max</sub> = -0.3248 kN*m
	Vy <sub>c,Rd</sub> = 180.2055 kN		
Nb <sub>Rd</sub> = 402.9809 kN	My <sub>c,Rd</sub> = 26.8400 kN*m	Mz <sub>c,Rd</sub> = 26.8400 kN*m	Vz <sub>Ed</sub> = -2.8324 kN
	MN <sub>y,Rd</sub> = 23.9439 kN*m	MN <sub>z,Rd</sub> = 23.9439 kN*m	Vz <sub>c,Rd</sub> = 180.2055 kN
	Mb <sub>Rd</sub> = 24.4000 kN*m		

Class of section = 1



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

z = 1.00	Mcr = 962.4973 kN*m	Curve,LT - d	XLT = 1.00
Lcr,upp=2.85 m	Lam_LT = 0.17	fi,LT = 0.50	

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

Ly = 3.80 m	Lam_y = 0.94
Lcr,y = 3.80 m	Xy = 0.71
Lamy = 81.23	kyy = 1.29



About z axis:

Lz = 3.80 m	Lam_z = 0.94
Lcr,z = 3.80 m	Xz = 0.71
Lamz = 81.23	kyz = 0.78

Torsional buckling:

Curve,T=a	alfa,T=0.21
Lt=2.85 m	fi,T=0.49
Ncr,T=140336.0485 kN	X,T=1.00
Lam_T=0.07	Nb,T,Rd=567.5000 kN

Flexural-torsional buckling

Curve,TF=a	alfa,TF=0.21
Ncr,y=713.1154 kN	fi,TF=0.49
Ncr,TF=140336.0485 kN	X,TF=1.00
Lam_TF=0.07	Nb,TF,Rd=567.5000 kN

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.32 < 1.00$ (6.2.4.(1))
$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{1.87} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.87} = 0.06 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))
$V_{y,Ed}/V_{y,c,Rd} = 0.00 < 1.00$ (6.2.6.(1))
$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.02 < 1.00$ (6.2.6.(1))

ANEXO V – RELATÓRIOS DO “ROBOT” E DAS FOLHAS DE CÁLCULO EM  
“EXCEL” UTILIZADAS NO DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS METÁLICOS

---

*Global stability check of member:*

$\Lambda_{y} = 81.23 < \Lambda_{max} = 210.00$        $\Lambda_{z} = 81.23 < \Lambda_{max} = 210.00$       STABLE

$N_{Ed}/\text{Min}(N_{b,Rd}, N_{t,Rd}, N_{tF,Rd}) = 0.49 < 1.00$  (6.3.1)

$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.26 < 1.00$  (6.3.2.1.(1))

$N_{Ed}/(X_{y} \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.85 < 1.00$   
(6.3.3.(4))

$N_{Ed}/(X_{z} \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.72 < 1.00$   
(6.3.3.(4))

---

**LIMIT DISPLACEMENTS**



*Deflections (LOCAL SYSTEM):*

$u_z = 1.4 \text{ cm} < u_{z,max} = L/250.00 = 1.5 \text{ cm}$       Verified

*Governing Load Case:* 212 SLS:CHR/42=1\*1.00 + 2\*1.00 + 5\*1.00 + 9\*0.30 + 11\*0.60 (1+2+5+191+181+193+183)\*1.00+9\*0.30+11\*0.60

$u_{inst,z} = 1.2 \text{ cm} < u_{inst,max,z} = L/300.00 = 1.3 \text{ cm}$       Verified

*Governing Load Case:* 1\*5 + 0.3\*9 + 0.6\*11



*Displacements (GLOBAL SYSTEM): Not analyzed*

---

**Section OK !!!**

IV - Barra nº164 (SHS 120x4) – Dimensionamento pela Tabela de Cálculo

**VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES E DA BARRA**  
EC3-1-1 - Tabelas de verificação para secções e elementos laminados

Eurocód.	$\gamma_{M0}$	$\gamma_{M1}$	$\gamma_{M2}$	Coef. $L_{cr,y}$	Coef. $L_{cr,z}$	Coef. $L_{cr,T}$
Pt 3-2	1,00	1,10	1,25	0,75	0,75	0,75

Nº Barra	Material	Secção	E	$f_y$	G	L
164	S 275	SHSH 120x120x4	kPa	kPa	kPa	m
			2,10E+08	2,75E+05	8,10E+07	3,804

h	b	$t_w$	$t_f$	r	Area	PP
m	m	m	m	m	m <sup>2</sup>	kN/m
0,120	0,120	0,0040	0,0040	0,004	1,84E-03	0,141

$I_y$	$W_{el,y}$	$W_{pl,y}$	$i_y$ (m)	$I_z$	$W_{el,z}$	$W_{pl,z}$	$i_z$ (m)
m <sup>4</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m	m <sup>4</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m
4,10E-06	6,83E-05	7,97E-05	0,047	4,100E-06	6,83E-05	7,97E-05	0,047

$A_{vy}$	$A_{vz}$	$I_T$	$I_w$	$Y_s$	$Z_s$	$Y_m$	$Z_m$
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>4</sup>	m <sup>6</sup>	m	m	m	m
9,20E-04	9,20E-04	6,35E-06	0,00E+00	0,060	0,060	0	0

$i_0^2$	$\epsilon$	$\beta$	$\eta$	$L_{cr,y}$	$L_{cr,z}$	$L_{cr,T}$
m <sup>2</sup>	0,92	1,000	1,0	m	m	m
0,0045				2,85	2,85	2,85

Classe da Secção (Solicitado á Compressão)			
Secção SHS ou RHS	banzo	c/t	26,00
	alma	c/t	26,00
			Classe 1

Esforços Resistentes da Secção	$N_{pl,Rd}$ (kN)	506,00	Robot	506,00	Rácio	1,00
	$V_{y,pl,Rd}$ (kN)	146,07		146,07		1,00
	$V_{z,pl,Rd}$ (kN)	146,07		146,07		1,00
	$M_{y,pl,Rd}$ (kN.m)	21,92		21,92		1,00
	$M_{z,pl,Rd}$ (kN.m)	21,92		21,92		1,00
	$M_{y,el,Rd}$ (kN.m)	18,79		18,79		1,00
	$M_{z,el,Rd}$ (kN.m)	18,79		18,79		1,00
	$T_{rd}$ (kN.m)	17,09		---		---

$T_{t,Rd}$	$T_{w,Rd}$	$T_{Rd}$	Verificação ao Transverso $hw/tw > 72\epsilon/\eta$
kN.m	kN.m	kN.m	
17,09	0,00	17,09	

Resistencia a Encurvadura por Compressão (Varejamento)							
Eixo Y-Y		Eixo Z-Z		Torção -		Flexão/torção	
$\alpha_y$	0,21	$\alpha_z$	0,21	$\alpha_z$	0,21	$\alpha_z$	0,21
Ncr (kN)	1043,74	Ncr (kN)	1043,74	Ncr,T (kN)	115415,12	Ncr,FT (kN)	1043,74
$\lambda'_y$	0,70	$\lambda'_z$	0,70	$\lambda'_T$	0,07	$\lambda'_{FT}$	0,70
$\Phi_y$	0,79	$\Phi_z$	0,79	$\Phi_T$	0,49	$\Phi_{FT}$	0,79
$\chi_y$	0,85	$\chi_z$	0,85	$\chi_T$	1,03	$\chi_{FT}$	0,85
$N_{y,b,Rd}$ (kN)	390,76	$N_{z,b,Rd}$ (kN)	390,76	$N_{T,b,Rd}$ (kN)	473,36	$N_{FT,b,Rd}$ (kN)	390,76
<b><math>N_{b,Rd}</math> (kN)</b>	<b>390,76</b>						
Robot	390,76						
Rácio	1,00						

Resistencia a Encurvadura por Flexão (Bambeamento)						Mcr (*)
Eixo Y-Y						Formula
C1	1,132	Zj (m)	0,000	$\lambda'_{LT}$	0,163	---
C2		Zg (m)	0,060	$\alpha_{LT}$	0,76	
C3		Za (m)	0,060	$\Phi_{LT}$	0,499	
K	1	Zs (m)	0,000	$\chi_{LT}$	1,000	Robot
Kw	1	<b>Mcr</b>	<b>829,41</b>	$M_{b,Rd}$ (kN.m)	<b>19,93</b>	Rácio
						19,93
						1,00

Eixo Y-Y	Diagrama	Carga
Eixo Y-Y	Parabólico	Uniforme
Eixo Z-Z	Linear	Uniforme
Torção	Considerar Torção	

Legenda:

- Valores a preencher
- Valores "chave"
- Valores a verificar
- Verifica a esbelteza ( $\lambda' < 0.2$ )
- NA Não Aplicável

(\*) Valor determinado pelo LTbeamN ou pela Fórmula do Mcr da norma ENV 1993-1-1

**VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES E DA BARRA**

EC3-1-1 - Tabelas de verificação para secções e elementos laminados

Combinação e Secção a Verificar	65 (C)/ 164/ 18/25
---------------------------------	--------------------

Combinação do Elemento a Verificar	65
------------------------------------	----

Esforços Atuantes na Secção	N <sub>Ed</sub> (kN)	69,19
	V <sub>ed,y</sub> (kN)	-0,36
	V <sub>ed,z</sub> (kN)	-5,85
	M <sub>Ed,x</sub> (kN.m)	0,00
	M <sub>Ed,y</sub> (kN.m)	11,03
	M <sub>Ed,z</sub> (kN.m)	-0,67

**Legenda:**  
 Verifica  
 Não Verifica

Esforços de Cálculo na Barra	N <sub>Ed</sub> <sup>Max</sup> (kN)	69,70
	V <sub>ed,y</sub> <sup>Max</sup> (kN)	0,85
	V <sub>ed,z</sub> <sup>Max</sup> (kN)	14,04
	M <sub>Ed,x</sub> <sup>Max</sup> (kN.m)	0,00
	M <sub>Ed,y</sub> <sup>Max</sup> (kN.m)	13,35
	M <sub>Ed,z</sub> <sup>Max</sup> (kN.m)	0,81

**Legenda:**  
 Verifica  
 Não Verifica

Verificação da Resistência (Secção)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Esforço Axial (N)	N <sub>Ed</sub> / N <sub>pl,Rd</sub>	0,14	0,14	0,99
Esforço Transverso (V)	V <sub>y,Ed</sub> / V <sub>y,pl,Rd</sub>	0,00	0,00	0,00
	V <sub>z,Ed</sub> / V <sub>z,pl,Rd</sub>	0,04	0,04	1,00
Momento Fletor (M)	M <sub>y,Ed</sub> / M <sub>pl,Rd</sub>	0,50	---	---
	M <sub>z,Ed</sub> / M <sub>pl,Rd</sub>	0,03	---	---
Torção (M <sub>x</sub> )	M <sub>x,Ed</sub> / T <sub>Rd</sub>	0,00	---	---
Torção Uniforme (St. Venant)	t <sub>t,Ed,y</sub> (kPa)	0,00	---	---
	t <sub>t,Ed,z</sub> (kPa)	0,00	---	---
Torção Não Uniforme	t <sub>w,Ed</sub> (kPa)	NA	---	---
Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+T)	V <sub>pl,y,T,rd</sub> (kN)	146,07	---	---
	V <sub>ed,y</sub> / V <sub>pl,y,T,rd</sub>	0,00	---	---
	V <sub>pl,z,T,rd</sub> (kN)	146,07	---	---
	V <sub>ed,z</sub> / V <sub>pl,z,T,rd</sub>	0,04	---	---
Flexão com Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+M+T)	ρ <sub>y</sub>	0,00	---	---
	ρ <sub>z</sub>	0,00	---	---
	M <sub>y,pl,Rd</sub> (kN)	21,92	---	---
	M <sub>Ed,y</sub> / M <sub>y,pl,Rd</sub>	0,50	---	---
	M <sub>z,pl,Rd</sub> (kN)	21,92	---	---
Flexão Composta com Esforço Transverso (N+V+M)	M <sub>Ed,z</sub> / M <sub>z,pl,Rd</sub>	0,03	---	---
	n	0,14	---	---
	a <sub>w</sub> ou a	0,48	---	---
	a <sub>f</sub>	0,48	---	---
	ρ <sub>y</sub>	0,00	---	---
	ρ <sub>z</sub>	0,00	---	---
	M <sub>N,y,rd</sub>	21,92	21,92	1,00
	M <sub>Ed,y</sub> / M <sub>N,y,rd</sub>	0,50	---	---
M <sub>N,z,rd</sub>	21,92	21,92	1,00	
M <sub>Ed,z</sub> / M <sub>N,z,rd</sub>	0,03	---	---	
Flexão Desviada (N+My+Mz)	α	1,66	1,70	0,98
	β	1,66	1,70	0,98
	Flex. Comp.	0,32	0,31	1,02

Verificação da Encurvadura (Barra)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Elemento Uniforme Comprimido (N)	N <sub>Ed</sub> / N <sub>b,Rd</sub>	0,18	0,18	0,99
Elemento Uniforme em Flexão (M)	M <sub>Ed,y</sub> / M <sub>b,Rd</sub>	0,67	0,67	1,0
Elemento Uniforme em Flexão Composta com Compressão (N+M) (Anexo B do EC3-1-1)	M <sub>h(y-y)</sub>	0,00	---	---
	ψ M <sub>h(y-y)</sub>	0,00	---	---
	M <sub>s(y-y)</sub>	13,35	---	---
	ψ(y-y)	0,00	---	---
	α <sub>s</sub> = M <sub>s</sub> / M <sub>h</sub> (y-y)	---	---	---
	α <sub>h</sub> = M <sub>h</sub> / M <sub>s</sub> (y-y)	0,00	---	---
	C <sub>my</sub>	0,95	0,95	1,00
	M <sub>h(z-z)</sub>	0,00	---	---
	ψ M <sub>h(z-z)</sub>	0,00	---	---
	M <sub>s(z-z)</sub>	-0,81	---	---
	ψ(z-z)	0,00	---	---
	α <sub>s</sub> = M <sub>s</sub> / M <sub>h</sub> (z-z)	---	---	---
	α <sub>h</sub> = M <sub>h</sub> / M <sub>s</sub> (z-z)	0,00	---	---
	C <sub>mz</sub>	0,60	0,95	0,63
	M <sub>h</sub>	10,01	---	---
	ψ M <sub>h</sub>	0,00	---	---
	M <sub>s</sub>	11,87	---	---
ψ	0,00	---	---	
α <sub>s</sub> = M <sub>s</sub> / M <sub>h</sub>	1,19	---	---	
α <sub>h</sub> = M <sub>h</sub> / M <sub>s</sub>	0,84	---	---	
C <sub>mLT</sub>	0,99	0,99	1,00	
K <sub>yy</sub>	1,03	1,03	1,00	
K <sub>yz</sub>	0,39	0,62	0,63	
K <sub>zy</sub>	0,62	0,62	1,00	
K <sub>zz</sub>	0,65	1,03	0,63	
Condição (6.61)	0,89	0,89	1,00	
Condição (6.62)	0,62	0,63	0,99	

**V - Barra nº194 (IPE180) – Dimensionamento**

**STEEL DESIGN**

CODE: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*

ANALYSIS TYPE: *Member Verification*

CODE GROUP:

MEMBER: *194 194\_barra com degraus\_DEFAULT\_NAME\_XXX* POINT: *1* COORDINATE: *x = 0.00 L = 0.00 m*

LOADS:

*Governing Load Case: 45 ULS:STD/27=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+6\*1.35+8\*0.45+12\*0.90 (1+2+6)\*1.35+8\*0.45+12\*0.90+(191+171+193+173)\*1.35*

MATERIAL:

S 275 ( S 275 )  $f_y = 275.0000$  MPa



SECTION PARAMETERS: IPE 180

$h=18.0$ cm	$gM0=1.00$	$gM1=1.10$	
$b=9.1$ cm	$A_y=16.21$ cm <sup>2</sup>	$A_z=11.25$ cm <sup>2</sup>	$A_x=23.95$ cm <sup>2</sup>
$t_w=0.5$ cm	$I_y=1316.96$ cm <sup>4</sup>	$I_z=100.85$ cm <sup>4</sup>	$I_x=4.90$ cm <sup>4</sup>
$t_f=0.8$ cm	$W_{ply}=166.42$ cm <sup>3</sup>	$W_{plz}=34.60$ cm <sup>3</sup>	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

$N_{,Ed} = 113.8107$ kN	$M_{y,Ed} = 31.1400$ kN*m	$M_{z,Ed} = -0.1936$ kN*m	$V_{y,Ed} = -0.1683$ kN
$N_{c,Rd} = 658.5507$ kN	$M_{y,Ed,max} = 31.1400$ kN*m		$M_{z,Ed,max} = -0.1936$ kN*m
	$V_{y,c,Rd} = 257.3572$ kN		
$N_{b,Rd} = 598.6825$ kN	$M_{y,c,Rd} = 45.7666$ kN*m	$M_{z,c,Rd} = 9.5151$ kN*m	$V_{z,Ed} = -26.9383$ kN
	$MN_{,y,Rd} = 45.7666$ kN*m	$MN_{,z,Rd} = 9.5151$ kN*m	$V_{z,c,Rd} = 178.6384$ kN
	$M_b,Rd = 41.6060$ kN*m		

Class of section = 1



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

$z = 0.00$	$M_{cr} = 3281.7594$ kN*m	Curve,LT - a	XLT = 1.00
$L_{cr,upp}=0.25$ m	$Lam_{LT} = 0.12$	$fi_{LT} = 0.50$	

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

$L_y = 1.15$ m	$Lam_y = 0.04$
$L_{cr,y} = 0.25$ m	$X_y = 1.00$
$Lam_y = 3.37$	$k_{yy} = 0.91$



About z axis:

$L_z = 1.15$ m	$Lam_z = 0.14$
$L_{cr,z} = 0.25$ m	$X_z = 1.00$
$Lam_z = 12.18$	$k_{yz} = 0.55$

Torsional buckling:

Curve,T=b	$alfa,T=0.34$
$L_t=1.15$ m	$fi,T=0.68$
$N_{cr,T}=2642.8658$ kN	$X,T=0.88$
$Lam_T=0.50$	$N_{b,T,Rd}=529.5816$ kN

Flexural-torsional buckling

Curve,TF=b	$alfa,TF=0.34$
$N_{cr,y}=436728.5735$ kN	$fi,TF=0.68$
$N_{cr,TF}=2642.8658$ kN	$X,TF=0.88$
$Lam_{TF}=0.50$	$N_{b,TF,Rd}=529.5816$ kN

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$N_{,Ed}/N_{c,Rd} = 0.17 < 1.00$  (6.2.4.(1))  
 $M_{y,Ed}/MN_{,y,Rd} = 0.68 < 1.00$  (6.2.9.1.(2))  
 $M_{z,Ed}/MN_{,z,Rd} = 0.02 < 1.00$  (6.2.9.1.(2))  
 $(M_{y,Ed}/MN_{,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/MN_{,z,Rd})^{1.00} = 0.48 < 1.00$  (6.2.9.1.(6))

ANEXO V – RELATÓRIOS DO “ROBOT” E DAS FOLHAS DE CÁLCULO EM  
“EXCEL” UTILIZADAS NO DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS METÁLICOS

---

$$V_{y,Ed}/V_{y,c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.15 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

*Global stability check of member:*

$$\Lambda_{b,y} = 3.37 < \Lambda_{b,max} = 210.00 \quad \Lambda_{b,z} = 12.18 < \Lambda_{b,max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed}/\text{Min}(N_{b,Rd}, N_{t,Rd}, N_{b,TF,Rd}) = 0.21 < 1.00 \quad (6.3.1)$$

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.75 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.89 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.62 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

---

#### LIMIT DISPLACEMENTS



*Deflections (LOCAL SYSTEM):*

$$u_z = 0.1 \text{ cm} < u_{z,max} = L/250.00 = 0.5 \text{ cm}$$

Verified

$$\text{Governing Load Case: } 201 \text{ SLS: CHR/14} = 1 \cdot 1.00 + 2 \cdot 1.00 + 6 \cdot 1.00 + 8 \cdot 0.30 + 12 \cdot 0.60 \quad (1+2+6) \cdot 1.00 + 8 \cdot 0.30 + 12 \cdot 0.60 + (191+171+193+173) \cdot -1.00$$

$$u_{inst,z} = 0.0 \text{ cm} < u_{inst,max,z} = L/300.00 = 0.4 \text{ cm}$$

Verified

$$\text{Governing Load Case: } 1 \cdot 6 + 0.6 \cdot 12 + 0.3 \cdot 8$$



*Displacements (GLOBAL SYSTEM): Not analyzed*

---

**Section OK !!!**

V - Folha de Cálculo em Barra nº194 (IPE180) – Dimensionamento pela Tabela de Cálculo

**VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES E DA BARRA**  
EC3-1-1 - Tabelas de verificação para secções e elementos laminados

Eurocód.	$\gamma_{M0}$	$\gamma_{M1}$	$\gamma_{M2}$
Pt 3-2	1,00	1,10	1,25

Coef. $L_{cr,y}$	Coef. $L_{cr,z}$	Coef. $L_{cr,T}$
0,20	0,20	0,20

Nº Barra	Material	Secção	E	$f_y$	G	L
194	S 275	IPE 180	2,10E+08	2,75E+05	8,10E+07	1,150

h	b	$t_w$	$t_f$	r	Area	PP
0,180	0,091	0,0053	0,0080	0,009	2,39E-03	0,184

$I_y$	$W_{el,y}$	$W_{pl,y}$	$i_y$ (m)	$I_z$	$W_{el,z}$	$W_{pl,z}$	$i_z$ (m)
1,32E-05	1,46E-04	1,66E-04	0,074	1,009E-06	2,22E-05	3,46E-05	0,021

$A_{vy}$	$A_{vz}$	$I_T$	$I_w$	$Y_s$	$Z_s$	$Y_m$	$Z_m$
1,62E-03	1,13E-03	4,90E-08	7,43E-09	0,046	0,090	0,09	0

$i_0^2$	$\epsilon$	$\beta$	$\eta$
0,0140	0,92	0,422	1,0

$L_{cr,y}$	$L_{cr,z}$	$L_{cr,T}$
0,25	0,25	0,25

Classe da Secção (Solicitado á Compressão)			
Secção I	banzo	c/t	4,23
	alma	c/t	27,55

Esforços Resistentes da Secção	$N_{pl,Rd}$ (kN)	658,55	658,55	1,00
	$V_{y,pl,Rd}$ (kN)	257,36	257,35	1,00
	$V_{z,pl,Rd}$ (kN)	178,64	178,63	1,00
	$M_{y,pl,Rd}$ (kN.m)	45,77	45,76	1,00
	$M_{z,pl,Rd}$ (kN.m)	9,52	9,52	1,00
	$M_{y,el,Rd}$ (kN.m)	40,24	40,24	1,00
	$M_{z,el,Rd}$ (kN.m)	6,10	6,10	1,00
	$T_{rd}$ (kN.m)	4,11	---	---

$T_{t,Rd}$	$T_{w,Rd}$	$T_{Rd}$
0,97	3,13	4,11

Verificação ao Transverso
$hw/t_w > 72\epsilon/\eta$
Verifica

Resistencia a Encurvadura por Compressão (Varejamento)							
Eixo Y-Y		Eixo Z-Z		Torção -		Flexão/torção	
$\alpha_y$	0,21	$\alpha_z$	0,34	$\alpha_z$	0,34	$\alpha_z$	0,34
Ncr (kN)	436728,57	Ncr (kN)	33443,75	Ncr,T (kN)	17859,64	Ncr,FT (kN)	17440,53
$\lambda'_y$	0,04	$\lambda'_z$	0,14	$\lambda'_T$	0,19	$\lambda'_{FT}$	0,19
$\Phi_y$	0,48	$\Phi_z$	0,50	$\Phi_T$	0,52	$\Phi_{FT}$	0,52
$\chi_y$	1,04	$\chi_z$	1,02	$\chi_T$	1,00	$\chi_{FT}$	1,00
$N_{y,b,Rd}$ (kN)	619,69	$N_{z,b,Rd}$ (kN)	611,34	$N_{T,b,Rd}$ (kN)	600,37	$N_{FT,b,Rd}$ (kN)	599,89
<b><math>N_{b,Rd}</math> (kN)</b>	<b>599,89</b>						
Robot	598,68						
Rácio	1,00						

Resistencia a Encurvadura por Flexão (Bambeamento)						Mcr (*)
Eixo Y-Y						Formula
C1	1,132	Zj (m)	0,000	$\lambda'_{LT}$	0,12	---
C2		Zg (m)	0,090	$\alpha_{LT}$	0,21	
C3		Za (m)	0,090	$\Phi_{LT}$	0,50	
K	1	Zs (m)	0,000	$\chi_{LT}$	1,00	Robot
Kw	1	<b>Mcr</b>	<b>3275,84</b>	$M_{b,Rd}$ (kN.m)	<b>41,61</b>	Rácio
						41,60
						1,00

	Diagrama	Carga
Eixo Y-Y	Parabólico	Uniforme
Eixo Z-Z	Linear	Uniforme
Torção	Desprezar Torção	

Legenda:

- Valores a preencher
- Valores "chave"
- Valores a verificar
- Verifica a esbelteza ( $\lambda' < 0.2$ )
- NA Não Aplicável

(\*) Valor determinado pelo LTbeamN ou pela Fórmula do Mcr da norma ENV 1993-1-1

**VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS SECÇÕES E DA BARRA**

EC3-1-1 - Tabelas de verificação para secções e elementos laminados

Combinação e Secção a Verificar	45 (C)/ 194/ 124
---------------------------------	------------------

Combinação do Elemento a Verificar	45
------------------------------------	----

Esforços Atuantes na Secção	N <sub>Ed</sub> (kN)	113,81
	V <sub>Ed,Y</sub> (kN)	-0,17
	V <sub>Ed,Z</sub> (kN)	-26,94
	M <sub>Ed,X</sub> (kN.m)	0,00
	M <sub>Ed,Y</sub> (kN.m)	31,14
	M <sub>Ed,Z</sub> (kN.m)	-0,19

**Legenda:**  
 Verifica  
 Não Verifica

Esforços de Cálculo na Barra	N <sub>Ed</sub> <sup>Max</sup> (kN)	113,81
	V <sub>Ed,Y</sub> <sup>Max</sup> (kN)	0,17
	V <sub>Ed,Z</sub> <sup>Max</sup> (kN)	27,20
	M <sub>Ed,X</sub> <sup>Max</sup> (kN.m)	0,00
	M <sub>Ed,Y</sub> <sup>Max</sup> (kN.m)	31,14
	M <sub>Ed,Z</sub> <sup>Max</sup> (kN.m)	0,19

**Legenda:**  
 Verifica  
 Não Verifica

Verificação da Resistência (Secção)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Esforço Axial (N)	N <sub>Ed</sub> / N <sub>pl,Rd</sub>	0,17	0,17	1,02
Esforço Transverso (V)	V <sub>y,Ed</sub> / V <sub>y,pl,Rd</sub>	0,00	0	0,00
	V <sub>z,Ed</sub> / V <sub>z,pl,Rd</sub>	0,15	---	---
Momento Fletor (M)	M <sub>y,Ed</sub> / M <sub>pl,Rd</sub>	0,68	---	---
	M <sub>z,Ed</sub> / M <sub>pl,Rd</sub>	0,02	---	---
Torção (M <sub>x</sub> )	M <sub>x,Ed</sub> / T <sub>Rd</sub>	0,00	---	---
Torção Uniforme (St. Venant)	t <sub>t,Ed,y</sub> (kPa)	0,00	---	---
	t <sub>t,Ed,z</sub> (kPa)	0,00	---	---
Torção Não Uniforme	t <sub>w,Ed</sub> (kPa)	NA	---	---
Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+T)	V <sub>pl,y,T,rd</sub> (kN)	257,36	249,71	1,03
	V <sub>Ed,y</sub> / V <sub>pl,y,T,rd</sub>	0,00	0,00	1,00
	V <sub>pl,z,T,rd</sub> (kN)	178,64	175,14	1,02
	V <sub>Ed,z</sub> / V <sub>pl,z,T,rd</sub>	0,15	0,15	1,02
Flexão com Esforço Transverso minorado tendo em conta a Torção (V+M+T)	ρ <sub>y</sub>	0,00	---	---
	ρ <sub>z</sub>	0,00	---	---
	M <sub>y,pl,Rd</sub> (kN)	45,77	45,77	1,00
	M <sub>Ed,y</sub> / M <sub>y,pl,Rd</sub>	0,68	0,68	1,00
	M <sub>z,pl,Rd</sub> (kN)	9,52	9,515	1,00
M <sub>Ed,z</sub> / M <sub>z,pl,Rd</sub>	0,02	---	---	
Flexão Composta com Esforço Transverso (N+V+M)	n	0,17	---	---
	a <sub>w</sub> ou a	0,39	---	---
	a <sub>f</sub>	NA	---	---
	ρ <sub>y</sub>	0,00	---	---
	ρ <sub>z</sub>	0,00	---	---
	M <sub>N,y,rd</sub>	45,77	45,766	1,00
	M <sub>Ed,y</sub> / M <sub>N,y,rd</sub>	0,68	---	---
	M <sub>N,z,rd</sub>	9,52	9,52	1,00
	M <sub>Ed,z</sub> / M <sub>N,z,rd</sub>	0,02	---	---
Flexão Desviada (N+My+Mz)	α	2,00	2,00	1,00
	β	1,00	1,00	1,00
	Flex. Comp.	0,48	0,48	1,01

Verificação da Encurvadura (Barra)		Resultado		
Dados de Cálculo		Excel	Robot	Rácios
Elemento Uniforme Comprimido (N)	N <sub>Ed</sub> / N <sub>b,Rd</sub>	0,19	0,21	0,90
Elemento Uniforme em Flexão (M)	M <sub>Ed,y</sub> / M <sub>b,Rd</sub>	0,75	0,75	1,0
Elemento Uniforme em Flexão Composta com Compressão (N+M) (Anexo B do EC3-1-1)	M <sub>h(y-y)</sub>	31,14	---	---
	ψ M <sub>h(y-y)</sub>	25,97	---	---
	M <sub>s(y-y)</sub>	28,56	---	---
	ψ(y-y)	0,83	---	---
	α <sub>s</sub> = M <sub>s</sub> / M <sub>h(y-y)</sub>	0,92	---	---
	α <sub>h</sub> = M <sub>h</sub> / M <sub>s(y-y)</sub>	1,09	---	---
	C <sub>my</sub>	0,93	0,91	1,03
	M <sub>h(z-z)</sub>	-0,19	---	---
	ψ M <sub>h(z-z)</sub>	-0,16	---	---
	M <sub>s(z-z)</sub>	-0,18	---	---
	ψ(z-z)	0,83	---	---
	α <sub>s</sub> = M <sub>s</sub> / M <sub>h(z-z)</sub>	0,92	---	---
	α <sub>h</sub> = M <sub>h</sub> / M <sub>s(z-z)</sub>	1,09	---	---
	C <sub>mz</sub>	0,93	0,91	1,03
	M <sub>h</sub>	31,14	---	---
	ψ M <sub>h</sub>	25,97	---	---
	M <sub>s</sub>	28,56	---	---
	ψ	0,83	---	---
	α <sub>s</sub> = M <sub>s</sub> / M <sub>h</sub>	0,92	---	---
	α <sub>h</sub> = M <sub>h</sub> / M <sub>s</sub>	1,09	---	---
C <sub>mLT</sub>	0,93	0,91	1,03	
K <sub>yy</sub>	0,91	0,91	1,00	
K <sub>yz</sub>	0,53	0,55	0,96	
K <sub>zy</sub>	0,54	0,55	0,99	
K <sub>zz</sub>	0,88	0,91	0,96	
Condição (6.61)	0,87	0,89	0,98	
Condição (6.62)	0,61	0,62	0,99	

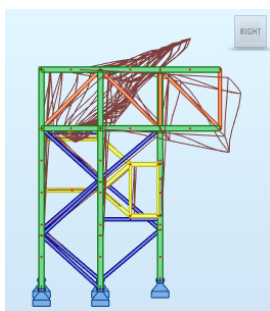
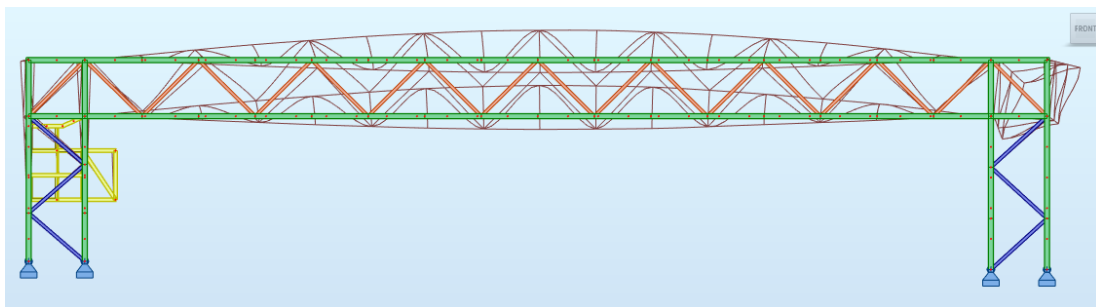
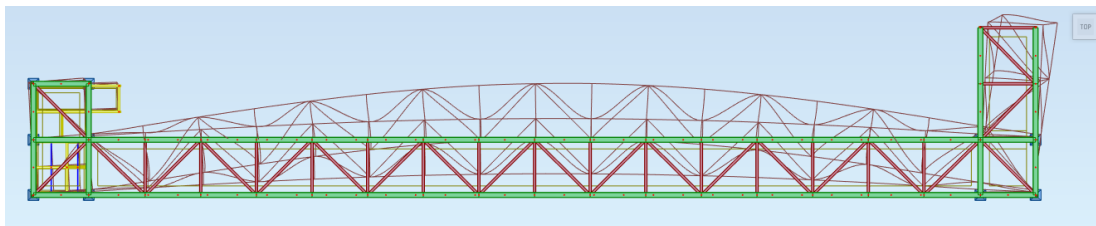
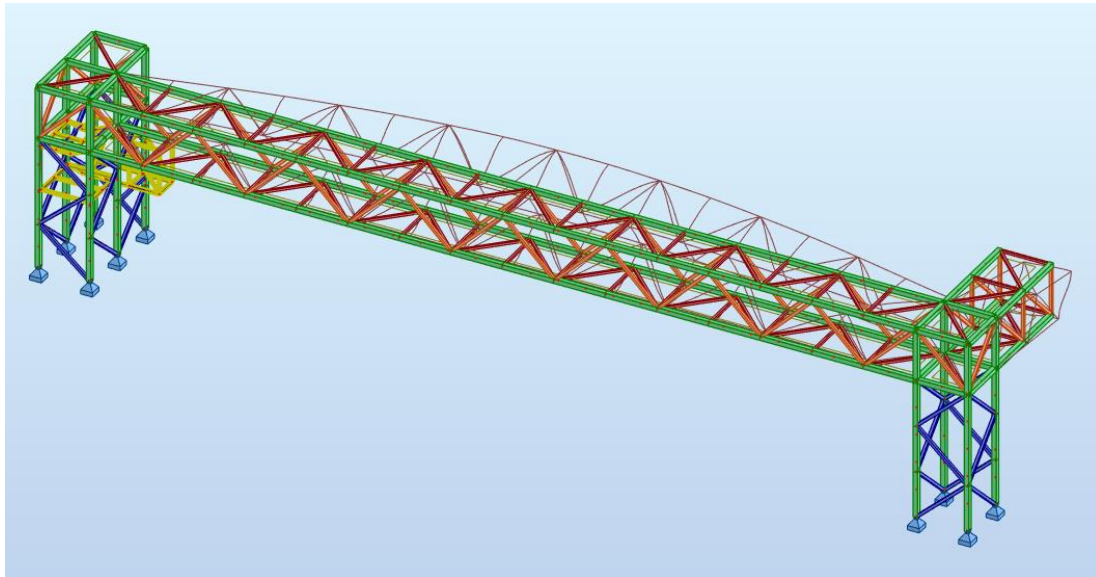
ANEXO VI

DEFORMADAS DOS MODOS DE VIBRAÇÃO

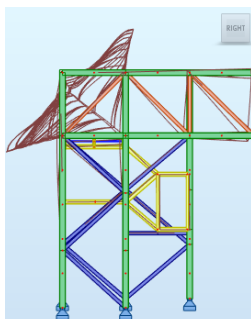
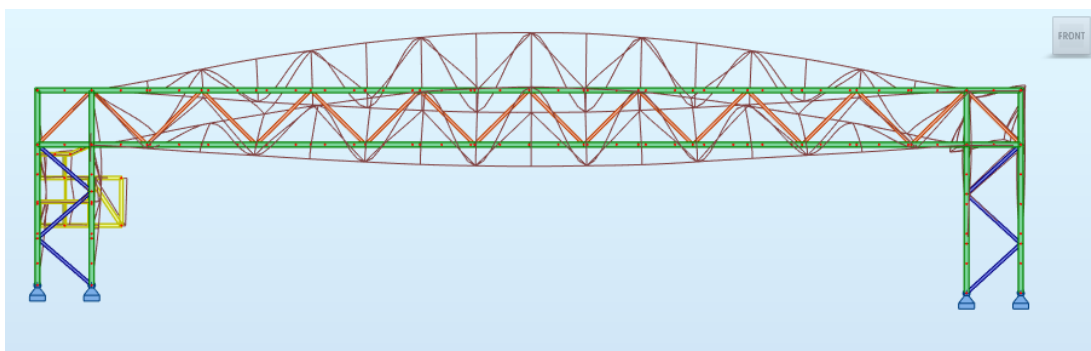
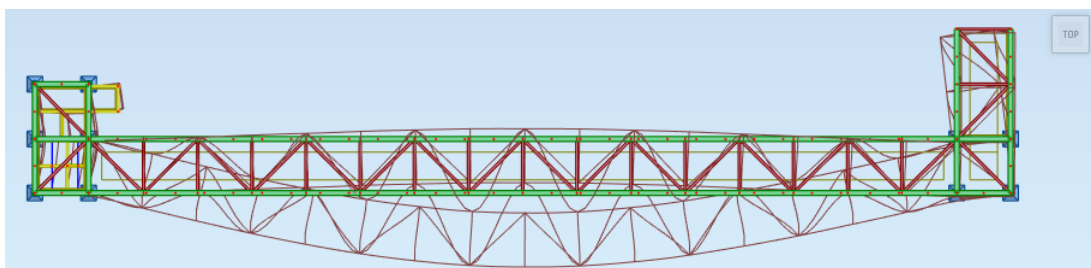
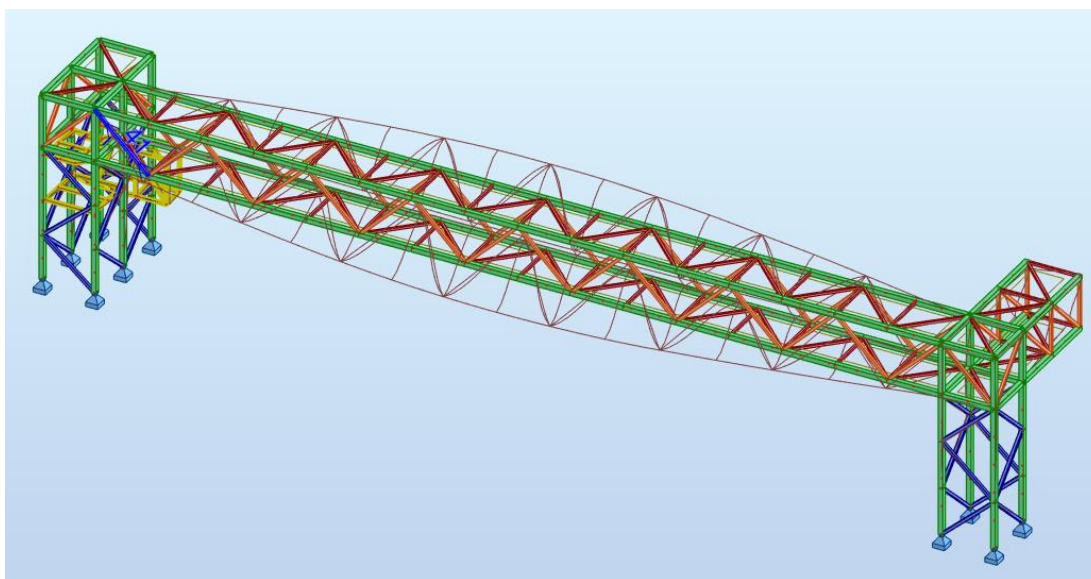


Nas figuras seguintes mostram-se as deformadas dos modos de vibração excluindo a massa dos peões.

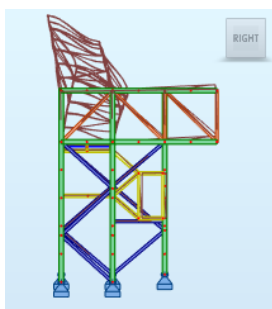
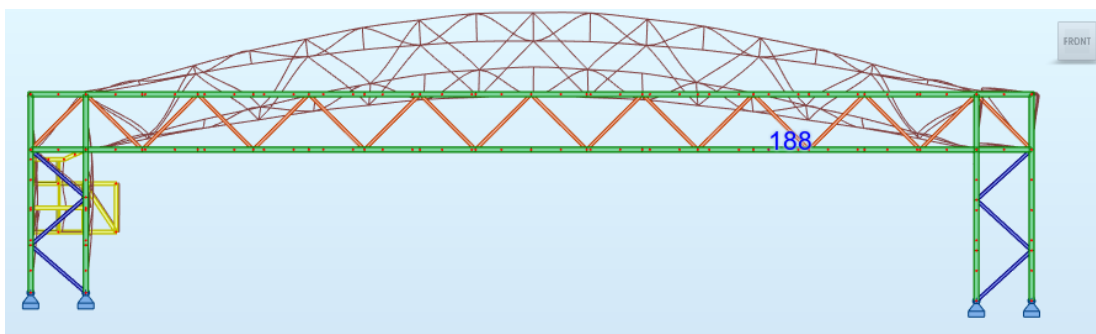
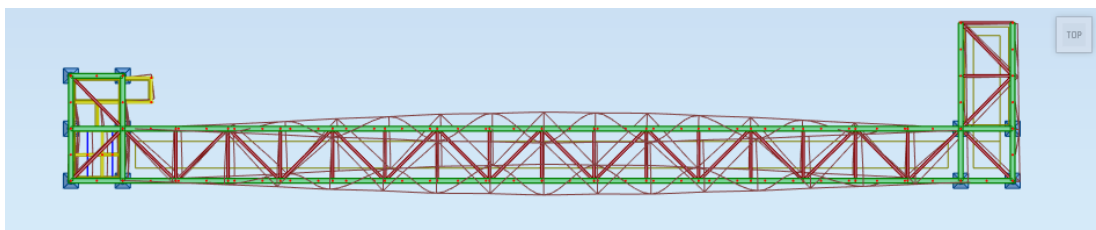
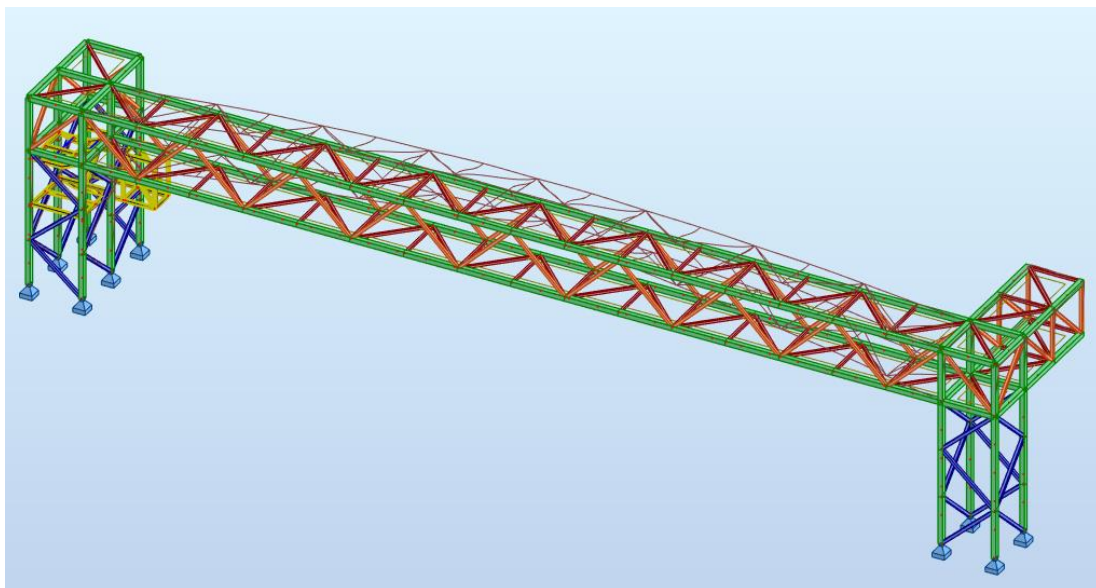
**Modo de Vibração 1 (2.5 Hz)**



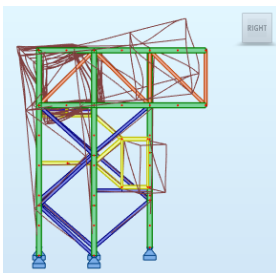
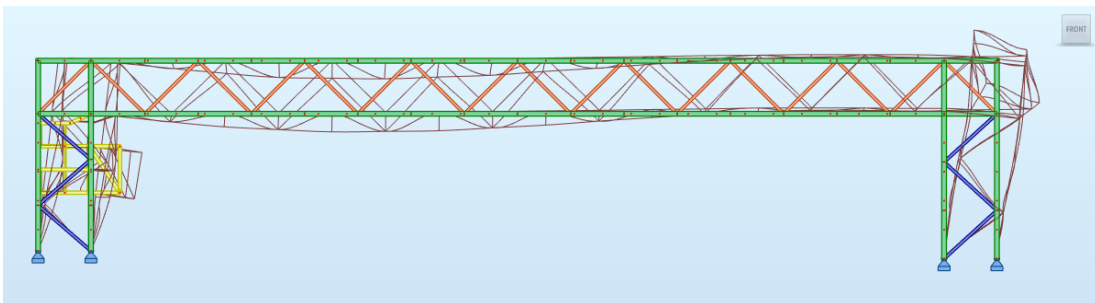
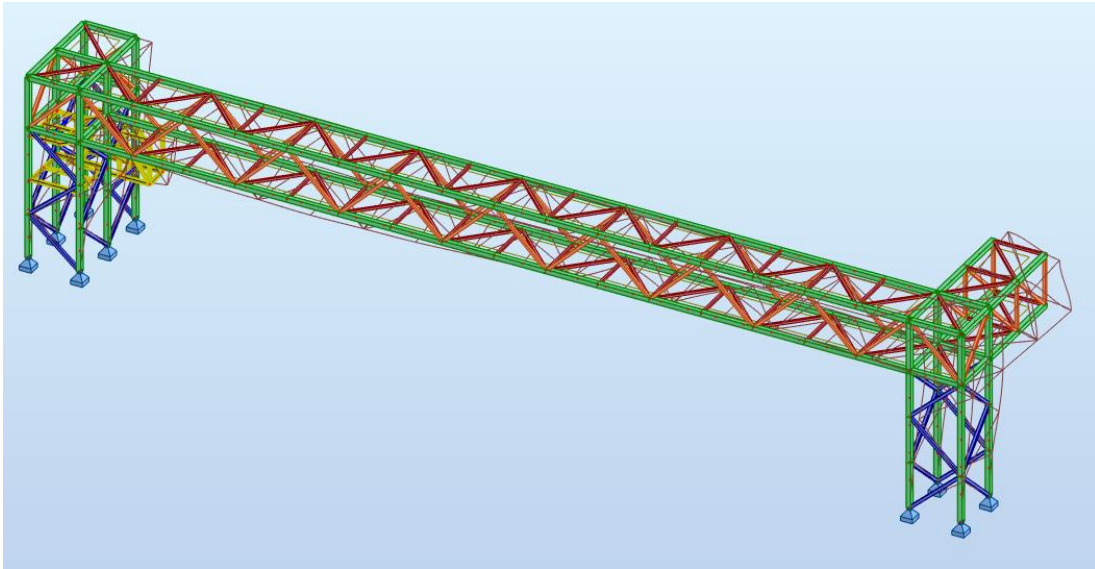
**Modo de vibração 2 (2.65 Hz)**



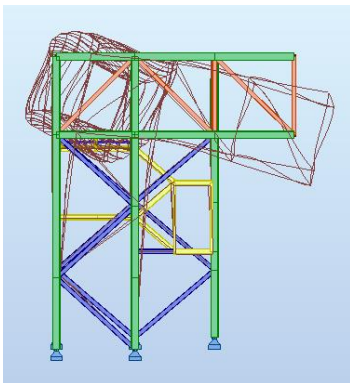
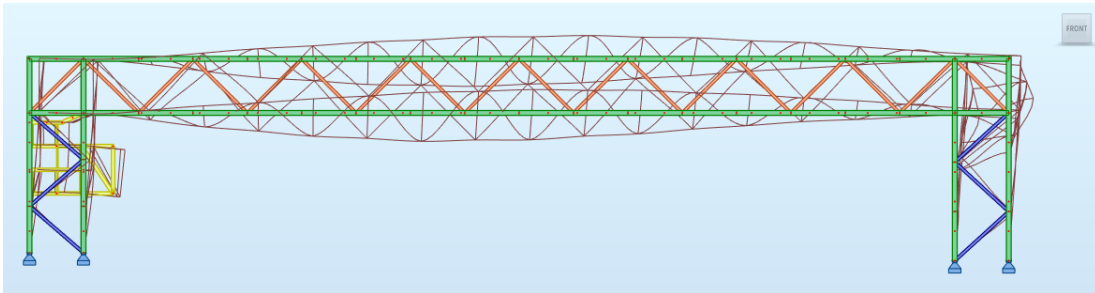
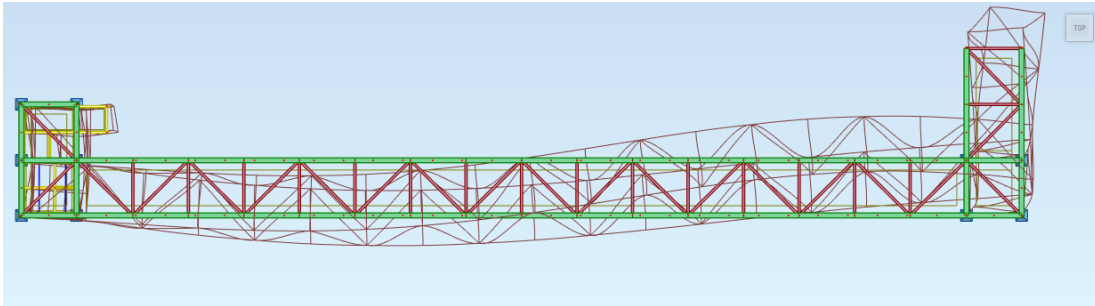
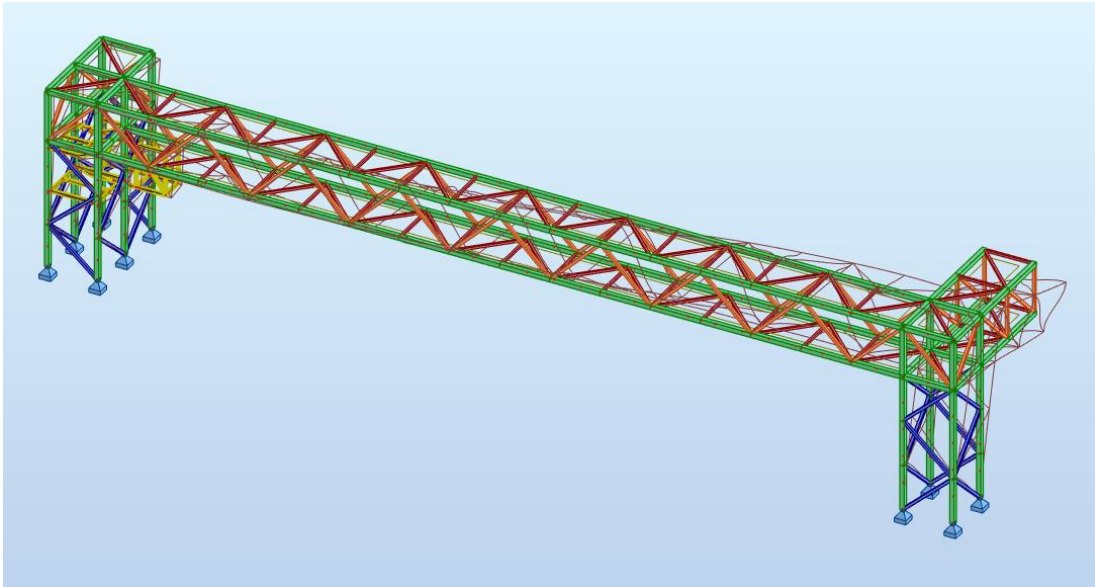
Modo de vibração 3 (3.29 Hz)



**Modo de vibração 4 (5.32 Hz)**

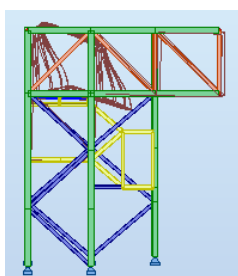
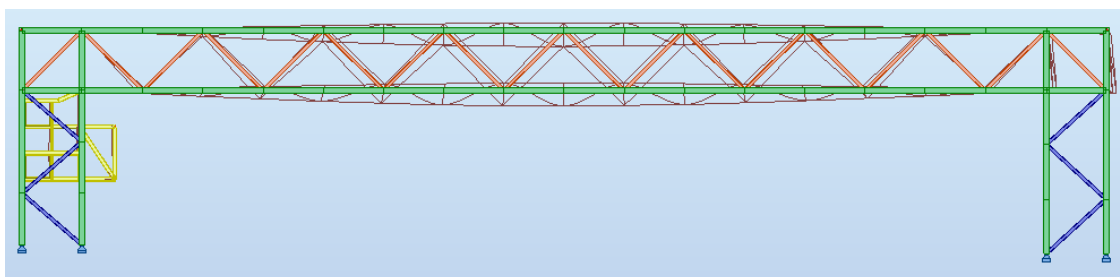
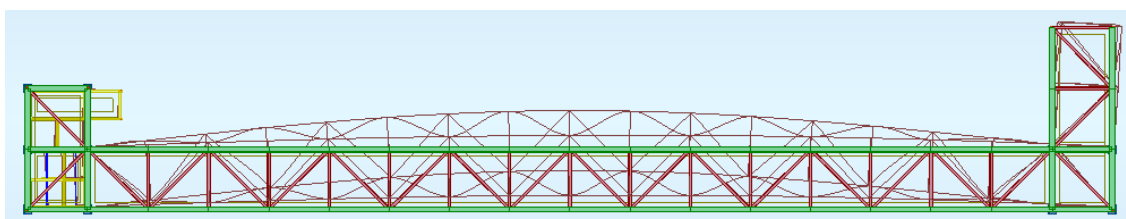
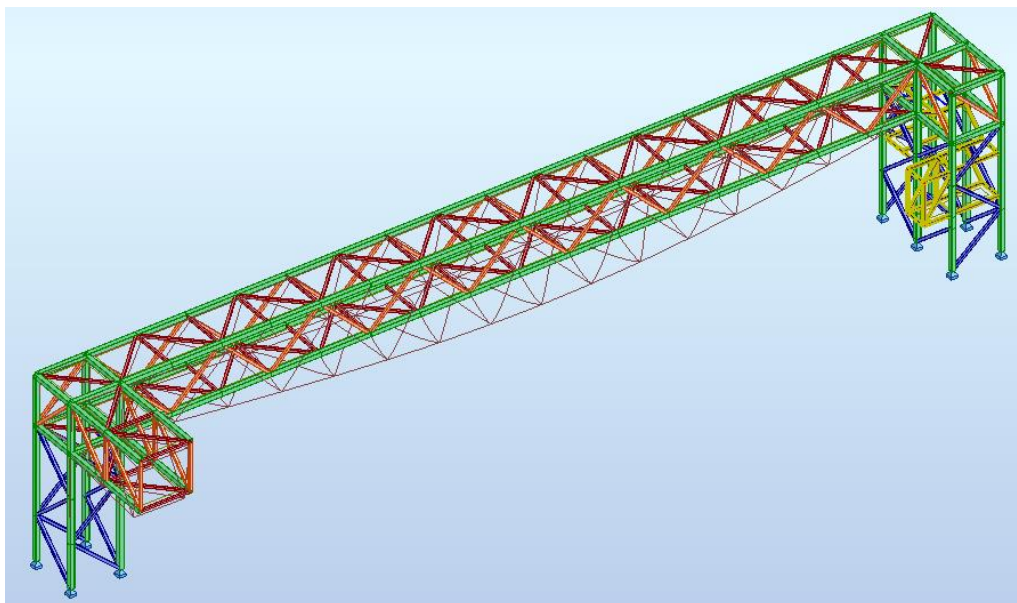


**Modo de vibração 5 (5.64 Hz)**

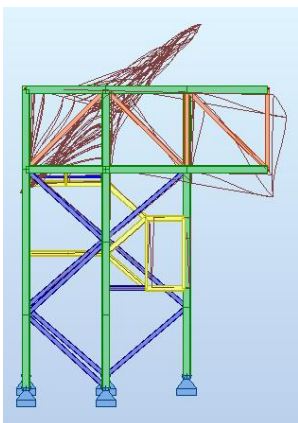
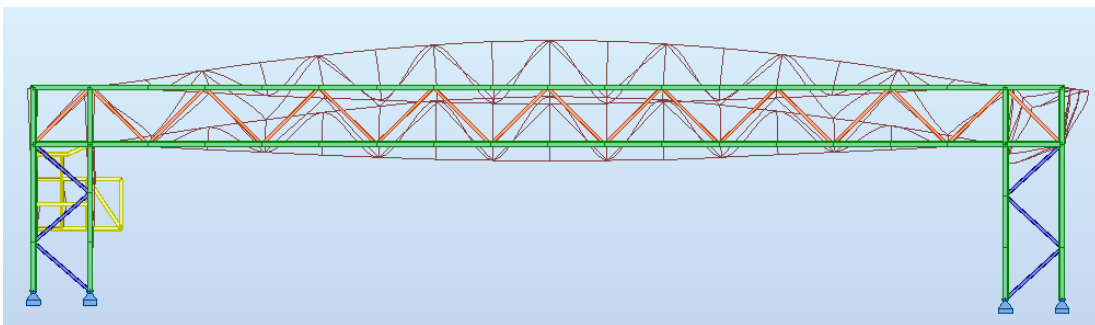
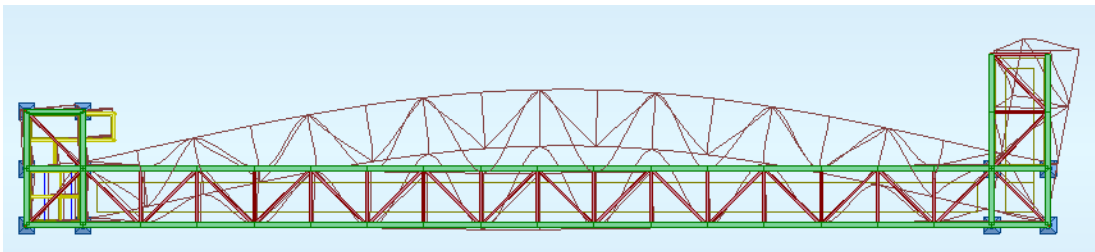
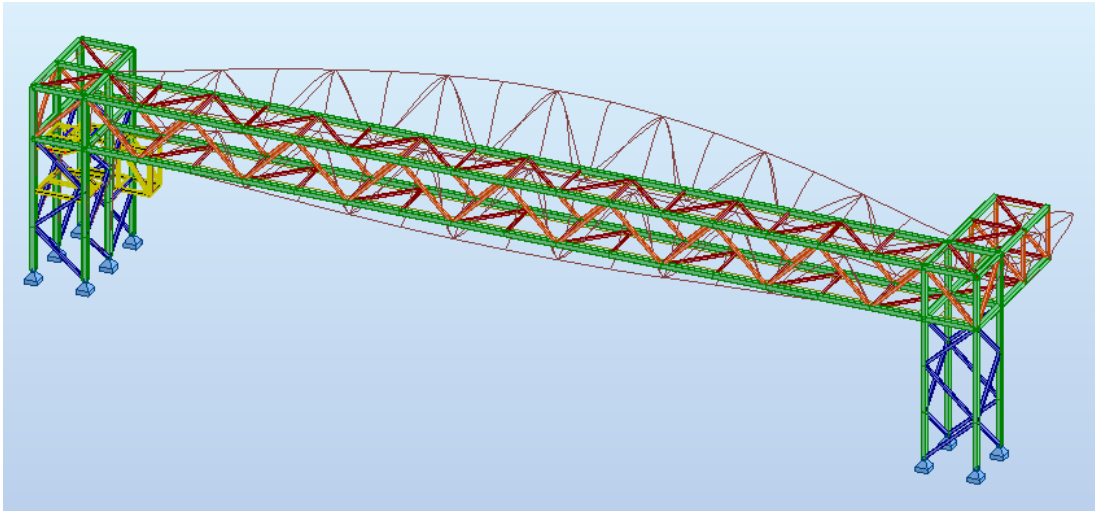


Nas figuras seguintes mostram-se as deformadas dos modos de vibração incluindo a massa dos peões.

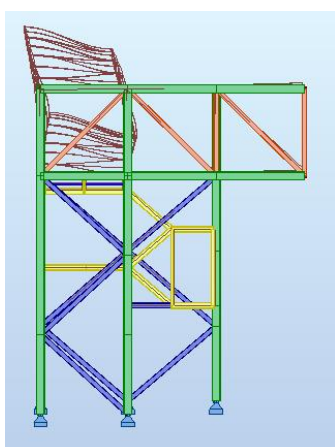
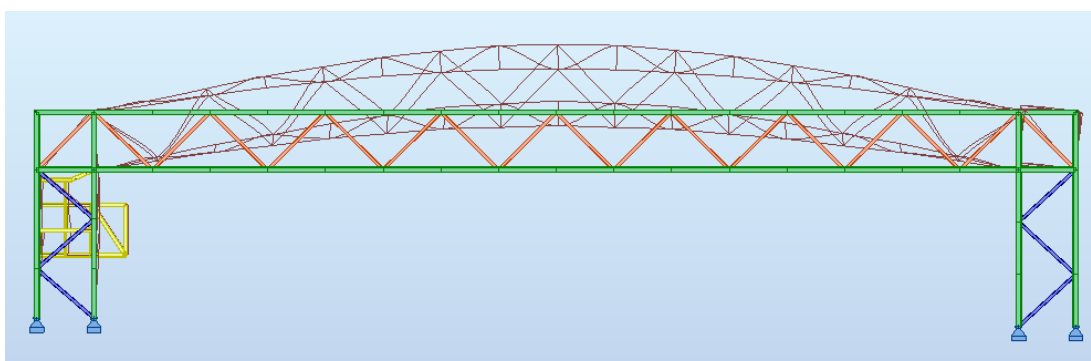
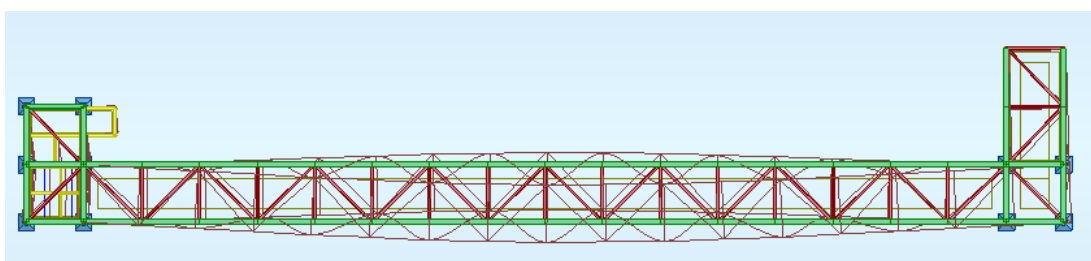
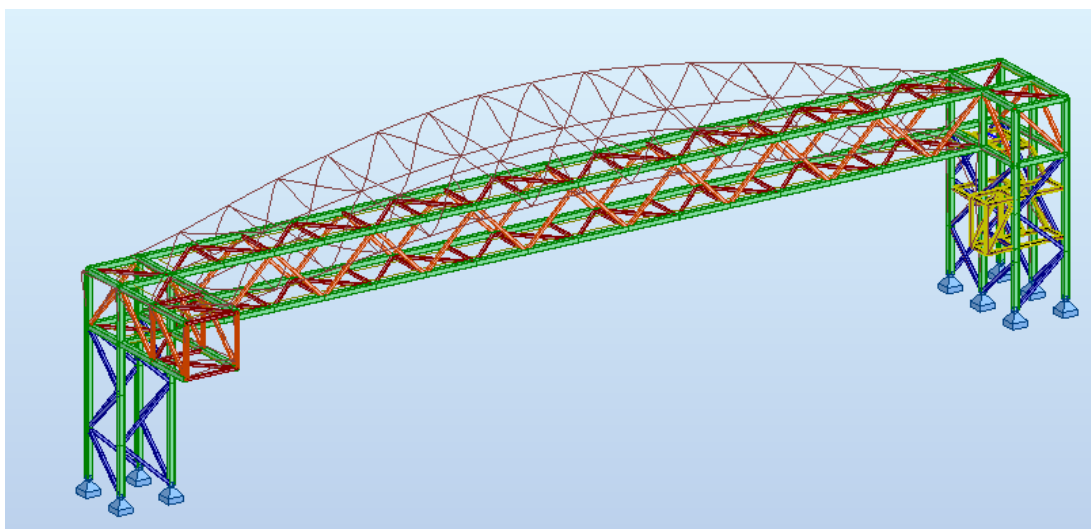
**Modo de vibração 1 (2.29 Hz)**



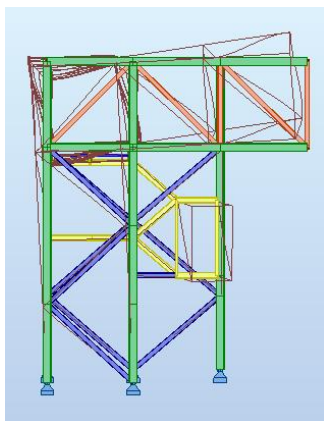
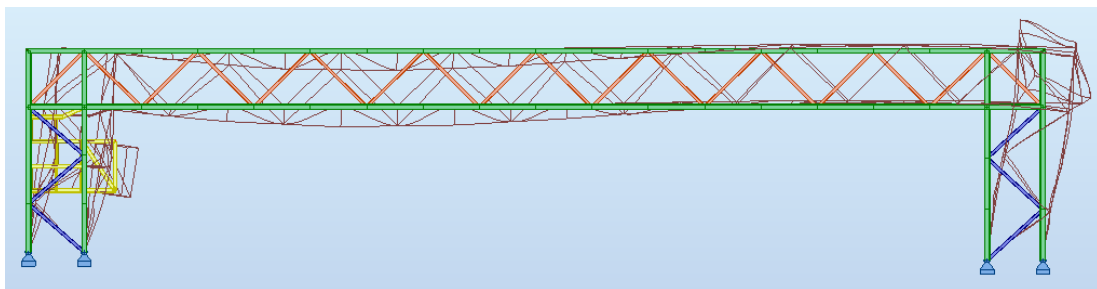
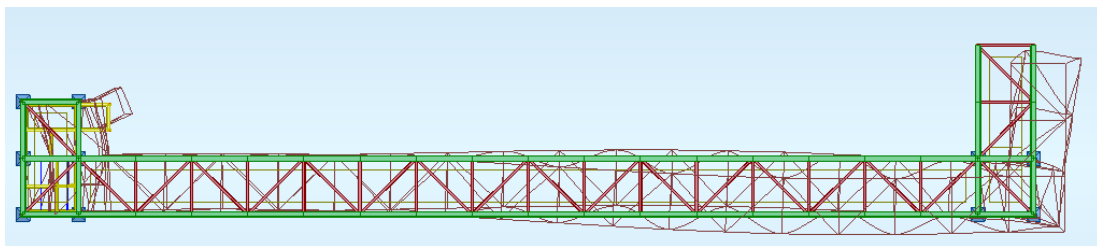
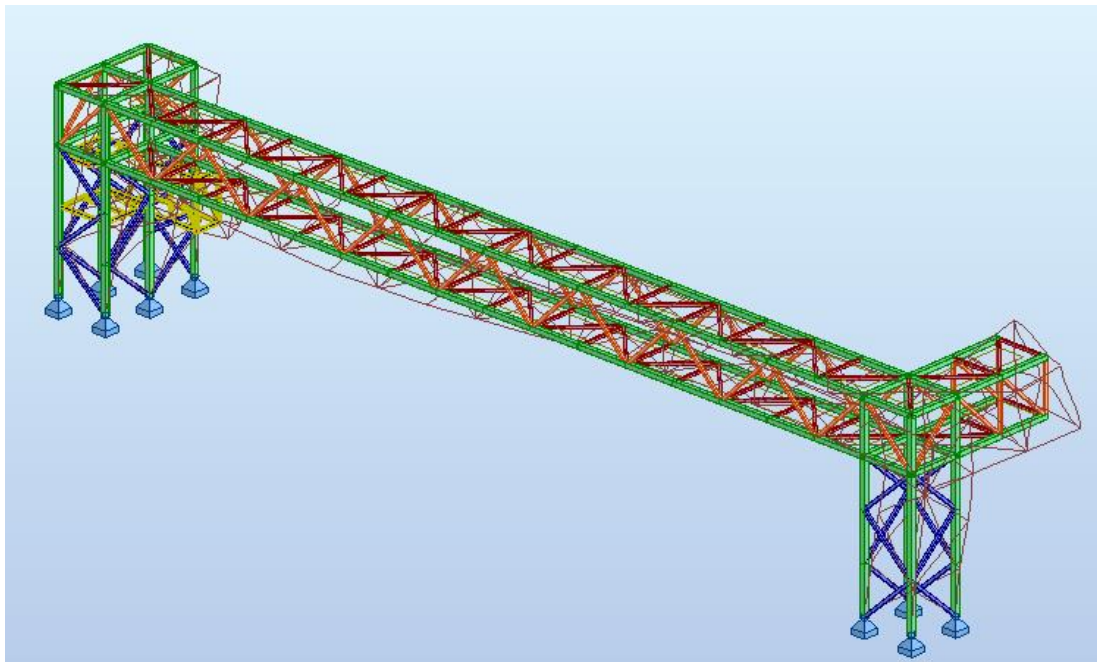
**Modo de vibração 2 (2.45 Hz)**



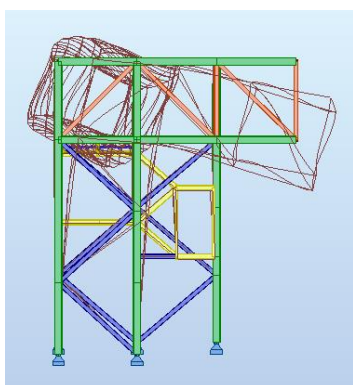
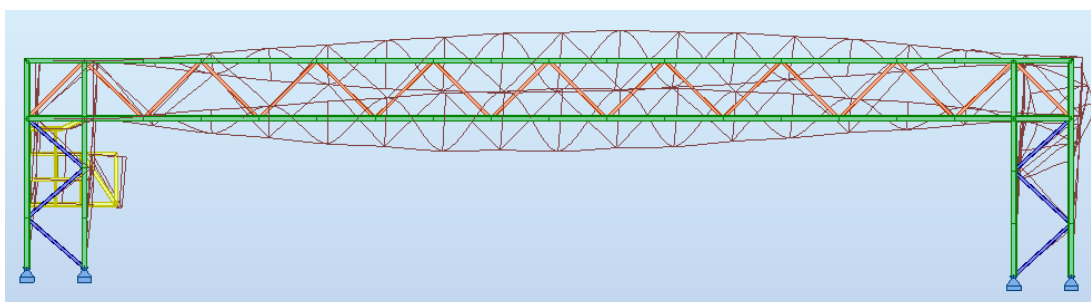
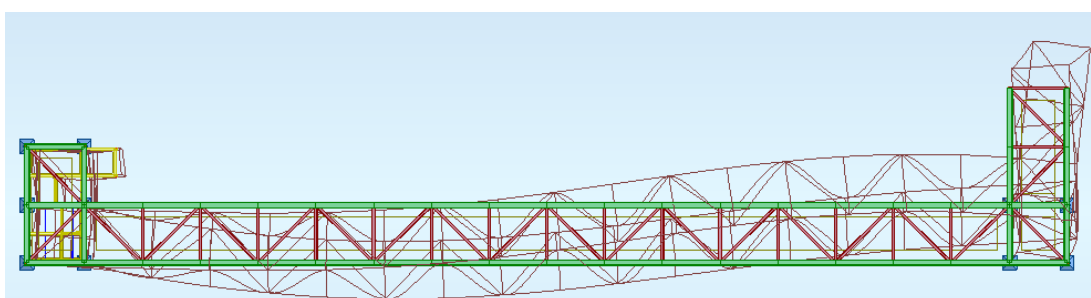
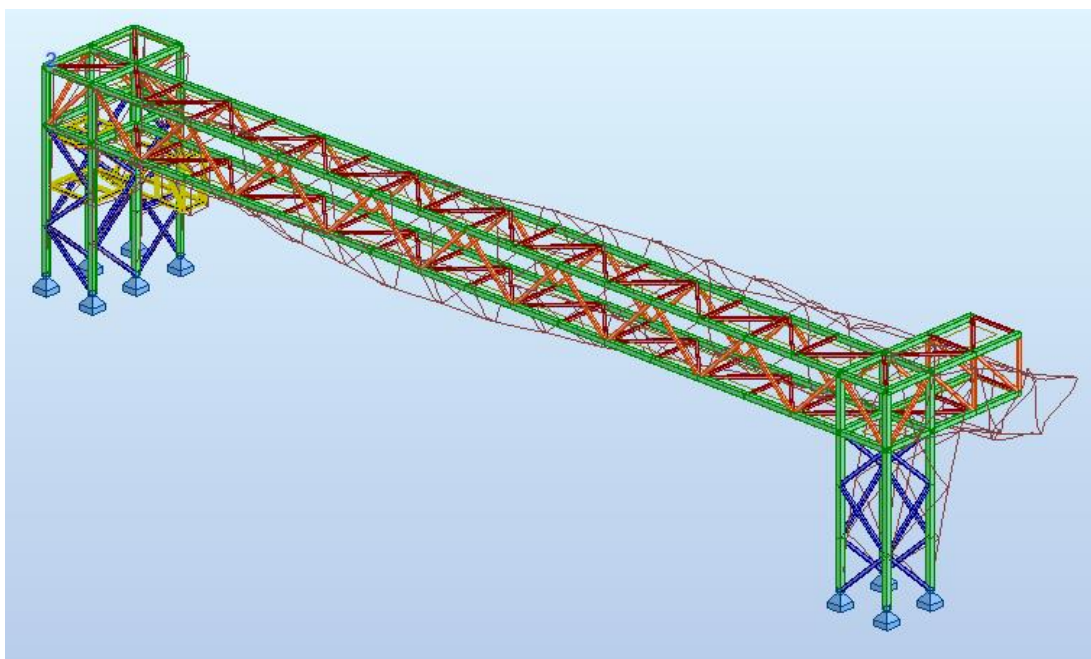
**Modo de vibração 3 (3.02 Hz)**



**Modo de vibração 4: (4.96 Hz)**



**Modo de vibração 5 (5.26 Hz)**



ANEXO VII

VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES  
“ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E  
“FOLHA DE CÁLCULO”



ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

No ANEXO XI inclui-se os desenhos de conjunto e de pormenor deste TFM.

As ligações são classificadas do tipo C e foram calculadas respeitando o estipulado no EC3-1-8.

### I. Ligações tipo SHS 250x8 – SHS250x8 (Nó nº 97)

#### I.1 - Folha de Cálculo

Categoria da Ligação	
Corte	C
Tração	E

Tipo de furo	Normal
Norma do Aço	EN 10025
Disposição furos	Normal

EuroCode	pt 3-2 (pontes)
----------	-----------------

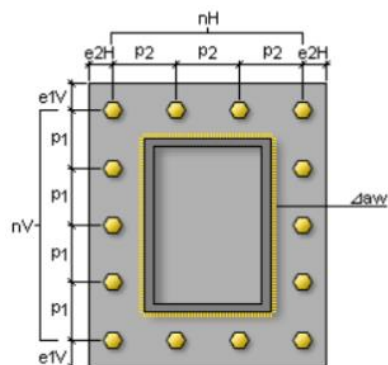
Parafusos	
Tipo	M16
Classe	10,9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	900
$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	1000

Aço chapa	S 275
$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	275
$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	430

Nº barra	402	400
Secção da barra	SHSH 250x250x8	SHSH 250x250x8
h	250,00 mm	250,00 mm
b	250,00 mm	250,00 mm
$t_w$	8,00 mm	8,00 mm
$t_f$	8,00 mm	8,00 mm

Outros Dados	
Nº parafusos (nH)	5
Nº parafusos (nV)	5
nº parafusos total	16

Combinação		402/ origin (381)/ 83 (C)
		ELU W (Y+)
Esforços na Ligação	FX (kN)	-1229,06 kN
	FY (kN)	-8,08 kN
	FZ (kN)	-9,85 kN
	MX (kNm)	0,88 kN.m
	MY (kNm)	16,78 kN.m
	MZ (kNm)	-1,68 kN.m



Distâncias (Quadro 3.3 do EC3-1-8)			
Distancia	Mínimo	Máximo	Adotado
e2H (mm)	21,6	132	30
e1V (mm)	21,6	132	30
p1 (mm)	39,6	200	82
p2 (mm)	43,2	200	82

Chapas de Topo		
Dimensões	Chapa 1	Chapa 2
b (mm)	390	390
h (mm)	390	390
esp 1 (mm)	23	23
Wpl,chapa,y-y	5.16E+4 mm <sup>3</sup>	5.16E+4 mm <sup>3</sup>
MRd,y-y	14.18 kN.m	14.18 kN.m
Wpl,chapa,z-z	5.16E+4 mm <sup>3</sup>	5.16E+4 mm <sup>3</sup>
MRd,z-z	14.18 kN.m	14.18 kN.m

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Resistencias dos parafusos		
Resistencia ao punçoamento	dm (mm)	25,4
	tp (mm)	23
	$B_{p,Rd}$ (kN)	378,44
	nº parafusos	16
	$B_{p,Rd}^{total}$ (kN)	6054,99

Resistencias dos parafusos		
Resistencia à tração	Cabeça Parafuso	Outros
	K2	0,90
	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	157
	$F_{t,Rd}$ (kN)	113,04
Resistencia à tração	nº parafusos	16
	$F_{t,Rd}^{Total}$ (kN)	1808,64



Resistencia da soldadura (Método Simplificado)		
Resistencia da soldadura	$\beta_w$	0,9
	Aço da Soldadura	S 275
	$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	430,0
	$f_{vw,d}$ (N/mm <sup>2</sup> )	233,7
Tração	Espessura (mm)	8,0
	Comprimento (mm)	1000,0
	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	8000,0
	$F_{w,Rd}$ (kN)	1869,3
Tração + My	Espessura (mm)	8,0
	Comprimento (mm)	250,0
	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	2000,0
	$F_{w,Rd}$ (kN)	467,3
Tração + Mz	Espessura (mm)	8,0
	Comprimento (mm)	250,0
	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	2000,0
	$F_{w,Rd}$ (kN)	467,3
Vy	Espessura (mm)	8,0
	Comprimento (mm)	500,0
	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	4000,0
	$F_{w,Rd}$ (kN)	934,6
Vz	Espessura (mm)	8,0
	Comprimento (mm)	500,0
	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	4000,0
	$F_{w,Rd}$ (kN)	934,6

Esforços de cálculo para verificação das Ligações		Valor
Transverso de cálculo por parafuso	$F_{v,Ed}$	0,80 kN
Tração de cálculo na fiada de parafusos paralelos ao eixo y-y	$F_{t,Ed,y-y}$	349,21 kN
Tração cálculo na fiada de parafusos paralelos ao eixo z-z	$F_{t,Ed,z-z}$	321,59 kN
Tração máxima no parafuso mais solicitado	$F_{t,Ed}$	88,07 kN
Tração no cordão paralelo ao eixo y-y	$F_{t,Ed}+F_{t,Ed}(My)$	374,38 kN
Tração no cordão paralelo ao eixo z-z	$F_{t,Ed}+F_{t,Ed}(Mz)$	313,98 kN
Momento de cálculo na chapa (My)	$M_{Ed,y-y}$	13,97 kN.m
Momento de cálculo na chapa (Mz)	$M_{Ed,z-z}$	12,86 kN.m

Componente a Verificar	Esforço a Verificar	Nomenclatura da verificação	Cálculo
			Resultado
Parafusos	Tração	$F_{t,Ed} / F_{t,Rd}$	0.78
	Punçoamento	$F_{t,Rd} / B_{p,Rd}$	0.23
	Corte+tração	$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / 1.4F_{t,Rd}$	0.57
Soldadura	Tração	$F_{t,Ed} / F_{t,Rd}$	0.78
	Tração+My	$F_{tw,Ed}(My) / F_{w,Rd}$	0.80
	Tração+Mz	$F_{tw,Ed}(Mz) / F_{w,Rd}$	0.67
Chapa de Topo	Momento y-y	$M_{ed,y-y} / M_{Rd,y-y}$	0.98
	Momento z-z	$M_{ed,z-z} / M_{Rd,z-z}$	0.91

# ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

## I.2 - “Robot Strutral”

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019 <b>Calculation of the Hollow Section End Plate splices connection</b> EN 1993-1-8:2005/AC:2009 + SN044a	 Ratio 1.07
---	--	--



### GENERAL

Connection no.: 97  
 Connection name: HS End Plate  
 Structure node: 381  
 Structure bars: 400, 402

### RIGHT BEAM

Section: SHSH 250x250x8  
 $h_1 = 250$  [mm] Height of beam section  
 $b_1 = 250$  [mm] Width of beam section  
 $t_1 = 8$  [mm] Thickness of the web of beam section  
 $A_1 = 76.80$  [cm<sup>2</sup>] Cross-sectional area of a beam  
 Material: S 275  
 $f_{y1} = 275.0000$  [MPa] Resistance  
 $f_{u1} = 430.0000$  [MPa] Tensile resistance

### LEFT BEAM

Section: SHSH 250x250x8  
 $h_2 = 250$  [mm] Height of beam section  
 $b_2 = 250$  [mm] Width of beam section  
 $t_2 = 8$  [mm] Thickness of the web of beam section  
 $A_2 = 76.80$  [cm<sup>2</sup>] Cross-sectional area of a beam  
 Material: S 275  
 $f_{y2} = 275.0000$  [MPa] Resistance  
 $f_{u2} = 430.0000$  [MPa] Tensile resistance

### PLATE

$l_p = 390$  [mm] Plate length  
 $h_p = 390$  [mm] Plate height  
 $t_p = 23$  [mm] Plate thickness  
 Material: S 275  
 $f_{yp} = 275.0000$  [MPa] Design resistance  
 $f_{up} = 430.0000$  [MPa] Tensile resistance

### BOLTS

Connection category E  
 Class = 10.9 Bolt class  
 $d = 16$  [mm] Bolt diameter  
 $d_0 = 18$  [mm] Bolt opening diameter  
 $A_s = 1.57$  [cm<sup>2</sup>] Effective section area of a bolt  
 $A_v = 2.01$  [cm<sup>2</sup>] Area of bolt section  
 $f_{yb} = 900.0000$  [MPa] Yield strength of bolt  
 $f_{ub} = 1000.0000$  [MPa] Bolt tensile resistance  
 $n_H = 5$  Number of bolt columns  
 $e_{2H} = 30$  [mm] Distance from vertical edge of a plate  
 $p_2 = 83$  [mm] Horizontal spacing  
 $n_V = 5$  Number of bolt rows  
 $e_{1V} = 30$  [mm] Distance from horizontal edge of a plate  
 $p_1 = 83$  [mm] Vertical spacing

### WELDS

$a_w = 8$  [mm]

### LOADS

Case: 83: UL8:8TD/159=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+5\*0.54+9\*1.50+14\*0.90 (1+2+192+194)\*1.35+(5+182+184)\*0.54+9\*1.50+14\*0.90

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

## ULTIMATE LIMIT STATE

$N_{Ed1} =$	1229.0587	[kN]	Axial force
$N_{Ed2} =$	1229.0587	[kN]	Axial force

Only axial forces are taken into account for the connection verification

## RESULTS

Results for one side of connection (geometry and loads are symmetrical)

### BOLTED CONNECTION CHECK - CATEGORY E

#### BOLT FAILURE

$F_{t,Rd} =$	113.0400	[kN]	Tensile resistance of a single bolt	$F_{t,Rd} = 0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$	
$B_{p,Rd} =$	378.4369	[kN]	Design punching shear resistance of the bolt head and the nut	$B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_{ub}) / \gamma_{M2}$	
$N_{Ed} \leq n_b \cdot F_{t,Rd}$	1229.0587	<	1808.6400	verified	(0.68)
$N_{Ed} \leq n_b \cdot B_{p,Rd}$	1229.0587	<	6054.9901	verified	(0.20)

#### BOLT FAILURE WITH ENDPLATE YIELDING

Calculation parameters according with NCCI: SN044a

$e_2 =$	30	[mm]	Distance from vertical edge of a plate	$e_2 = e_{2H}$
$e_1 =$	40	[mm]	Distance from vertical edge of a section	$e_1 = 0.5 \cdot (l_p - b) - e_2$
$b' =$	40	[mm]	Coefficient	$b' = e_1 - 0.5 \cdot d + t_f$
$\delta =$	0.78		Coefficient	$\delta = 1 - d_f / p_1$
$K =$	0.08	[cm <sup>2</sup> /kN]	Coefficient	$K = (4 \cdot b') / ((0.9 \cdot f_{yp} \cdot p_1) / \gamma_{M0})$
$e_{eff} =$	30	[mm]	Effective distance	$e_{eff} = \min(e_2, 1.25 \cdot e_1)$
$\alpha =$	0.42		Coefficient	$\alpha = \max\{0.0; (((K \cdot F_{t,Rd}) / t_p^2) - 1) \cdot ((e_{eff} + 0.5 \cdot d) / (\delta \cdot (e_{eff} + e_1 + t_f)))\}$
$P_f =$	76.8162	[kN]	Design tensile force per bolt	$P_f = N_{Ed} / n_b$
$t_{min} =$	18	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{min} = \sqrt{[K \cdot P_f / (1 + \delta)]}$
$t_{max} =$	25	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{max} = \sqrt{[K \cdot P_f]}$
$N_{RdV} =$	717.5282	[kN]	Design tensile resistance of splice	$N_{RdV} = t_p^2 \cdot (1 + \delta \cdot \alpha) \cdot n_b / (K \cdot \gamma_{M2})$

Calculation parameters according with NCCI: SN044a

$e_2 =$	30	[mm]	Distance from horizontal edge of a plate	$e_2 = e_{1V}$
$e_1 =$	40	[mm]	Distance from horizontal edge of a section	$e_1 = 0.5 \cdot (h_p - h) - e_2$
$b' =$	40	[mm]	Coefficient	$b' = e_1 - 0.5 \cdot d + t_f$
$\delta =$	0.78		Coefficient	$\delta = 1 - d_f / p_2$
$K =$	0.08	[cm <sup>2</sup> /kN]	Coefficient	$K = (4 \cdot b') / ((0.9 \cdot f_{yp} \cdot p_2) / \gamma_{M0})$
$e_{eff} =$	30	[mm]	Effective distance	$e_{eff} = \min(e_2, 1.25 \cdot e_1)$
$\alpha =$	0.42		Coefficient	$\alpha = \max\{0.0; (((K \cdot F_{t,Rd}) / t_p^2) - 1) \cdot ((e_{eff} + 0.5 \cdot d) / (\delta \cdot (e_{eff} + e_1 + t_f)))\}$
$P_f =$	76.8162	[kN]	Design tensile force per bolt	$P_f = N_{Ed} / n_b$
$t_{min} =$	18	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{min} = \sqrt{[K \cdot P_f / (1 + \delta)]}$
$t_{max} =$	25	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{max} = \sqrt{[K \cdot P_f]}$
$N_{RdH} =$	430.5169	[kN]	Design tensile resistance of splice	$N_{RdH} = t_p^2 \cdot (1 + \delta \cdot \alpha) \cdot n_b / (K \cdot \gamma_{M2})$

$N_{Rd} =$	1148.0451	[kN]	Tensile resistance	$N_{Rd} = N_{RdV} + N_{RdH}$	
$N_{Ed} \leq N_{Rd}$	1229.0587	>	1148.0451	not verified	(1.07)

#### SECTION

$N_{t,Rd} =$	2112.0000	[kN]	Tension capacity	$N_{t,Rd} = A_t \cdot f_y$	
$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$	1229.0587	<	2112.0000	verified	(0.58)

#### WELDS

##### BUTT WELDS CONNECTING A PLATE WITH THE BAR

$A_w =$	73.78	[cm <sup>2</sup> ]	Weld area	$A_w = 2 \cdot (h_1 + b_1 - 4 \cdot t_1 + r_1 \cdot (\pi - 4)) \cdot a_w$	
$\sigma =$	166.5815	[MPa]	Normal stress in a weld	$N_{Ed} / A_w$	
$\sigma_{\perp} =$	117.7909	[MPa]	Normal perpendicular stress in the weld		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0.9 \cdot f_{td} / \gamma_{M2}$			117.7909  < 309.6000	verified	(0.38)
$\beta_w =$	0.85		Correlation coefficient	[Table 4.1]	
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2]} \leq f_{vw} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$			235.5818 < 404.7059	verified	(0.58)

Connection does not conform to the code

Ratio 1.07

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

I.3 - “Idea Statica”

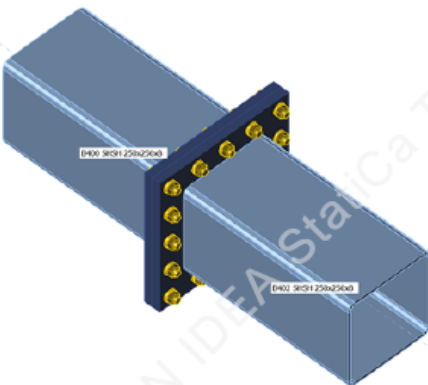


Design

Name Con 381  
 Description  
 Analysis Stress, strain/ loads in equilibrium

Beams and columns

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Forces in
B400 SHSH 250x250x8	94522 - SHS250/250/8.0	180.0	0.0	0.0	0	0	0	Node
B402 SHSH 250x250x8	94522 - SHS250/250/8.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	Node



Cross-sections

Name	Material
94522 - SHS250/250/8.0	S 275

Bolts

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M16 10.9	M16 10.9	16	1000.0	201

Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ULS:STD/159=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	B400 SHSH 250x250x8	1229.1	8.1	-9.9	-0.9	-16.8	-1.7
	B402 SHSH 250x250x8	1229.1	8.1	9.9	-0.9	-16.8	1.7

Check

Summary

Name	Value	Status
Analysis	100.0%	OK
Plates	2.0 < 5%	OK
Bolts	97.9 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

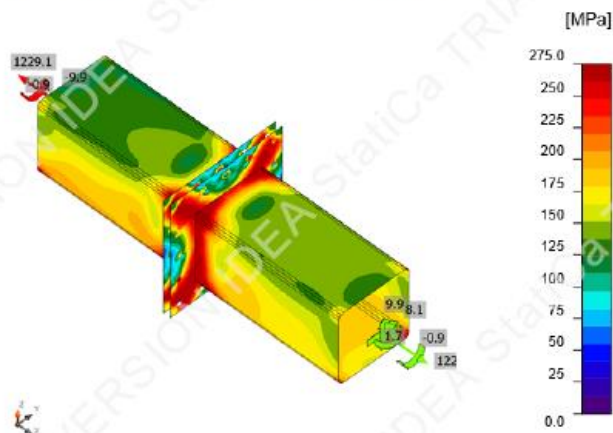
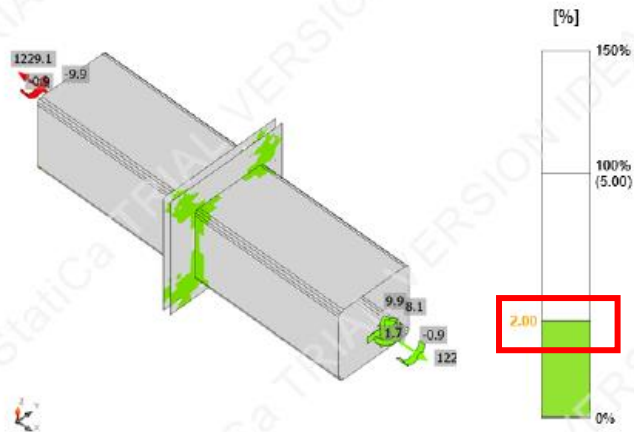
ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Plates

Name	Thickness [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	Status
B400 SHSH 250x250x8	8.0	ULS:STD/159=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	279.2	2.0	OK
B402 SHSH 250x250x8	8.0	ULS:STD/159=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	279.2	2.0	OK
PP1a	23.0	ULS:STD/159=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	275.4	0.2	OK
PP1b	23.0	ULS:STD/159=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	275.3	0.2	OK

Design data

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 275	275.0	5.0



ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

**Bolts**

Name	Loads	F <sub>Ed</sub> [kN]	V [kN]	U <sub>t</sub> [%]	F <sub>D,Rd</sub> [kN]	U <sub>s</sub> [%]	U <sub>ts</sub> [%]	Status
B1	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	71.2	1.7	63.0	231.5	1.8	46.8	OK
B2	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	68.8	1.2	60.9	203.1	1.2	44.7	OK
B3	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	107.1	0.9	94.8	311.6	0.9	66.6	OK
B4	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	106.8	0.6	94.5	214.7	0.7	68.1	OK
B5	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	92.8	1.3	82.1	184.1	1.3	59.9	OK
B6	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	90.8	0.5	80.3	219.5	0.9	58.2	OK
B7	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	109.1	0.7	96.5	316.5	0.7	69.6	OK
B8	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	108.8	0.5	96.2	260.7	0.5	69.2	OK
B9	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	108.9	0.8	96.3	316.5	1.2	70.0	OK
B10	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	108.5	0.5	96.0	233.4	0.8	69.4	OK
B11	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	106.1	0.8	93.8	298.3	1.3	62.3	OK
B12	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	106.6	0.9	94.3	271.8	1.4	68.7	OK
B13	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	106.3	1.0	94.0	252.7	1.5	68.7	OK
B14	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	109.5	0.4	96.8	207.8	0.7	69.9	OK
B15	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	110.7	0.5	97.9	196.5	0.7	70.7	OK
B16	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)	109.7	0.5	97.0	188.9	0.8	70.1	OK



**Design data**

Name	F <sub>t,Rd</sub> [kN]	B <sub>p,Rd</sub> [kN]	F <sub>v,Rd</sub> [kN]
M16 10.9 - 1	113.0	421.8	96.5

**Symbol explanation**

- F<sub>t,Rd</sub> Bolt tension resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
- F<sub>t,Ed</sub> Tension force
- B<sub>p,Rd</sub> Punching shear resistance
- V Resultant of shear forces V<sub>y</sub>, V<sub>z</sub> in bolt
- F<sub>v,Rd</sub> Bolt shear resistance EN\_1993-1-8 table 3.4
- F<sub>D,Rd</sub> Plate bearing resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
- U<sub>t</sub> Utilization in tension
- U<sub>s</sub> Utilization in shear
- U<sub>ts</sub> Utilization in tension and shear EN 1993-1-8 table 3.4

**Welds (Maximal value used, plastic redistribution recommended)**

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length [mm]	Loads	σ <sub>w,Ed</sub> [MPa]	σ <sub>⊥</sub> [MPa]	τ <sub>  </sub> [MPa]	τ <sub>⊥</sub> [MPa]	U <sub>t</sub> [%]	Status
PP1a	B400 SHSH 250x250x8-w 1	8.0	210	ULS-STD/150=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(2)						OK

## ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

### Symbol explanation

$\sigma_{wEd}$	Equivalent stress
$\sigma_{wRd}$	Equivalent stress resistance
$\sigma_{\perp}$	Perpendicular stress
$\tau_{\parallel}$	Shear stress parallel to weld axis
$\tau_{\perp}$	Shear stress perpendicular to weld axis
$0.9 \sigma$	Perpendicular stress resistance - $0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$
$\beta_w$	Correlation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1
Ut	Utilization
Utc	Weld capacity utilization

### Buckling

Buckling analysis was not calculated.

### Code settings

Item	Value	Unit	Reference
$\gamma_{M0}$	1.00	-	EN 1993-1-1: 6.1
$\gamma_{M1}$	1.10	-	EN 1993-1-1: 6.1
$\gamma_{M2}$	1.25	-	EN 1993-1-1: 6.1
$\gamma_{M3}$	1.25	-	EN 1993-1-8: 2.2
$\gamma_c$	1.50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
$\gamma_{nst}$	1.20	-	ETAG 001-C: 3.2.1
Joint coefficient $\beta_j$	0.67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Effective area - influence of mesh size	0.10	-	
Friction coefficient - concrete	0.25	-	EN 1993-1-8
Friction coefficient in slip-resistance	0.30	-	EN 1993-1-8 tab 3.7
Limit plastic strain	0.05	-	EN 1993-1-5
Weld stress evaluation	Plastic redistribution		
Detailing	No		
Distance between bolts [d]	2.20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Distance between bolts and edge [d]	1.20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Concrete breakout resistance	Yes		ETAG 001-C
Use calculated ab in bearing check.	Yes		EN 1993-1-8: tab 3.4
Cracked concrete	Yes		
Local deformation check	No		
Local deformation limit	0.03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

## II. Ligações tipo SHS 150x6.3 - SHS 150x6.3 (Nó nº13)

### II.1 - Folha de Cálculo

Categoria da Ligação	
Corte	
Tração	E

Tipo de furo	Normal
Norma do Aço	EN 10025
Disposição furos	Normal

EuroCode	pt 3-2 (pontes)
----------	-----------------

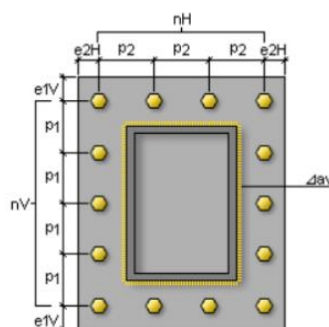
Parafusos	
Tipo	M16
Classe	10,9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	900
$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	1000

Aço chapa	S 275
$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	275
$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	430

Nº barra	141	145
Secção	SHSH 150x150x6.3	SHSH 150x150x6.3
h	150,00 mm	150,00 mm
b	150,00 mm	150,00 mm
$t_w$	6,30 mm	6,30 mm
$t_f$	6,30 mm	6,30 mm

Outros Dados	
Nº parafusos (nH)	4
Nº parafusos (nV)	4
nº parafusos	12

Combinação		138 (C) / 145/ origin (366)
		ELU Inverno
Esforços na Ligação	FX (kN)	-639,81 kN
	FY (kN)	0,00 kN
	FZ (kN)	-0,11 kN
	MX (kNm)	0,00 kNm
	MY (kNm)	0,41 kNm
	MZ (kNm)	0,00 kNm



Distâncias (Quadro 3.3 do EC3-1-8)			
Distancia	Mínimo	Máximo	Adotado
e1H (mm)	21,6	108	25
e2V (mm)	21,6	108	25
p1 (mm)	39,6	200	70
p2 (mm)	43,2	200	70

Chapas de Topo (Dimensões e Resistências)		
Dimensões	Chapa 1	Chapa 2
b (mm)	260	260
h (mm)	260	260
esp 1 (mm)	17	17
Wpl,chapa,y-y	1,88E+4 mm <sup>3</sup>	1,88E+4 mm <sup>3</sup>
MRd,y-y	5,17 kN.m	5,17 kN.m
Wpl,chapa,z-z	1,88E+4 mm <sup>3</sup>	1,88E+4 mm <sup>3</sup>
MRd,z-z	5,17 kN.m	5,17 kN.m

Resistências dos parafusos		
Resistência ao punçoamento	dm (mm)	25,4
	tp (mm)	17
	$B_{p,Rd}$ (kN)	279,71
	nº parafusos	12
	$B_{p,Rd}^{total}$ (kN)	3356,57

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Resistencias dos parafusos		
Resistencia à tração	Cabeça Parafuso	Outros
		K2
	As (mm <sup>2</sup> )	157
	F <sub>t,Rd</sub> (kN)	113,04
Resistencia à tração	nº parafusos	12
	F <sub>t,Rd</sub> <sup>Total</sup> (kN)	1356,48

Resistencia da soldadura (Método Simplificado)		
Resistencia da soldadura	$\beta_w$	0,9
	Aço da Soldadura	S 275
	f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	430,0
	f <sub>vw,d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	233,7
Tração	Espessura (mm)	6,3
	Comprimento (mm)	600,0
	A <sub>w</sub> (mm <sup>2</sup> )	3780,0
	F <sub>w,Rd</sub> (kN)	883,2
Tração + My	Espessura (mm)	6,3
	Comprimento (mm)	150,0
	A <sub>w</sub> (mm <sup>2</sup> )	945,0
	F <sub>w,Rd</sub> (kN)	220,8
Tração + Mz	Espessura (mm)	6,3
	Comprimento (mm)	150,0
	A <sub>w</sub> (mm <sup>2</sup> )	945,0
	F <sub>w,Rd</sub> (kN)	220,8
Vy	Espessura (mm)	6,3
	Comprimento (mm)	300,0
	A <sub>w</sub> (mm <sup>2</sup> )	1890,0
	F <sub>w,Rd</sub> (kN)	441,6
Vz	Espessura (mm)	6,3
	Comprimento (mm)	300,0
	A <sub>w</sub> (mm <sup>2</sup> )	1890,0
	F <sub>w,Rd</sub> (kN)	441,6

Esforços de cálculo para verificação das Ligações	Nomenclatura	Valor
Transverso de cálculo por parafuso	Fv,Ed	0,01 kN
Tração de cálculo na fiada de parafusos paralelos ao eixo y-y	Ft,Ed,y-y	161,42 kN
Tração de cálculo na fiada de parafusos paralelos ao eixo z-z	Ft,Ed,z-z	160,44 kN
Tração máxima no parafuso mais solicitado	Ft,Ed	53,81 kN
Tração no cordão paralelo ao eixo y-y	Ft,Ed+Ft,Ed(My)	162,69 kN
Tração no cordão paralelo ao eixo z-z	Ft,Ed+Ft,Ed(Mz)	159,95 kN
Momento de cálculo na chapa (My)	MEd,y-y	4,84 kN.m
Momento de cálculo na chapa (Mz)	MEd,z-z	4,81 kN.m

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT  
STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Componente a Verificar	Esforço a Verificar		Cálculo
			Resultado
Parafusos	Tração	$F_{t,Ed} / F_{t,Rd}$	0,48
	Punçoamento	$F_{t,Rd} / B_{p,Rd}$	0,19
	Corte+tração	$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / 1.4F_{t,Rd}$	0,34
Soldadura	Tração	$F_{t,Ed} / F_{w,Rd}$	0,72
	Tração+My	$F_{tw,Ed}(M_y) / F_{w,Rd}$	0,74
	Tração+Mz	$F_{tw,Ed}(M_z) / F_{w,Rd}$	0,72
Chapa de Topo	Momento y-y	$M_{ed,y-y} / M_{Rd,y-y}$	0,94
	Momento z-z	$M_{ed,z-z} / M_{Rd,z-z}$	0,93

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

## II.2 - “Robot Strutral”



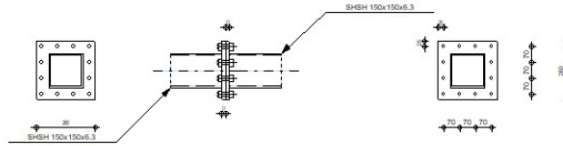
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

**Calculation of the Hollow Section End Plate splices connection**

EN 1993-1-8:2005/AC:2009 + SN044a

OK

Ratio  
0,82



### GENERAL

Connection no.: 13  
 Connection name: HS End Plate  
 Structure node: 366  
 Structure bars: 141, 145

### RIGHT BEAM

Section: SRSR 150x150x6.3  
 $h_1 = 150$  [mm] Height of beam section  
 $b_1 = 150$  [mm] Width of beam section  
 $t_1 = 6$  [mm] Thickness of the web of beam section  
 $A_1 = 35,80$  [cm<sup>2</sup>] Cross-sectional area of a beam  
 Material: S 275  
 $f_{y1} = 275,0000$  [MPa] Resistance  
 $f_{u1} = 430,0000$  [MPa] Tensile resistance

### LEFT BEAM

Section: SRSR 150x150x6.3  
 $h_2 = 150$  [mm] Height of beam section  
 $b_2 = 150$  [mm] Width of beam section  
 $t_2 = 6$  [mm] Thickness of the web of beam section  
 $A_2 = 35,80$  [cm<sup>2</sup>] Cross-sectional area of a beam  
 Material: S 275  
 $f_{y2} = 275,0000$  [MPa] Resistance  
 $f_{u2} = 430,0000$  [MPa] Tensile resistance

### PLATE

$l_p = 260$  [mm] Plate length  
 $h_p = 260$  [mm] Plate height  
 $t_p = 17$  [mm] Plate thickness  
 Material: S 275  
 $f_{yp} = 275,0000$  [MPa] Design resistance  
 $f_{up} = 430,0000$  [MPa] Tensile resistance

### BOLTS

Connection category E  
 Class = 10.9 Bolt class  
 $d = 16$  [mm] Bolt diameter  
 $d_0 = 18$  [mm] Bolt opening diameter  
 $A_s = 1,57$  [cm<sup>2</sup>] Effective section area of a bolt  
 $A_v = 2,01$  [cm<sup>2</sup>] Area of bolt section  
 $f_{yb} = 900,0000$  [MPa] Yield strength of bolt  
 $f_{ub} = 1000,0000$  [MPa] Bolt tensile resistance  
 $n_H = 4$  Number of bolt columns  
 $e_{2H} = 25$  [mm] Distance from vertical edge of a plate  
 $p_2 = 70$  [mm] Horizontal spacing  
 $n_V = 4$  Number of bolt rows  
 $e_{1V} = 25$  [mm] Distance from horizontal edge of a plate  
 $p_1 = 70$  [mm] Vertical spacing

### WELDS

$a_w = 6$  [mm]

### MATERIAL FACTORS

$\gamma_{M0} = 1,00$	Partial safety factor	[2.2]
$\gamma_{M1} = 1,00$	Partial safety factor	[2.2]
$\gamma_{M2} = 1,25$	Partial safety factor	[2.2]
$\gamma_{M3} = 1,25$	Partial safety factor	[2.2]

### LOADS

Case: 138: ULS:STD/337=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+6\*0.54+10\*0.45+12\*1.50 (1+2+193)\*1.35+(6+173)\*0.54+10\*0.45+12\*1.50+191\*-1.35+171\*-0.54

### ULTIMATE LIMIT STATE

$N_{Ed1} = 639,8086$  [kN] Axial force  
 $N_{Ed2} = 639,8086$  [kN] Axial force

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

## RESULTS

### RIGHT SIDE

#### BOLTED CONNECTION CHECK - CATEGORY E

##### BOLT FAILURE

$F_{t,Rd}$	113,0400	[kN]	Tensile resistance of a single bolt	$F_{t,Rd} = 0.9 f_{td} A_s / M_2$	
$B_{p,Rd}$	279,7142	[kN]	Design punching shear resistance of the bolt head and the nut	$B_{p,Rd} = (0.6 \pi d_s t_p f_{td}) / M_2$	
$N_{Ed} \leq n_b F_{t,Rd}$				639,8086 < 1356,4800	verified (0,47)
$N_{Ed} \leq n_b B_{p,Rd}$				639,8086 < 3356,5706	verified (0,19)

##### BOLT FAILURE WITH ENDPLATE YIELDING

Calculation parameters according with NCCI: SN044a

$e_2$	25	[mm]	Distance from vertical edge of a plate	$e_2 = e_{2H}$
$e_1$	30	[mm]	Distance from vertical edge of a section	$e_1 = 0.5(l_p - b) - e_2$
$b'$	28	[mm]	Coefficient	$b' = e_1 - 0.5d + t_f$
$\delta$	0,74		Coefficient	$\delta = 1 - d_f/p_1$
$K$	0,07	[cm <sup>2</sup> /kN]	Coefficient	$K = (4 \cdot b') / ((0.9 f_{yp} p_1) / M_0)$
$e_{eff}$	25	[mm]	Effective distance	$e_{eff} = \min(e_2, 1.25 \cdot e_1)$
$\alpha$	1,13		Coefficient	$\alpha = \max[0.0; (((K \cdot F_{t,Rd}) / t_p^2) - 1) \cdot ((e_{eff} + 0.5 \cdot d) / (\delta \cdot (e_{eff} + e_1 + t)))]$
$P_f$	53,3174	[kN]	Design tensile force per bolt	$P_f = N_{Ed} / n_b$
$t_{min}$	14	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{min} = \sqrt{[K \cdot P_f] / (1 + \delta)}$
$t_{max}$	19	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{max} = \sqrt{[K \cdot P_f]}$
$N_{RdV}$	520,1489	[kN]	Design tensile resistance of splice	$N_{RdV} = t_p^2 (1 + \delta \cdot \alpha) n_b / (K \cdot M_2)$

Calculation parameters according with NCCI: SN044a

$e_2$	25	[mm]	Distance from horizontal edge of a plate	$e_2 = e_{1V}$
$e_1$	30	[mm]	Distance from horizontal edge of a section	$e_1 = 0.5 \cdot (n_b - t_h) - e_2$
$b'$	28	[mm]	Coefficient	$b' = e_1 - 0.5 \cdot d + t_f$
$\delta$	0,74		Coefficient	$\delta = 1 - d_f/p_2$
$K$	0,07	[cm <sup>2</sup> /kN]	Coefficient	$K = (4 \cdot b') / ((0.9 f_{yp} p_2) / M_0)$
$e_{eff}$	25	[mm]	Effective distance	$e_{eff} = \min(e_2, 1.25 \cdot e_1)$
$\alpha$	1,13		Coefficient	$\alpha = \max[0.0; (((K \cdot F_{t,Rd}) / t_p^2) - 1) \cdot ((e_{eff} + 0.5 \cdot d) / (\delta \cdot (e_{eff} + e_1 + t)))]$
$P_f$	53,3174	[kN]	Design tensile force per bolt	$P_f = N_{Ed} / n_b$
$t_{min}$	14	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{min} = \sqrt{[K \cdot P_f] / (1 + \delta)}$
$t_{max}$	19	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{max} = \sqrt{[K \cdot P_f]}$
$N_{RdH}$	260,0745	[kN]	Design tensile resistance of splice	$N_{RdH} = t_p^2 (1 + \delta \cdot \alpha) n_b / (K \cdot M_2)$

$N_{Rd}$	780,2234	[kN]	Tensile resistance	$N_{Rd} = N_{RdV} + N_{RdH}$	(0,52)
$N_{Ed} \leq N_{Rd}$				639,8086 < 780,2234	verified

##### SECTION

$N_{t,Rd}$	984,5000	[kN]	Tension capacity	$N_{t,Rd} = A_t f_y$	(0,65)
$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$				639,8086 < 984,5000	verified

##### WELDS

##### BUTT WELDS CONNECTING A PLATE WITH THE BAR

$A_w$	33,94	[cm <sup>2</sup> ]	Weld area	$A_w = 2 \cdot (h_1 + b_1 - 4 \cdot t_1 + r_1 \cdot (\pi - 4)) \cdot a_w$	
$\sigma$	189,4928	[MPa]	Normal stress in a weld	$N_{Ed} / A_w$	
$\sigma_{\perp}$	133,2845	[MPa]	Normal perpendicular stress in the weld		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0.9 f_{tM2}$				133,2845  < 309,6000	verified (0,43)
$\beta_w$	0,85		Correlation coefficient		[Table 4.1]
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2} \leq f_{tM2} / (\beta_w \cdot M_2)$				266,5691 < 404,7059	verified (0,66)

### LEFT SIDE

#### BOLTED CONNECTION CHECK - CATEGORY E

##### BOLT FAILURE

$F_{t,Rd}$	113,0400	[kN]	Tensile resistance of a single bolt	$F_{t,Rd} = 0.9 f_{td} A_s / M_2$	
$B_{p,Rd}$	279,7142	[kN]	Design punching shear resistance of the bolt head and the nut	$B_{p,Rd} = (0.6 \pi d_s t_p f_{td}) / M_2$	
$N_{Ed} \leq n_b F_{t,Rd}$				639,8086 < 1356,4800	verified (0,47)
$N_{Ed} \leq n_b B_{p,Rd}$				639,8086 < 3356,5706	verified (0,19)

##### BOLT FAILURE WITH ENDPLATE YIELDING

Calculation parameters according with NCCI: SN044a

$e_2$	25	[mm]	Distance from vertical edge of a plate	$e_2 = e_{2H}$
$e_1$	30	[mm]	Distance from vertical edge of a section	$e_1 = 0.5(l_p - b) - e_2$
$b'$	28	[mm]	Coefficient	$b' = e_1 - 0.5d + t_f$
$\delta$	0,74		Coefficient	$\delta = 1 - d_f/p_1$
$K$	0,07	[cm <sup>2</sup> /kN]	Coefficient	$K = (4 \cdot b') / ((0.9 f_{yp} p_1) / M_0)$
$e_{eff}$	25	[mm]	Effective distance	$e_{eff} = \min(e_2, 1.25 \cdot e_1)$
$\alpha$	1,13		Coefficient	$\alpha = \max[0.0; (((K \cdot F_{t,Rd}) / t_p^2) - 1) \cdot ((e_{eff} + 0.5 \cdot d) / (\delta \cdot (e_{eff} + e_1 + t)))]$
$P_f$	53,3174	[kN]	Design tensile force per bolt	$P_f = N_{Ed} / n_b$
$t_{min}$	14	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{min} = \sqrt{[K \cdot P_f] / (1 + \delta)}$
$t_{max}$	19	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{max} = \sqrt{[K \cdot P_f]}$

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

$N_{RdV} =$	520,1489	[kN]	Design tensile resistance of splice	$N_{RdV} = t_p^2 \gamma (1 + \delta \alpha) \eta_b / (K^* M_2)$
Calculation parameters according with NCCI: SN044a				
$e_2 =$	25	[mm]	Distance from horizontal edge of a plate	$e_2 = e_{1V}$
$e_1 =$	30	[mm]	Distance from horizontal edge of a section	$e_1 = 0.5 \cdot (h_p - h_s) - e_2$
$b' =$	28	[mm]	Coefficient	$b' = e_1 - 0.5 \cdot d + t_f$
$\delta =$	0,74		Coefficient	$\delta = 1 - d_f / p_2$
$K =$	0,07	[cm <sup>2</sup> /kN]	Coefficient	$K = (4 \cdot b') / ((0.9 \cdot f_{yp} \cdot p_2) / M_2)$
$e_{eff} =$	25	[mm]	Effective distance	$e_{eff} = \min(e_2; 1.25 \cdot e_1)$
$\alpha =$	1,13		Coefficient	$\alpha = \max[0.0; (((K \cdot F_{t,Rd}) / t_p^2) - 1) \cdot ((e_{eff} + 0.5 \cdot d) / (\delta \cdot (e_{eff} + e_1 + t_f)))]$
$P_f =$	53,3174	[kN]	Design tensile force per bolt	$P_f = N_{Ed} / n_b$
$t_{min} =$	14	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{min} = \sqrt{K \cdot P_f / (1 + \delta)}$
$t_{max} =$	19	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{max} = \sqrt{K \cdot P_f}$
$N_{RdH} =$	260,0745	[kN]	Design tensile resistance of splice	$N_{RdH} = t_p^2 \gamma (1 + \delta \alpha) \eta_b / (K^* M_2)$
$N_{Rd} =$	780,2234	[kN]	Tensile resistance	$N_{Rd} = N_{RdV} + N_{RdH}$
$N_{Ed} \leq N_{Rd}$			639,8086 < 780,2234	verified (0,82)
<b>SECTION</b>				
$N_{t,Rd} =$	984,5000	[kN]	Tension capacity	$N_{t,Rd} = A_f \cdot f_y$
$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$			639,8086 < 984,5000	verified (0,65)
<b>WELDS</b>				
<b>BUTT WELDS CONNECTING A PLATE WITH THE BAR</b>				
$A_w =$	33,94	[cm <sup>2</sup> ]	Weld area	$A_w = 2 \cdot (h_2 + b_2 - 4 \cdot t_2 + t_2 \cdot (-4)) \cdot a_w$
$\sigma =$	188,4928	[MPa]	Normal stress in a weld	$N_{Ed} / A_w$
$\sigma_{\perp} =$	133,2845	[MPa]	Normal perpendicular stress in the weld	
$ \sigma_{\perp}  \leq 0.9 \cdot f_u / M_2$			133,2845  < 309,6000	verified (0,43)
$\beta_w =$	0,85		Correlation coefficient	[Table 4.1]
$\sqrt{ \sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 } \leq f_u / (\beta_w \cdot M_2)$			266,5681 < 404,7059	verified (0,66)
<b>Connection conforms to the code</b>				Ratio 0,82

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

II.3 - “Idea Statica”

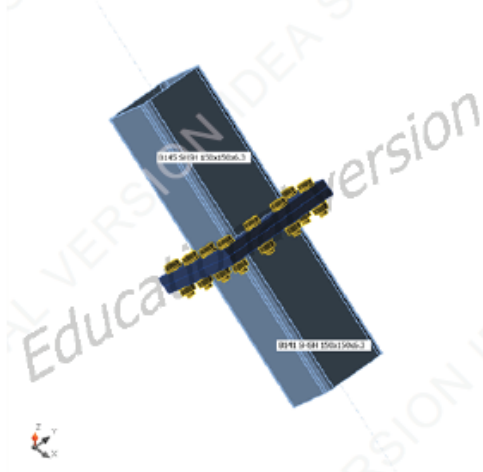
**Project item Con 366**

**Design**

Name Con 366  
 Description  
 Analysis Stress, strain/ loads in equilibrium

**Beams and columns**

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Force in
B145 SHSH 150x150x6.3	113441 - SHS150/150/6.3	180,0	-40,7	0,0	0	0	0	Node
B141 SHSH 150x150x6.3	113441 - SHS150/150/6.3	0,0	40,7	0,0	0	0	0	Node



**Cross-sections**

Name	Material
113441 - SHS150/150/6.3	S 275

**Bolts**

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M16 10.9	M16 10.9	16	1000,0	201

**Load effects (forces in equilibrium)**

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	B145 SHSH 150x150x6.3	639,8	0,0	0,1	0,0	-0,4	0,0
	B141 SHSH 150x150x6.3	639,8	0,0	-0,1	0,0	-0,4	0,0

**Check**

**Summary**

Name	Value	Status
Analysis	100,0%	OK
Plates	1,0 < 5%	OK
Bolts	91,6 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

**Plates**

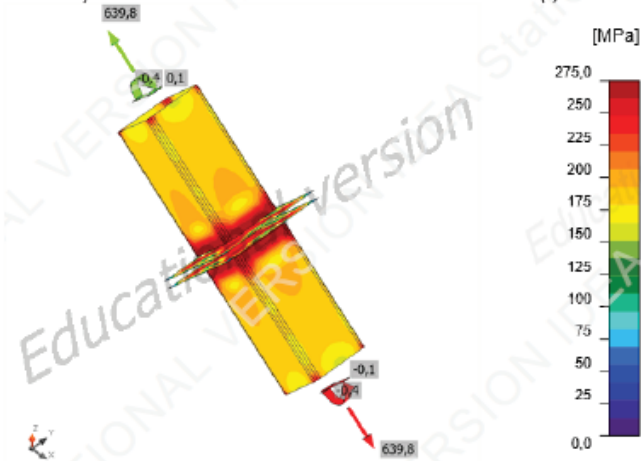
Name	Thickness [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{p1}$ [%]	Status
B145 SHSH 150x150x6.3	6,3	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	277,2	1,0	OK
B141 SHSH 150x150x6.3	6,3	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	277,2	1,0	OK
PP1a	17,0	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	275,1	0,1	OK
PP1b	17,0	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	275,1	0,1	OK

**Design data**

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 275	275,0	5,0

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

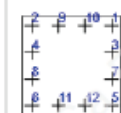
Strain check, ULS:STD/337=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+6\*0.54+10\*0.45+12\*1.50(1)



Equivalent stress, ULS:STD/337=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+6\*0.54+10\*0.45+12\*1.50(1)

**Bolts**

Name	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	V [kN]	$U_t$ [%]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_t$ [%]	$U_{ts}$ [%]	Status
B1	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	44,1	0,0	39,0	94,9	0,0	27,9	OK
B2	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	44,1	0,0	39,0	95,0	0,0	27,9	OK
B3	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	103,3	0,0	91,4	204,8	0,0	65,3	OK
B4	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	103,3	0,0	91,4	204,8	0,0	65,3	OK
B5	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	45,4	0,0	40,2	94,9	0,0	28,8	OK
B6	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	45,4	0,0	40,1	95,0	0,0	28,7	OK
B7	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	103,4	0,0	91,5	204,8	0,0	65,4	OK
B8	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	103,4	0,0	91,5	204,8	0,0	65,4	OK
B9	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	103,3	0,0	91,4	108,4	0,0	65,3	OK
B10	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	103,3	0,0	91,3	108,3	0,0	65,3	OK
B11	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	103,5	0,0	91,6	108,3	0,0	65,4	OK
B12	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)	103,5	0,0	91,6	108,3	0,0	65,4	OK



**Design data**

Name	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M16 10.9 - 1	113,0	311,7	62,8

**Symbol explanation**

- $F_{t,Rd}$  Bolt tension resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
- $F_{t,Ed}$  Tension force
- $B_{p,Rd}$  Punching shear resistance
- V Resultant of shear forces  $V_y, V_z$  in bolt
- $F_{v,Rd}$  Bolt shear resistance EN\_1993-1-8 table 3.4
- $F_{b,Rd}$  Plate bearing resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
- $U_t$  Utilization in tension
- $U_s$  Utilization in shear
- $U_{ts}$  Utilization in tension and shear EN 1993-1-8 table 3.4

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	Ut [%]	status
PP1b	B141 SHSH 150x150x6.3-arc 6	6,3	7	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)						OK
PP1b	B141 SHSH 150x150x6.3-w 3	6,3	119	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)						OK
PP1b	B141 SHSH 150x150x6.3-arc 7	6,3	7	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)						OK
PP1b	B141 SHSH 150x150x6.3-arc 8	6,3	7	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)						OK
PP1b	B141 SHSH 150x150x6.3-arc 9	6,3	7	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)						OK
PP1b	B141 SHSH 150x150x6.3-w 4	6,3	119	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)						OK
PP1b	B141 SHSH 150x150x6.3-arc 10	6,3	7	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)						OK
PP1b	B141 SHSH 150x150x6.3-arc 11	6,3	7	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)						OK
PP1b	B141 SHSH 150x150x6.3-arc 12	6,3	7	ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(1)						OK

**Symbol explanation**

$\sigma_{w,Ed}$	Equivalent stress
$\sigma_{w,Rd}$	Equivalent stress resistance
$\sigma_{\perp}$	Perpendicular stress
$\tau_{\parallel}$	Shear stress parallel to weld axis
$\tau_{\perp}$	Shear stress perpendicular to weld axis
$0.9 \sigma$	Perpendicular stress resistance - $0.9 \cdot f_w / \gamma_{M2}$
$\beta_w$	Correlation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1
Ut	Utilization
Utc	Weld capacity utilization

**Buckling**

Buckling analysis was not calculated.

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

**III. Ligações tipo SHS 140x5 - SHS 140x5 (ligação nº24)**

III.1 - Folha de Cálculo

Categoria da Ligação	
Corte	
Tração	E

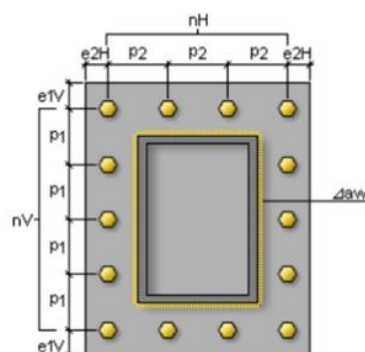
Tipo de furo	Normal
Norma do Aço	EN 10025
Disposição furos	Normal

EuroCode	pt 3-2 (pontes)
----------	-----------------

Parafusos	
Tipo	M16
Classe	10,9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	900
$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	1000

Aço chapa	S 275
$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	275
$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	430

Nº barra	45	4
Secção	SHS 140x140x5	SHS 140x140x5
h	140,00 mm	140,00 mm
b	140,00 mm	140,00 mm
$t_w$	5,00 mm	5,00 mm
$t_f$	5,00 mm	5,00 mm



Outros Dados	
Nº parafusos (nH)	3
Nº parafusos (nV)	3
nº parafusos	8

Combinação		54 (C) / 45 / origin (368)
		ELU SC +
Esforços de cálculo na Ligação	FX (kN)	-381,61 kN
	FY (kN)	0,00 kN
	FZ (kN)	0,07 kN
	MX (kNm)	0,00 kN.m
	MY (kNm)	0,34 kN.m
	MZ (kNm)	0,00 kN.m

Distâncias (Quadro 3.3 do EC3-1-8)			
Distancia	Mínimo	Máximo	Adotado
e1H (mm)	21,6	104	25
e2V (mm)	21,6	104	25
p1 (mm)	39,6	200	100,0
p2 (mm)	43,2	200	100,0

Resistências dos parafusos		
Resistencia ao punçoamento	dm (mm)	25,4
	tp (mm)	16
	$B_{p,Rd}$ (kN)	263,26
	nº parafusos	8
	$B_{p,Rd}^{total}$ (kN)	2106,08

Resistências dos parafusos		
Resistencia à tração	Cabeça Parafuso	Outros
	K2	0,90
	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	157
	$F_{t,Rd}$ (kN)	113,04
Resistencia à tração	nº parafusos	8
	$F_{t,Rd}^{Total}$ (kN)	904,32

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”



Resistencia da soldadura (Método Simplificado)		
Resistencia da soldadura	$\beta_w$	0,9
	Aço da Soldadura	S 275
	$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	430,0
	$f_{vw,d}$ (N/mm <sup>2</sup> )	233,7
Tração	Espessura (mm)	5,0
	Comprimento (mm)	560,0
	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	2800,0
	$F_{w,Rd}$ (kN)	654,2
Tração + My	Espessura (mm)	5,0
	Comprimento (mm)	140,0
	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	700,0
	$F_{w,Rd}$ (kN)	163,6
Tração + Mz	Espessura (mm)	5,0
	Comprimento (mm)	140,0
	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	700,0
	$F_{w,Rd}$ (kN)	163,6
Vy	Espessura (mm)	5,0
	Comprimento (mm)	280,0
	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	1400,0
	$F_{w,Rd}$ (kN)	327,1
Vz	Espessura (mm)	5,0
	Comprimento (mm)	280,0
	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	1400,0
	$F_{w,Rd}$ (kN)	327,1

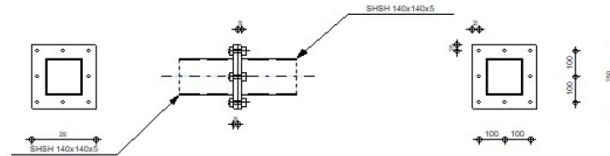
Esforços de cálculo para verificação das Ligações		Valor
Transverso de cálculo por parafuso	$F_{v,Ed}$	0,01 kN
Tração de cálculo na fiada de parafusos paralelos ao eixo y-y	$F_{t,Ed,y-y}$	96,53 kN
Tração de cálculo na fiada de parafusos paralelos ao eixo z-z	$F_{t,Ed,z-z}$	95,97 kN
Tração máxima no parafuso mais solicitado	$F_{t,Ed}$	48,27 kN
Tração no cordão paralelo ao eixo y-y	$F_{t,Ed} + F_{t,Ed}(My)$	97,82 kN
Tração no cordão paralelo ao eixo z-z	$F_{t,Ed} + F_{t,Ed}(Mz)$	95,40 kN
Momento de cálculo na chapa (My)	$M_{Ed,y-y}$	2,90 kN.m
Momento de cálculo na chapa (Mz)	$M_{Ed,z-z}$	2,88 kN.m

Componente a Verificar	Esforço a Verificar		Cálculo
			Resultado
Parafusos	Tração	$F_{t,Ed} / F_{t,Rd}$	0,43
	Punçoamento	$F_{t,Rd} / B_{p,Rd}$	0,18
	Corte+tração	$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / 1.4F_{t,Rd}$	0,31
Soldadura	Tração	$F_{t,Ed} / F_{w,Rd}$	0,58
	Tração+My	$F_{tw,Ed}(My) / F_{w,Rd}$	0,60
	Tração+Mz	$F_{tw,Ed}(Mz) / F_{w,Rd}$	0,58
Chapa de Topo	Momento y-y	$M_{ed,y-y} / M_{Rd,y-y}$	0,66
	Momento z-z	$M_{ed,z-z} / M_{Rd,z-z}$	0,65

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

## III.2 – “Robot Structural”

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020 <b>Calculation of the Hollow Section End Plate splices connection</b> EN 1993-1-8:2005/AC:2009 + SN044a	 Ratio <b>0,67</b>
---	--	---



### GENERAL

Connection no.: 1  
 Connection name: HS End Plate  
 Structure node: 368  
 Structure bars: 4, 45

### RIGHT BEAM

Section: S275 SHS 140x140x5  
 $h_1 = 140$  [mm] Height of beam section  
 $b_1 = 140$  [mm] Width of beam section  
 $t_1 = 5$  [mm] Thickness of the web of beam section  
 $A_1 = 26,70$  [cm<sup>2</sup>] Cross-sectional area of a beam  
 Material: S 275  
 $f_{y1} = 275,0000$  [MPa] Resistance  
 $f_{t1} = 430,0000$  [MPa] Tensile resistance

### LEFT BEAM

Section: S275 SHS 140x140x5  
 $h_2 = 140$  [mm] Height of beam section  
 $b_2 = 140$  [mm] Width of beam section  
 $t_2 = 5$  [mm] Thickness of the web of beam section  
 $A_2 = 26,70$  [cm<sup>2</sup>] Cross-sectional area of a beam  
 Material: S 275  
 $f_{y2} = 275,0000$  [MPa] Resistance  
 $f_{t2} = 430,0000$  [MPa] Tensile resistance

### PLATE

$l_p = 250$  [mm] Plate length  
 $h_p = 250$  [mm] Plate height  
 $t_p = 16$  [mm] Plate thickness  
 Material: S 275  
 $f_{yp} = 275,0000$  [MPa] Design resistance  
 $f_{tp} = 430,0000$  [MPa] Tensile resistance

### BOLTS

Connection category E  
 Class = 10.9 Bolt class  
 $d = 16$  [mm] Bolt diameter  
 $d_0 = 18$  [mm] Bolt opening diameter  
 $A_s = 1,57$  [cm<sup>2</sup>] Effective section area of a bolt  
 $A_v = 2,01$  [cm<sup>2</sup>] Area of bolt section  
 $f_{yb} = 900,0000$  [MPa] Yield strength of bolt  
 $f_{ub} = 1000,0000$  [MPa] Bolt tensile resistance  
 $n_H = 3$  Number of bolt columns  
 $e_{2H} = 25$  [mm] Distance from vertical edge of a plate  
 $p_2 = 100$  [mm] Horizontal spacing  
 $n_V = 3$  Number of bolt rows  
 $e_{1V} = 25$  [mm] Distance from horizontal edge of a plate  
 $p_1 = 100$  [mm] Vertical spacing

### WELDS

$a_w = 6$  [mm]

### MATERIAL FACTORS

$\gamma_{M0} = 1,00$	Partial safety factor	[2.2]
$\gamma_{M1} = 1,00$	Partial safety factor	[2.2]
$\gamma_{M2} = 1,25$	Partial safety factor	[2.2]
$\gamma_{M3} = 1,25$	Partial safety factor	[2.2]

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

## LOADS

Case: 54: ULS: STD/49=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+6\*1.35+10\*0.45+13\*0.90 (1+2+6)\*1.35+10\*0.45+13\*0.90+(191+171+193+173)\*-1.35

## ULTIMATE LIMIT STATE

$N_{Ed1}$	=	381,6066	[kN]	Axial force
$N_{Ed2}$	=	381,6066	[kN]	Axial force

Only axial forces are taken into account for the connection verification

## RESULTS

### RIGHT SIDE

#### BOLTED CONNECTION CHECK - CATEGORY E

##### BOLT FAILURE

$F_{t,Rd}$	=	113,0400	[kN]	Tensile resistance of a single bolt	$F_{t,Rd} = 0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_s / M_2$
$B_{p,Rd}$	=	263,2604	[kN]	Design punching shear resistance of the bolt head and the nut	$B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_m \cdot f_{ub} \cdot f_{ub}) / M_2$
$N_{Ed} \leq n_b \cdot F_{t,Rd}$		381,6066 <	904,3200	verified	(0,42)
$N_{Ed} \leq n_b \cdot B_{p,Rd}$		381,6066 <	2106,0835	verified	(0,18)

##### BOLT FAILURE WITH ENDPLATE YIELDING

Calculation parameters according with NCCI: SN044a

$e_2$	=	25	[mm]	Distance from vertical edge of a plate	$e_2 = e_{2H}$
$e_1$	=	30	[mm]	Distance from vertical edge of a section	$e_1 = 0.5 \cdot (l_p - b) - e_2$
$b'$	=	27	[mm]	Coefficient	$b' = e_1 - 0.5 \cdot d + t_1$
$\delta$	=	0,82		Coefficient	$\delta = 1 - d_0 / p_1$
$K$	=	0,04	[cm <sup>2</sup> ·kN]	Coefficient	$K = (4 \cdot b') / ((0.9 \cdot f_{yp} \cdot p_1) / M_0)$
$e_{eff}$	=	25	[mm]	Effective distance	$e_{eff} = \min(e_2; 1.25 \cdot e_1)$
$\alpha$	=	0,62		Coefficient	$\alpha = \max[0.0; (((K \cdot F_{t,Rd}) / t_p^2) - 1) \cdot ((e_{eff} + 0.5 \cdot d) / (\delta \cdot (e_{eff} + e_1 + t_1)))]$
$P_t$	=	47,7008	[kN]	Design tensile force per bolt	$P_t = N_{Ed} / n_b$
$t_{min}$	=	11	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{min} = \sqrt{[K \cdot P_t] / (1 + \delta)}$
$t_{max}$	=	14	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{max} = \sqrt{[K \cdot P_t]}$
$N_{RdV}$	=	425,1456	[kN]	Design tensile resistance of splice	$N_{RdV} = t_p^2 \cdot (1 + \delta \cdot \alpha) \cdot n_b / (K \cdot M_2)$

Calculation parameters according with NCCI: SN044a

$e_2$	=	25	[mm]	Distance from horizontal edge of a plate	$e_2 = e_{1V}$
$e_1$	=	30	[mm]	Distance from horizontal edge of a section	$e_1 = 0.5 \cdot (h_p - h) - e_2$
$b'$	=	27	[mm]	Coefficient	$b' = e_1 - 0.5 \cdot d + t_1$
$\delta$	=	0,82		Coefficient	$\delta = 1 - d_0 / p_2$
$K$	=	0,04	[cm <sup>2</sup> ·kN]	Coefficient	$K = (4 \cdot b') / ((0.9 \cdot f_{yp} \cdot p_2) / M_0)$
$e_{eff}$	=	25	[mm]	Effective distance	$e_{eff} = \min(e_2; 1.25 \cdot e_1)$
$\alpha$	=	0,62		Coefficient	$\alpha = \max[0.0; (((K \cdot F_{t,Rd}) / t_p^2) - 1) \cdot ((e_{eff} + 0.5 \cdot d) / (\delta \cdot (e_{eff} + e_1 + t_1)))]$
$P_t$	=	47,7008	[kN]	Design tensile force per bolt	$P_t = N_{Ed} / n_b$
$t_{min}$	=	11	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{min} = \sqrt{[K \cdot P_t] / (1 + \delta)}$
$t_{max}$	=	14	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{max} = \sqrt{[K \cdot P_t]}$
$N_{RdH}$	=	141,7152	[kN]	Design tensile resistance of splice	$N_{RdH} = t_p^2 \cdot (1 + \delta \cdot \alpha) \cdot n_b / (K \cdot M_2)$

$N_{Rd}$	=	566,8608	[kN]	Tensile resistance	$N_{Rd} = N_{RdV} + N_{RdH}$
$N_{Ed} \leq N_{Rd}$		381,6066 <	566,8608	verified	(0,67)

#### SECTION

$N_{t,Rd}$	=	734,2500	[kN]	Tension capacity	$N_{t,Rd} = A_t \cdot f_y$
$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$		381,6066 <	734,2500	verified	(0,52)

#### WELDS

##### FILLET WELDS CONNECTING A PLATE WITH THE BAR

$A_w$	=	32,83	[cm <sup>2</sup> ]	Weld area	$A_w = 2 \cdot (h_1 + b_1 + r_1 \cdot (\pi - 4)) \cdot a_w$
$\sigma$	=	116,2463	[MPa]	Normal stress in a weld	$\sigma = N_{Ed} / A_w$
$\sigma_{\perp}$	=	82,1985	[MPa]	Normal perpendicular stress in the weld	$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2}$
$ \sigma_{\perp}  \leq 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$		82,1985 <	309,6000	verified	(0,27)
$t_{\perp}$	=	82,1985	[MPa]	Perpendicular tangent stress	$t_{\perp} = \sigma_{\perp}$
$\beta_w$	=	0,85		Correlation coefficient	[Table 4.1]
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot t_{\perp}^2]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$		164,3970 <	404,7059	verified	(0,41)

#### LEFT SIDE

#### BOLTED CONNECTION CHECK - CATEGORY E

##### BOLT FAILURE

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

$F_{t,Rd} =$	113,0400	[kN]	Tensile resistance of a single bolt	$F_{t,Rd} = 0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$	
$B_{p,Rd} =$	263,2604	[kN]	Design punching shear resistance of the bolt head and the nut	$B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_p \cdot t_p \cdot f_{ub}) / \gamma_{M2}$	
$N_{Ed} \leq n_b \cdot F_{t,Rd}$	381,6066	<	904,3200	verified	(0,42)
$N_{Ed} \leq n_b \cdot B_{p,Rd}$	381,6066	<	2106,0835	verified	(0,18)

**BOLT FAILURE WITH ENDPATE YIELDING**

Calculation parameters according with NCCI: SN044a

$e_2 =$	25	[mm]	Distance from vertical edge of a plate	$e_2 = e_{2H}$
$e_1 =$	30	[mm]	Distance from vertical edge of a section	$e_1 = 0.5 \cdot (l_p - h_p) - e_2$
$b' =$	27	[mm]	Coefficient	$b' = e_1 - 0.5 \cdot d + t_i$
$\delta =$	0,82		Coefficient	$\delta = 1 - d_0 / p_1$
$K =$	0,04	[cm <sup>2</sup> /kN]	Coefficient	$K = (4 \cdot b') / ((0.9 \cdot f_{yp} \cdot p_1) / \gamma_{M0})$
$e_{eff} =$	25	[mm]	Effective distance	$e_{eff} = \min(e_2, 1.25 \cdot e_1)$
$\alpha =$	0,62		Coefficient	$\alpha = \max[0.0; (((K \cdot F_{t,Rd}) / t_p^2) - 1) \cdot ((e_{eff} + 0.5 \cdot d) / (\delta \cdot (e_{eff} + e_1 + t_i)))]$
$P_t =$	47,7008	[kN]	Design tensile force per bolt	$P_t = N_{Ed} / n_b$
$t_{min} =$	11	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{min} = \sqrt{[K \cdot P_t / (1 + \delta)]}$
$t_{max} =$	14	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{max} = \sqrt{[K \cdot P_t]}$
$N_{RdV} =$	425,1456	[kN]	Design tensile resistance of splice	$N_{RdV} = t_p^2 \cdot (1 + \delta \cdot \alpha) \cdot n_b / (K \cdot \gamma_{M2})$

Calculation parameters according with NCCI: SN044a

$e_2 =$	25	[mm]	Distance from horizontal edge of a plate	$e_2 = e_{1V}$
$e_1 =$	30	[mm]	Distance from horizontal edge of a section	$e_1 = 0.5 \cdot (l_p - h_p) - e_2$
$b' =$	27	[mm]	Coefficient	$b' = e_1 - 0.5 \cdot d + t_i$
$\delta =$	0,82		Coefficient	$\delta = 1 - d_0 / p_2$
$K =$	0,04	[cm <sup>2</sup> /kN]	Coefficient	$K = (4 \cdot b') / ((0.9 \cdot f_{yp} \cdot p_2) / \gamma_{M0})$
$e_{eff} =$	25	[mm]	Effective distance	$e_{eff} = \min(e_2, 1.25 \cdot e_1)$
$\alpha =$	0,62		Coefficient	$\alpha = \max[0.0; (((K \cdot F_{t,Rd}) / t_p^2) - 1) \cdot ((e_{eff} + 0.5 \cdot d) / (\delta \cdot (e_{eff} + e_1 + t_i)))]$
$P_t =$	47,7008	[kN]	Design tensile force per bolt	$P_t = N_{Ed} / n_b$
$t_{min} =$	11	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{min} = \sqrt{[K \cdot P_t / (1 + \delta)]}$
$t_{max} =$	14	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{max} = \sqrt{[K \cdot P_t]}$
$N_{RdH} =$	141,7152	[kN]	Design tensile resistance of splice	$N_{RdH} = t_p^2 \cdot (1 + \delta \cdot \alpha) \cdot n_b / (K \cdot \gamma_{M2})$

$N_{Rd} =$	566,8608	[kN]	Tensile resistance	$N_{Rd} = N_{RdV} + N_{RdH}$	
$N_{Ed} \leq N_{Rd}$	381,6066	<	566,8608	verified	(0,67)

**SECTION**

$N_{t,Rd} =$	734,2500	[kN]	Tension capacity	$N_{t,Rd} = A_t \cdot f_y$	
$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$	381,6066	<	734,2500	verified	(0,52)

**WELDS**

**FILLET WELDS CONNECTING A PLATE WITH THE BAR**

$A_w =$	32,83	[cm <sup>2</sup> ]	Weld area	$A_w = 2 \cdot (h_2 + b_2 + r_2 \cdot (\pi - 4)) \cdot a_w$	
$\sigma =$	116,2463	[MPa]	Normal stress in a weld	$N_{Ed} / A_w$	
$\sigma_{\perp} =$	82,1985	[MPa]	Normal perpendicular stress in the weld	$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2}$	
$ \sigma_{\perp}  \leq 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$	82,1985	<	309,6000	verified	(0,27)
$\tau_{\perp} =$	82,1985	[MPa]	Perpendicular tangent stress	$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp}$	
$\beta_w =$	0,85		Correlation coefficient	[Table 4.1]	
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$	164,3970	<	404,7059	verified	(0,41)

**Connection conforms to the code** Ratio 0,67

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT  
STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

III.3 - “Idea Statica”

**Project item Con 366**

**Design**

Name Con 366  
 Description  
 Analysis Stress, strain/ simplified loading

**Beams and columns**

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Forces in
1_SHSH 140x5.0	113441 - SHS140/140/5.0	180,0	-40,7	0,0	0	0	0	Node
2_SHSH 140x5.0	113441 - SHS140/140/5.0	0,0	40,7	0,0	0	0	0	Node



**Cross-sections**

Name	Material
113441 - SHS140/140/5.0	S 275

**Bolts**

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M16 10.9	M16 10.9	16	1000,0	201

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Load effects (equilibrium not required)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	1_SHSH 140x5.0	381,6	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0

Check

Summary

Name	Value	Status
Analysis	100,0%	OK
Plates	0,6 < 5%	OK
Bolts	91,0 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

Plates

Name	Thickness [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	Status
1_SHSH 140x5.0	5,0	LE1	276,2	0,6	OK
2_SHSH 140x5.0	5,0	LE1	276,2	0,6	OK
PP1a	16,0	LE1	238,8	0,0	OK
PP1b	16,0	LE1	238,8	0,0	OK

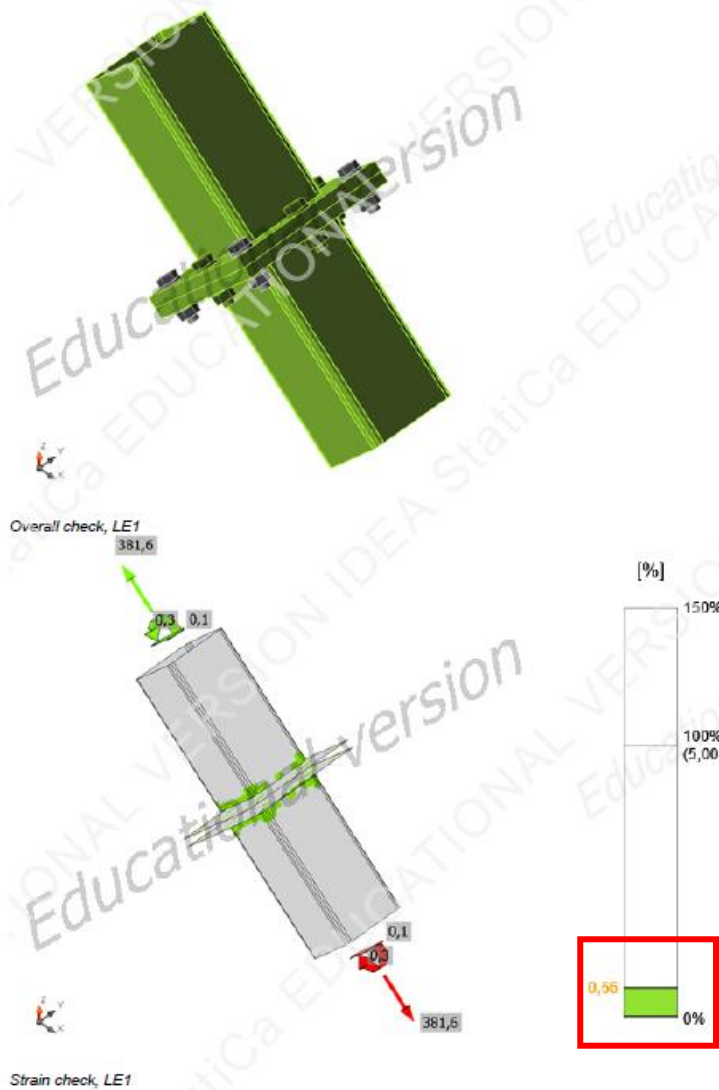
Design data

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 275	275,0	5,0

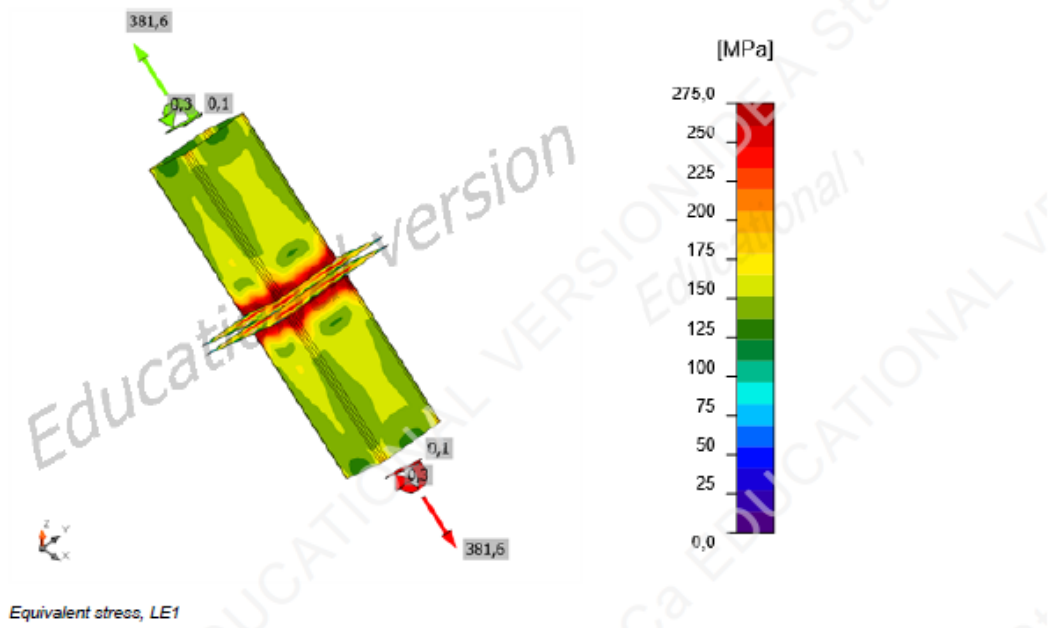
Symbol explanation

$\epsilon_{pl}$	Strain
$\sigma_{Ed}$	Eq. stress
$f_y$	Yield strength
$\epsilon_{lim}$	Limit of plastic strain

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT  
STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”



ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”



Bolts

	Name	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	$V$ [kN]	$U_t$ [%]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_s$ [%]	$U_{ts}$ [%]	Status
	B1	LE1	52,0	0,0	46,0	89,2	0,0	32,9	OK
	B2	LE1	52,1	0,0	46,1	89,2	0,0	32,9	OK
	B3	LE1	50,5	0,0	44,7	89,6	0,0	32,0	OK
	B4	LE1	50,5	0,0	44,7	89,6	0,0	32,0	OK
	B5	LE1	102,0	0,0	90,2	81,5	0,0	64,5	OK
	B6	LE1	101,8	0,0	90,0	81,5	0,0	64,3	OK
	B7	LE1	102,9	0,0	91,0	193,1	0,0	65,0	OK
	B8	LE1	102,9	0,0	91,0	193,1	0,0	65,0	OK

Design data

Name	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M16 10.9 - 1	113,0	293,4	62,8

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT  
STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

**Welds (Maximal value used, plastic redistribution recommended)**

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	Ut [%]	Status
PP1a	1_SHSH 140x5.0-w 1	5,0	115	LE1						OK
PP1a	1_SHSH 140x5.0-arc 1	5,0	5	LE1						OK
PP1a	1_SHSH 140x5.0-arc 2	5,0	5	LE1						OK
PP1a	1_SHSH 140x5.0-arc 3	5,0	5	LE1						OK
PP1a	1_SHSH 140x5.0-w 2	5,0	115	LE1						OK
PP1a	1_SHSH 140x5.0-arc 4	5,0	5	LE1						OK
PP1a	1_SHSH 140x5.0-arc 5	5,0	5	LE1						OK
PP1a	1_SHSH 140x5.0-arc 6	5,0	5	LE1						OK
PP1a	1_SHSH 140x5.0-w 3	5,0	115	LE1						OK
PP1a	1_SHSH 140x5.0-arc 7	5,0	5	LE1						OK
PP1a	1_SHSH 140x5.0-arc 8	5,0	5	LE1						OK
PP1a	1_SHSH 140x5.0-arc 9	5,0	5	LE1						OK
PP1a	1_SHSH 140x5.0-w 4	5,0	115	LE1						OK
PP1a	1_SHSH 140x5.0-arc 10	5,0	5	LE1						OK
PP1a	1_SHSH 140x5.0-arc 11	5,0	5	LE1						OK
PP1a	1_SHSH 140x5.0-arc 12	5,0	5	LE1						OK
PP1b	2_SHSH 140x5.0-w 1	5,0	115	LE1						OK
PP1b	2_SHSH 140x5.0-arc 1	5,0	5	LE1						OK
PP1b	2_SHSH 140x5.0-arc 2	5,0	5	LE1						OK
PP1b	2_SHSH 140x5.0-arc 3	5,0	5	LE1						OK
PP1b	2_SHSH 140x5.0-w 2	5,0	115	LE1						OK
PP1b	2_SHSH 140x5.0-arc 4	5,0	5	LE1						OK
PP1b	2_SHSH 140x5.0-arc 5	5,0	5	LE1						OK
PP1b	2_SHSH 140x5.0-arc 6	5,0	5	LE1						OK
PP1b	2_SHSH 140x5.0-w 3	5,0	115	LE1						OK
PP1b	2_SHSH 140x5.0-arc 7	5,0	5	LE1						OK
PP1b	2_SHSH 140x5.0-arc 8	5,0	5	LE1						OK
PP1b	2_SHSH 140x5.0-arc 9	5,0	5	LE1						OK
PP1b	2_SHSH 140x5.0-w 4	5,0	115	LE1						OK
PP1b	2_SHSH 140x5.0-arc 10	5,0	5	LE1						OK
PP1b	2_SHSH 140x5.0-arc 11	5,0	5	LE1						OK
PP1b	2_SHSH 140x5.0-arc 12	5,0	5	LE1						OK

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$T_{\parallel}$ [MPa]	$T_{\perp}$ [MPa]	Ut [%]	Status
PP1b	B45 SHSH 140x140x5-arc 4	5.0	5	ULS:STD/49=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+13*0.90(2)						OK
PP1b	B45 SHSH 140x140x5-arc 5	5.0	5	ULS:STD/49=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+13*0.90(2)						OK
PP1b	B45 SHSH 140x140x5-arc 6	5.0	5	ULS:STD/49=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+13*0.90(2)						OK
PP1b	B45 SHSH 140x140x5-w 3	5.0	115	ULS:STD/49=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+13*0.90(2)						OK
PP1b	B45 SHSH 140x140x5-arc 7	5.0	5	ULS:STD/49=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+13*0.90(2)						OK
PP1b	B45 SHSH 140x140x5-arc 8	5.0	5	ULS:STD/49=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+13*0.90(2)						OK
PP1b	B45 SHSH 140x140x5-arc 9	5.0	5	ULS:STD/49=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+13*0.90(2)						OK
PP1b	B45 SHSH 140x140x5-w 4	5.0	115	ULS:STD/49=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+13*0.90(2)						OK
PP1b	B45 SHSH 140x140x5-arc 10	5.0	5	ULS:STD/49=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+13*0.90(2)						OK
PP1b	B45 SHSH 140x140x5-arc 11	5.0	5	ULS:STD/49=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+13*0.90(2)						OK
PP1b	B45 SHSH 140x140x5-arc 12	5.0	5	ULS:STD/49=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+13*0.90(2)						OK

Symbol explanation

$\sigma_{w,Ed}$	Equivalent stress
$\sigma_{w,Rd}$	Equivalent stress resistance
$\sigma_{\perp}$	Perpendicular stress
$T_{\parallel}$	Shear stress parallel to weld axis
$T_{\perp}$	Shear stress perpendicular to weld axis
$0.9 \sigma$	Perpendicular stress resistance - $0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$
$\beta_w$	Corelation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1
Ut	Utilization
Utc	Weld capacity utilization

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

**IV. Ligações tipo SHS 140x5 - SHS 140x5 (Nó nº25)**

IV.1 - Folha de Cálculo

Categoria da Ligação	
Corte	
Tração	E

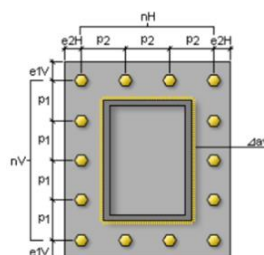
Tipo de furo	Normal
Norma do Aço	EN 10025
Disposição furos	Normal

EuroCode	pt 3-2 (pontes)
----------	-----------------

Parafusos	
Tipo	M12
Classe	10.9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	900
$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	1000

Aço chapa	S 275
$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	275
$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	430

Nº barra	160	96
Secção	SHSH 120x120x5	SHSH 120x120x5
h	120,00 mm	120,00 mm
b	120,00 mm	120,00 mm
$t_w$	5,00 mm	5,00 mm
$t_f$	5,00 mm	5,00 mm



Outros Dados	
Nº parafusos (nH)	3
Nº parafusos (nV)	3
Nº parafusos	8

Combinação		160/ origin (371)/ 105 (C)
		ELU W (Y-)
Esforços de cálculo na Ligação	FX (kN)	-157,16 kN
	FY (kN)	-0,06 kN
	FZ (kN)	1,25 kN
	MX (kNm)	0,00 kN.m
	MY (kNm)	6,11 kN.m
	MZ (kNm)	0,31 kN.m

Chapas de Topo		
Dimensões	Chapa 1	Chapa 2
b (mm)	230	230
h (mm)	230	230
esp (mm)	16	16
Wpl,chapa,y-y	1,47E+4 mm <sup>3</sup>	1,47E+4 mm <sup>3</sup>
MRd,y-y	4,05 kN.m	4,05 kN.m
Wpl,chapa,z-z	1,47E+4 mm <sup>3</sup>	1,47E+4 mm <sup>3</sup>
MRd,z-z	4,05 kN.m	4,05 kN.m

Distâncias (Quadro 3.3 do EC3-1-8)			
Distancia	Mínimo	Máximo	Adotado
e1H (mm)	21,6	104	25
e2V (mm)	21,6	104	25
p1 (mm)	39,6	200	90,0
p2 (mm)	43,2	200	90,0

Resistências dos parafusos		
Resistencia ao punçoamento	dm (mm)	19.0
	tp (mm)	11
	$B_{p,Rd}$ (kN)	135.63
	nº parafusos	8
	$B_{p,Rd}^{total}$ (kN)	1085.02

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Resistencias dos parafusos		
Resistencia à tração	Cabeça Parafuso	Outros
		K2
	As (mm <sup>2</sup> )	84.3
	F <sub>t,Rd</sub> (kN)	60.70
Resistencia à tração	nº parafusos	8
	F <sub>t,Rd</sub> <sup>Total</sup> (kN)	485.57

Resistencia da soldadura (Método Simplificado)		
Resistencia da soldadura	$\beta_w$	0,9
	Aço da Soldadura	S 275
	f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	430,0
	f <sub>w,d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	233,7
Tração	Espessura (mm)	5,0
	Comprimento (mm)	480,0
	A <sub>w</sub> (mm <sup>2</sup> )	2400,0
	F <sub>w,Rd</sub> (kN)	560,8
Tração + My	Espessura (mm)	5,0
	Comprimento (mm)	120,0
	A <sub>w</sub> (mm <sup>2</sup> )	600,0
	F <sub>w,Rd</sub> (kN)	140,2
Tração + Mz	Espessura (mm)	5,0
	Comprimento (mm)	120,0
	A <sub>w</sub> (mm <sup>2</sup> )	600,0
	F <sub>w,Rd</sub> (kN)	140,2
Vy	Espessura (mm)	5,0
	Comprimento (mm)	240,0
	A <sub>w</sub> (mm <sup>2</sup> )	1200,0
	F <sub>w,Rd</sub> (kN)	280,4
Vz	Espessura (mm)	5,0
	Comprimento (mm)	240,0
	A <sub>w</sub> (mm <sup>2</sup> )	1200,0
	F <sub>w,Rd</sub> (kN)	280,4

Esforços de cálculo para verificação das Ligações		Valor
Transverso de cálculo por parafuso	Fv,Ed	0,16 kN
Tração de cálculo na fiada de parafusos paralelos ao eixo y-y	Ft,Ed,y-y	62,47 kN
Tração cálculo na fiada de parafusos paralelos ao eixo z-z	Ft,Ed,z-z	51,74 kN
Tração máxima no parafuso mais solicitado	Ft,Ed	31,52 kN
Tração no cordão paralelo ao eixo y-y	Ft,Ed+Ft,Ed(My)	90,17 kN
Tração no cordão paralelo ao eixo z-z	Ft,Ed+Ft,Ed(Mz)	41,86 kN
Momento de cálculo na chapa (My)	MEd,y-y	1,87 kN.m
Momento de cálculo na chapa (Mz)	MEd,z-z	1,87 kN.m

Componente a Verificar	Esforço a Verificar		Cálculo
			Resultado
Parafusos	Tração	Ft,Ed / Ft,Rd	0,28
	Punçoamento	Ft,Rd / Bp,Rd	0,12
	Corte+tração	Fv,Ed / Fv,Rd + Ft,Ed / 1.4Ft,Rd	0,20
Soldadura	Tração	Ft,Ed / Fw,Rd	0,28
	Tração+My	Ftw,Ed(My) / Fw,Rd	0,64
	Tração+Mz	Ftw,Ed(Mz) / Fw,Rd	0,30
Chapa de Topo	Momento y-y	Med,y-y/MRd,y-y	0,46
	Momento z-z	Med,z-z/MRd,z-z	0,38

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

## IV.2 – “Robot Strutral”

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019	<span style="color: green; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">OK</span>
<b>Calculation of the Hollow Section End Plate splices connection</b>		
EN 1993-1-8:2005/AC:2009 + SNO44a		Ratio 0.45

### GENERAL

Connection no.: 25  
 Connection name: HS End Plate  
 Structure node: 371  
 Structure bars: 95, 160

### RIGHT BEAM

Section: SHSH 150x150x6.3  
 $h_1 = 150$  [mm] Height of beam section  
 $b_1 = 150$  [mm] Width of beam section  
 $t_1 = 6$  [mm] Thickness of the web of beam section  
 $A_1 = 35.80$  [cm<sup>2</sup>] Cross-sectional area of a beam  
 Material: S 275  
 $f_{y1} = 275.0000$  [MPa] Resistance  
 $f_{u1} = 430.0000$  [MPa] Tensile resistance

### LEFT BEAM

Section: SHSH 150x150x6.3  
 $h_2 = 150$  [mm] Height of beam section  
 $b_2 = 150$  [mm] Width of beam section  
 $t_2 = 6$  [mm] Thickness of the web of beam section  
 $A_2 = 35.80$  [cm<sup>2</sup>] Cross-sectional area of a beam  
 Material: S 275  
 $f_{y2} = 275.0000$  [MPa] Resistance  
 $f_{u2} = 430.0000$  [MPa] Tensile resistance

### PLATE

$l_p = 230$  [mm] Plate length  
 $h_p = 230$  [mm] Plate height  
 $t_p = 11$  [mm] Plate thickness  
 Material: S 275  
 $f_{yp} = 275.0000$  [MPa] Design resistance  
 $f_{up} = 430.0000$  [MPa] Tensile resistance

### BOLTS

Connection category E  
 Class = 10.9 Bolt class  
 $d = 12$  [mm] Bolt diameter  
 $d_0 = 13$  [mm] Bolt opening diameter  
 $A_b = 0.84$  [cm<sup>2</sup>] Effective section area of a bolt  
 $A_v = 1.13$  [cm<sup>2</sup>] Area of bolt section  
 $f_{yb} = 900.0000$  [MPa] Yield strength of bolt  
 $f_{ub} = 1000.0000$  [MPa] Bolt tensile resistance  
 $n_H = 3$  Number of bolt columns  
 $e_{2H} = 25$  [mm] Distance from vertical edge of a plate  
 $p_2 = 90$  [mm] Horizontal spacing  
 $n_V = 3$  Number of bolt rows  
 $e_{1V} = 25$  [mm] Distance from horizontal edge of a plate  
 $p_1 = 90$  [mm] Vertical spacing

### WELDS

$a_w = 5$  [mm]

### MATERIAL FACTORS

$\gamma_{M0} = 1.00$	Partial safety factor	[2.2]
$\gamma_{M1} = 1.00$	Partial safety factor	[2.2]
$\gamma_{M2} = 1.25$	Partial safety factor	[2.2]
$\gamma_{M3} = 1.25$	Partial safety factor	[2.2]

### LOADS

Case: 105: ULS:STD/221=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+6\*0.54+10\*1.50+14\*0.90 (1+2)\*1.35+6\*0.54+10\*1.50+14\*0.90+(192+194)\*-1.35+(172+174)\*-0.54

### ULTIMATE LIMIT STATE

$N_{Ed1} = 157.1569$  [kN] Axial force  
 $N_{Ed2} = 157.1569$  [kN] Axial force

Only axial forces are taken into account for the connection verification

### RESULTS

#### RIGHT SIDE

#### BOLTED CONNECTION CHECK - CATEGORY E

#### BOLT FAILURE

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

$F_{t,Rd}$	60.6960	[kN]	Tensile resistance of a single bolt	$F_{t,Rd} = 0.9f_{ub}A_s/M2$
$B_{p,Rd}$	135.6278	[kN]	Design punching shear resistance of the bolt head and the nut	$B_{p,Rd} = (0.6\pi d_m t_p f_{up})/M2$
$N_{Ed} \leq n_b F_{t,Rd}$	157.1569 < 485.5680		verified	(0.32)
$N_{Ed} \leq n_b B_{p,Rd}$	157.1569 < 1085.0221		verified	(0.14)

### BOLT FAILURE WITH ENDPATE YIELDING

Calculation parameters according with NCCI: SN044a

$e_2$	25	[mm]	Distance from vertical edge of a plate	$e_2 = e_{2H}$
$e_1$	15	[mm]	Distance from vertical edge of a section	$e_1 = 0.5(l_p - b) - e_2$
$b'$	15	[mm]	Coefficient	$b' = e_1 - 0.5d + t_f$
$\delta$	0.86		Coefficient	$\delta = 1 - d_f/p_1$
$K$	0.03	[cm <sup>2</sup> /kN]	Coefficient	$K = (4'b') / ((0.9f_{yp} p_1) / M0)$
$e_{eff}$	19	[mm]	Effective distance	$e_{eff} = \min(e_2; 1.25e_1)$
$\alpha$	0.27		Coefficient	$\alpha = \max[0.0; (((K F_{t,Rd}) / t_p^2) - 1) * ((e_{eff} + 0.5d) / (\delta * (e_{eff} + e_1 + t_f)))]$
$P_f$	19.6446	[kN]	Design tensile force per bolt	$P_f = N_{Ed} / n_b$
$t_{min}$	5	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{min} = \sqrt{[K * P_f] / (1 + \delta)}$
$t_{max}$	7	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{max} = \sqrt{[K * P_f]}$
$N_{RdV}$	260.7994	[kN]	Design tensile resistance of splice	$N_{RdV} = t_p^2 (1 + \delta \alpha) n_b / (K' / M2)$

Calculation parameters according with NCCI: SN044a

$e_2$	25	[mm]	Distance from horizontal edge of a plate	$e_2 = e_{1V}$
$e_1$	15	[mm]	Distance from horizontal edge of a section	$e_1 = 0.5(h_p - h) - e_2$
$b'$	15	[mm]	Coefficient	$b' = e_1 - 0.5d + t_f$
$\delta$	0.86		Coefficient	$\delta = 1 - d_f/p_2$
$K$	0.03	[cm <sup>2</sup> /kN]	Coefficient	$K = (4'b') / ((0.9f_{yp} p_2) / M0)$
$e_{eff}$	19	[mm]	Effective distance	$e_{eff} = \min(e_2; 1.25e_1)$
$\alpha$	0.27		Coefficient	$\alpha = \max[0.0; (((K F_{t,Rd}) / t_p^2) - 1) * ((e_{eff} + 0.5d) / (\delta * (e_{eff} + e_1 + t_f)))]$
$P_f$	19.6446	[kN]	Design tensile force per bolt	$P_f = N_{Ed} / n_b$
$t_{min}$	5	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{min} = \sqrt{[K * P_f] / (1 + \delta)}$
$t_{max}$	7	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{max} = \sqrt{[K * P_f]}$
$N_{RdH}$	86.9331	[kN]	Design tensile resistance of splice	$N_{RdH} = t_p^2 (1 + \delta \alpha) n_b / (K' / M2)$

$N_{Ed} \leq N_{Rd}$	347.7325	[kN]	Tensile resistance	$N_{Rd} = N_{RdV} + N_{RdH}$
	157.1569 < 347.7325		verified	(0.45)

### SECTION

$N_{t,Rd}$	984.5000	[kN]	Tension capacity	$N_{t,Rd} = A_s f_y$
$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$	157.1569 < 984.5000		verified	(0.16)

### WELDS

#### FILLET WELDS CONNECTING A PLATE WITH THE BAR

$A_w$	29.19	[cm <sup>2</sup> ]	Weld area	$A_w = 2 * (h_1 + b_1 + r_1 * (\pi - 4)) a_w$
$\sigma$	53.8415	[MPa]	Normal stress in a weld	$N_{Ed} / A_w$
$\sigma_{\perp}$	38.0717	[MPa]	Normal perpendicular stress in the weld	$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2}$
$ \sigma_{\perp}  \leq 0.9f_{t,w} / M2$	38.0717	[MPa]	Perpendicular tangent stress	$38.0717 < 309.6000$
			verified	(0.12)
$\beta_w$	0.85		Correlation coefficient	[Table 4.1]
$\sqrt{ \sigma_{\perp}^2 + 3\sigma_{\parallel}^2 } \leq f_{t,w} / M2$	76.1434		verified	(0.19)

### LEFT SIDE

#### BOLTED CONNECTION CHECK - CATEGORY E

**BOLT FAILURE**

$F_{t,Rd}$	60.6960	[kN]	Tensile resistance of a single bolt	$F_{t,Rd} = 0.9f_{ub}A_s/M2$
$B_{p,Rd}$	135.6278	[kN]	Design punching shear resistance of the bolt head and the nut	$B_{p,Rd} = (0.6\pi d_m t_p f_{up})/M2$
$N_{Ed} \leq n_b F_{t,Rd}$	157.1569 < 485.5680		verified	(0.32)
$N_{Ed} \leq n_b B_{p,Rd}$	157.1569 < 1085.0221		verified	(0.14)

### BOLT FAILURE WITH ENDPATE YIELDING

Calculation parameters according with NCCI: SN044a

$e_2$	25	[mm]	Distance from vertical edge of a plate	$e_2 = e_{2H}$
$e_1$	15	[mm]	Distance from vertical edge of a section	$e_1 = 0.5(l_p - b) - e_2$
$b'$	15	[mm]	Coefficient	$b' = e_1 - 0.5d + t_f$
$\delta$	0.86		Coefficient	$\delta = 1 - d_f/p_1$
$K$	0.03	[cm <sup>2</sup> /kN]	Coefficient	$K = (4'b') / ((0.9f_{yp} p_1) / M0)$
$e_{eff}$	19	[mm]	Effective distance	$e_{eff} = \min(e_2; 1.25e_1)$
$\alpha$	0.27		Coefficient	$\alpha = \max[0.0; (((K F_{t,Rd}) / t_p^2) - 1) * ((e_{eff} + 0.5d) / (\delta * (e_{eff} + e_1 + t_f)))]$
$P_f$	19.6446	[kN]	Design tensile force per bolt	$P_f = N_{Ed} / n_b$
$t_{min}$	5	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{min} = \sqrt{[K * P_f] / (1 + \delta)}$
$t_{max}$	7	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{max} = \sqrt{[K * P_f]}$
$N_{RdV}$	260.7994	[kN]	Design tensile resistance of splice	$N_{RdV} = t_p^2 (1 + \delta \alpha) n_b / (K' / M2)$

Calculation parameters according with NCCI: SN044a

$e_2$	25	[mm]	Distance from horizontal edge of a plate	$e_2 = e_{1V}$
$e_1$	15	[mm]	Distance from horizontal edge of a section	$e_1 = 0.5(h_p - h) - e_2$
$b'$	15	[mm]	Coefficient	$b' = e_1 - 0.5d + t_f$
$\delta$	0.86		Coefficient	$\delta = 1 - d_f/p_2$

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

$K =$	0.03	[cm <sup>2</sup> /kN]	Coefficient	$K = (4 \cdot b) / ((0.9 \cdot t_{fp} \cdot P_2) / M_0)$	
$e_{eff} =$	19	[mm]	Effective distance	$e_{eff} = \min(e_2, 1.25 \cdot e_1)$	
$\alpha =$	0.27		Coefficient	$\alpha = \max[0.0; (((K \cdot F_{t,Rd}) / t_p^2) - 1) \cdot ((e_{eff} + 0.5 \cdot d) / (\delta \cdot (e_{eff} + e_1 + t_1)))]$	
$P_t =$	19.6446	[kN]	Design tensile force per bolt	$P_t = N_{Ed} / n_b$	
$t_{min} =$	5	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{min} = \sqrt{[K \cdot P_t / (1 + \delta)]}$	
$t_{max} =$	7	[mm]	Minimal required thickness of end plate	$t_{max} = \sqrt{[K \cdot P_t]}$	
$N_{RdH} =$	86.9331	[kN]	Design tensile resistance of splice	$N_{RdH} = t_p^2 \cdot (1 + \delta \cdot \alpha) \cdot n_b / (K \cdot \gamma_{M2})$	
$N_{Rd} =$	347.7325	[kN]	Tensile resistance	$N_{Rd} = N_{RdV} + N_{RdH}$	
$N_{Ed} \leq N_{Rd}$	157.1569	<	347.7325	verified	Ratio 0.45
<b>SECTION</b>					
$N_{t,Rd} =$	984.5000	[kN]	Tension capacity	$N_{t,Rd} = A_t \cdot f_y$	Ratio 0.16
$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$	157.1569	<	984.5000	verified	
<b>WELDS</b>					
<b>FILLET WELDS CONNECTING A PLATE WITH THE BAR</b>					
$A_w =$	29.19	[cm <sup>2</sup> ]	Weld area	$A_w = 2 \cdot (h_2 + b_2 + r_2 \cdot (\pi - 4)) \cdot a_w$	
$\sigma =$	53.8415	[MPa]	Normal stress in a weld	$N_{Ed} / A_w$	
$\sigma_{\perp} =$	38.0717	[MPa]	Normal perpendicular stress in the weld	$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2}$	Ratio 0.12
$ \sigma_{\perp}  \leq 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$	38.0717	<	309.6000	verified	
$\tau_{\perp} =$	38.0717	[MPa]	Perpendicular tangent stress	$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp}$	
$\beta_w =$	0.85		Correlation coefficient	(Table 4.11)	
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$	76.1434	<	404.7059	verified	Ratio 0.19
<b>REMARKS</b>					
Distance between bolt and vertical edge of section is too small		15 [mm]	<	18 [mm]	
Distance between bolt and horizontal edge of section is too small		15 [mm]	<	18 [mm]	
<b>Connection conforms to the code</b>					Ratio 0.45

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

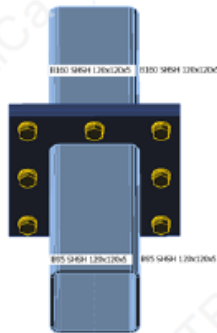
IV.3 – “Idea Statica”

Design

Name Con 371  
 Description  
 Analysis Stress, strain/ loads in equilibrium

Beams and columns

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Forces in
B95 SHSH 120x120x5	98399 - SHS120/120/5.0	-44.8	0.0	0.0	0	0	0	Node
B160 SHSH 120x120x5	98399 - SHS120/120/5.0	135.2	0.0	0.0	0	0	0	Node



Cross-sections

Name	Material
98399 - SHS120/120/5.0	S 275

Bolts

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M12 10.9	M12 10.9	12	1000.0	113

Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ULS:STD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)	B95 SHSH 120x120x5	157.2	0.1	1.3	0.0	-8.1	0.3
	B160 SHSH 120x120x5	157.2	0.1	-1.3	0.0	-8.1	-0.3

Check

Summary

Name	Value	Status
Analysis	100.0%	OK
Plates	0.7 < 5%	OK
Bolts	94.5 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

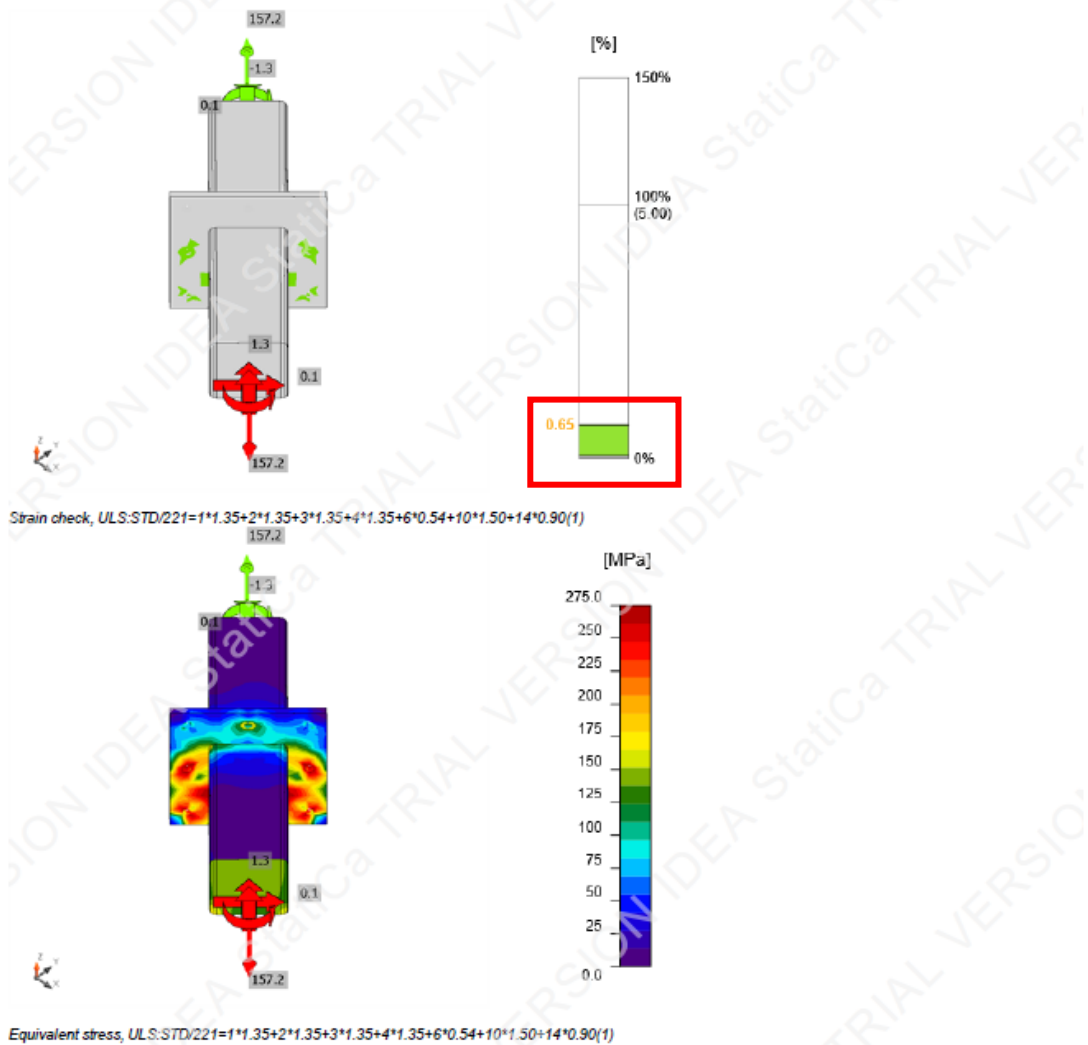
Plates

Name	Thickness [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	Status
B95 SHSH 120x120x5	5.0	ULS:STD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)	276.4	0.7	OK
B160 SHSH 120x120x5	5.0	ULS:STD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)	276.4	0.7	OK
PP1a	11.0	ULS:STD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)	275.3	0.2	OK
PP1b	11.0	ULS:STD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)	275.3	0.2	OK

Design data

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 275	275.0	5.0

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”



Bolts

Name	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	V [kN]	$U_t$ [%]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_b$ [%]	$U_{t,b}$ [%]	Status
B1	ULS:STD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)	7.5	0.2	12.4	72.9	0.5	9.3	OK
B2	ULS:STD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)	8.8	0.2	14.6	73.1	0.5	10.9	OK
B3	ULS:STD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)	35.2	0.2	58.1	73.3	0.5	42.0	OK
B4	ULS:STD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)	36.2	0.2	59.8	73.0	0.5	43.2	OK
B5	ULS:STD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)	57.1	0.1	94.5	73.1	0.3	67.7	OK
B6	ULS:STD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)	14.9	0.2	24.6	73.0	0.5	18.1	OK
B7	ULS:STD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)	51.6	0.2	85.4	113.5	0.5	61.5	OK
B8	ULS:STD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)	48.6	0.2	80.4	113.5	0.5	58.0	OK

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	Ut [%]	Status
PP1b	B160 SHSH 120x120x5-w 2	5.0	95	ULS:STD/221-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)							OK
PP1b	B160 SHSH 120x120x5-arc 4	5.0	5	ULS:STD/221-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)							OK
PP1b	B160 SHSH 120x120x5-arc 5	5.0	5	ULS:STD/221-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)							OK
PP1b	B160 SHSH 120x120x5-arc 6	5.0	5	ULS:STD/221-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)							OK
PP1b	B160 SHSH 120x120x5-w 3	5.0	95	ULS:STD/221-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)							OK
PP1b	B160 SHSH 120x120x5-arc 7	5.0	5	ULS:STD/221-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)							OK
PP1b	B160 SHSH 120x120x5-arc 8	5.0	5	ULS:STD/221-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)							OK
PP1b	B160 SHSH 120x120x5-arc 9	5.0	5	ULS:STD/221-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)							OK
PP1b	B160 SHSH 120x120x5-w 4	5.0	95	ULS:STD/221-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)							OK
PP1b	B160 SHSH 120x120x5-arc 10	5.0	5	ULS:STD/221-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)							OK
PP1b	B160 SHSH 120x120x5-arc 11	5.0	5	ULS:STD/221-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)							OK
PP1b	B160 SHSH 120x120x5-arc 12	5.0	5	ULS:STD/221-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(1)							OK

Symbol explanation

$\sigma_{w,Ed}$	Equivalent stress
$\sigma_{w,Rd}$	Equivalent stress resistance
$\sigma_{\perp}$	Perpendicular stress
$\tau_{\parallel}$	Shear stress parallel to weld axis
$\tau_{\perp}$	Shear stress perpendicular to weld axis
$0.9 \sigma$	Perpendicular stress resistance - $0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$
$\beta_w$	Correlation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1
Ut	Utilization
Ut%	Weld capacity utilization

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT  
STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Project:  
Project no:  
Author:



**Buckling**

Buckling analysis was not calculated.

**Code settings**

Item	Value	Unit	Reference
Ym0	1.00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Ym1	1.00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Ym2	1.25	-	EN 1993-1-1: 6.1
Ym3	1.25	-	EN 1993-1-8: 2.2
Yc	1.50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
Yinst	1.20	-	ETAG 001-C: 3.2.1
Joint coefficient βj	0.67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Effective area - influence of mesh size	0.10	-	
Friction coefficient - concrete	0.25	-	EN 1993-1-8
Friction coefficient in slip-resistance	0.30	-	EN 1993-1-8 tab 3.7
Limit plastic strain	0.05	-	EN 1993-1-5
Weld stress evaluation	Plastic redistribution		
Detailing	No		
Distance between bolts [d]	2.20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Distance between bolts and edge [d]	1.20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Concrete breakout resistance	Yes		ETAG 001-C
Use calculated ab in bearing check.	Yes		EN 1993-1-8: tab 3.4
Cracked concrete	Yes		
Local deformation check	No		
Local deformation limit	0.03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1

**V. Ligação tipo soldada**

V.1 – “Idea Statica”:

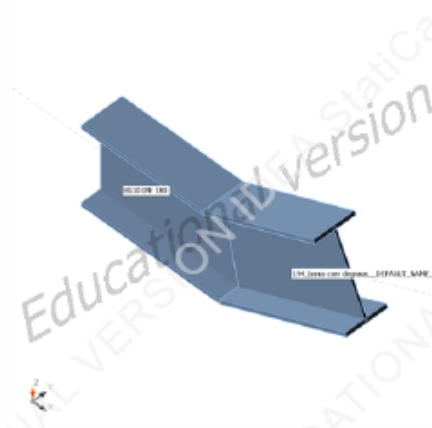
Project item Con 124

**Design**

Name Con 124  
 Description  
 Analysis Stress, strain/ loads in equilibrium

**Beams and columns**

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Forces in
B 110 IPE 180	153210 - IPE180	180,0	0,0	0,0	0	0	0	Node
194_barna com degraus_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	153210 - IPE 180	0,0	-24,1	0,0	0	0	0	Node



**Cross-sections**

Name	Material
153210 - IPE180	S 275

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
UL8:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	B110 IPE 180	-117,5	4,5	24,1	-0,1	-27,6	-0,2
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-118,1	-0,6	23,4	0,0	-27,6	0,2
UL8/10=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 14*0.50 + 19*1.00(2)	B110 IPE 180	-24,3	0,7	5,1	0,0	-5,7	-0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-24,3	0,5	4,8	0,0	-5,7	0,2
UL8:STD/341=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+10*0.45+14*1.50(7)	B110 IPE 180	-41,7	0,7	8,1	0,0	-11,9	-0,2
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-40,9	1,6	9,7	0,0	-11,9	0,5
UL8:STD/231=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*0.45+12*1.50(8)	B110 IPE 180	-90,6	2,9	17,1	-0,1	-22,5	0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-90,5	-1,4	19,0	0,0	-22,5	-0,1
UL8:STD/27=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*0.45+12*0.90(3)	B110 IPE 180	-113,2	3,1	21,2	-0,1	-30,6	-0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-112,3	-0,3	25,4	0,1	-30,6	0,2
UL8:STD/87=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(4)	B110 IPE 180	-112,6	3,4	21,4	-0,1	-30,5	-0,2
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-111,7	-0,4	25,3	0,1	-30,5	0,2
UL8:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+10*0.45+12*1.50(9)	B110 IPE 180	-80,8	2,3	14,8	-0,1	-20,5	0,2
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-80,6	-1,4	17,2	0,0	-20,5	-0,2
UL8:STD/69=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*0.45+14*0.90(10)	B110 IPE 180	-83,7	2,0	15,9	-0,1	-24,3	-0,3
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-82,2	1,4	19,9	0,1	-24,3	0,6
UL8:STD/119=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*1.50+14*0.90(11)	B110 IPE 180	-77,7	2,1	15,7	-0,1	-19,4	-0,2
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-77,2	1,1	16,3	0,0	-19,4	0,6
UL8/1=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 11*0.50 + 19*1.00(5)	B110 IPE 180	-33,1	1,1	6,5	0,0	-7,7	0,0
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-33,3	-0,3	6,5	0,0	-7,7	0,0
UL8:STD/115=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*1.50+13*0.90(12)	B110 IPE 180	-82,4	2,3	16,6	-0,1	-20,4	-0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-81,9	0,9	17,1	0,0	-20,4	0,6
UL8:STD/111=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*1.50+12*0.90(13)	B110 IPE 180	-101,9	3,1	19,9	-0,1	-24,8	0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-101,7	-0,7	20,9	0,0	-24,8	0,2
UL8:STD/103=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*1.50+11*0.90(6)	B110 IPE 180	-94,6	2,9	18,4	-0,1	-23,2	0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-94,3	-0,5	19,6	0,0	-23,2	0,2
UL8:STD/339=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+10*0.45+13*1.50(14)	B110 IPE 180	-49,4	1,0	9,6	0,0	-13,5	-0,2
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-48,7	1,3	11,1	0,0	-13,5	0,5
UL8:STD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+10*1.50+14*0.90(15)	B110 IPE 180	-37,9	0,2	6,5	0,0	-11,2	0,0
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-36,8	1,2	9,1	0,0	-11,2	0,4
UL8:STD/213=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+10*1.50+11*0.90(16)	B110 IPE 180	-54,7	0,9	9,2	-0,1	-15,0	0,2
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-53,9	-0,4	12,4	0,0	-15,0	0,0
UL8:STD/155=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+13*0.90(17)	B110 IPE 180	-97,9	3,7	20,8	-0,1	-23,2	-0,5
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-99,3	1,0	19,6	0,0	-23,3	0,5
UL8:STD/217=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+10*1.50+12*0.90(18)	B110 IPE 180	-62,0	1,2	10,7	-0,1	-16,5	0,2
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-61,3	-0,6	13,8	0,0	-16,5	0,0
UL8:STD/159=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(19)	B110 IPE 180	-93,3	3,5	19,9	-0,1	-22,3	-0,5
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-93,6	1,1	18,7	0,0	-22,3	0,6
UL8/4=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 11*0.50 + 23*1.00(1)	B110 IPE 180	-33,1	1,1	6,5	0,0	-7,7	0,0
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-33,3	-0,3	6,5	0,0	-7,7	0,0
UL8/6=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 12*0.50 + 19*1.00(2)	B110 IPE 180	-37,2	1,2	7,3	0,0	-8,5	0,0
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-37,4	-0,5	7,2	0,0	-8,5	0,0
UL8/7=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 12*0.50 + 23*1.00(3)	B110 IPE 180	-37,2	1,2	7,3	0,0	-8,5	0,0
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-37,4	-0,5	7,2	0,0	-8,5	0,0
UL8/8=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 13*0.50 + 19*1.00(4)	B110 IPE 180	-33,1	1,0	6,8	0,0	-7,7	-0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-33,2	0,5	6,5	0,0	-7,7	0,2
UL8/9=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 13*0.50 + 23*1.00(5)	B110 IPE 180	-26,9	0,8	5,6	0,0	-6,2	-0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-26,9	0,4	5,2	0,0	-6,2	0,2
UL8/11=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 14*0.50 + 23*1.00(6)	B110 IPE 180	-24,3	0,7	5,1	0,0	-5,7	-0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-24,3	0,5	4,8	0,0	-5,7	0,2
UL8/12=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 11*0.50 + 19*1.00(7)	B110 IPE 180	-33,1	1,1	6,5	0,0	-7,7	0,0
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-33,3	-0,3	6,5	0,0	-7,7	0,0
UL8/14=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 11*0.50 + 23*1.00(8)	B110 IPE 180	-33,1	1,1	6,5	0,0	-7,7	0,0
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-33,3	-0,3	6,5	0,0	-7,7	0,0
UL8/16=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 12*0.50 + 19*1.00(9)	B110 IPE 180	-37,2	1,2	7,3	0,0	-8,5	0,0
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-37,4	-0,5	7,2	0,0	-8,5	0,0
UL8/17=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 12*0.50 + 23*1.00(10)	B110 IPE 180	-37,2	1,2	7,3	0,0	-8,5	0,0
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-37,4	-0,5	7,2	0,0	-8,5	0,0
UL8/18=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 13*0.50 + 19*1.00(11)	B110 IPE 180	-26,9	0,8	5,6	0,0	-6,2	-0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-26,9	0,4	5,2	0,0	-6,2	0,2
UL8/19=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 13*0.50 + 23*1.00(12)	B110 IPE 180	-26,9	0,8	5,6	0,0	-6,2	-0,1

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ULS:20=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 14*0.50 + 19*1.00(13)	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-26,9	0,4	5,2	0,0	-5,2	0,2
	B110 IPE 180	-24,3	0,7	5,1	0,0	-5,7	-0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-24,3	0,5	4,8	0,0	-5,7	0,2
ULS:21=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 14*0.50 + 23*1.00(14)	B110 IPE 180	-24,3	0,7	5,1	0,0	-5,7	-0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-24,3	0,5	4,8	0,0	-5,7	0,2
ULS:2TD:23=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+8*0.45+11*0.90(15)	B110 IPE 180	-105,9	2,8	19,8	-0,1	-29,1	-0,2
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-104,9	-0,1	24,1	0,1	-29,1	0,2
ULS:2TD:29=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+8*0.45+13*0.90(16)	B110 IPE 180	-93,6	2,2	17,9	-0,1	-26,3	-0,4
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-92,5	1,3	21,6	0,1	-26,3	0,5
ULS:2TD:31=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+8*0.45+14*0.90(17)	B110 IPE 180	-89,0	2,1	17,0	-0,1	-25,3	-0,4
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-87,9	1,4	20,8	0,1	-25,3	0,6
ULS:2TD:43=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+11*0.90(18)	B110 IPE 180	-95,4	2,3	17,3	-0,1	-27,0	-0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-94,2	-0,1	22,3	0,1	-27,0	0,2
ULS:2TD:47=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+12*0.90(19)	B110 IPE 180	-102,7	2,6	18,7	-0,1	-28,6	0,0
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-101,6	-0,3	23,6	0,1	-28,6	0,2
ULS:2TD:48=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+13*0.90(20)	B110 IPE 180	-83,2	1,7	15,5	-0,1	-24,2	-0,3
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-81,8	1,3	19,8	0,1	-24,2	0,5
ULS:2TD:51=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+14*0.90(21)	B110 IPE 180	-78,6	1,6	14,5	-0,1	-23,2	-0,3
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-77,1	1,4	19,0	0,1	-23,2	0,6
ULS:2TD:53=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+7*0.45+11*0.90(22)	B110 IPE 180	-100,6	2,7	18,7	-0,1	-28,1	-0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-99,4	-0,2	23,2	0,1	-28,1	0,2
ULS:2TD:61=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+7*0.45+12*0.90(23)	B110 IPE 180	-107,9	3,0	20,1	-0,1	-29,6	-0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-106,7	-0,4	24,6	0,1	-29,6	0,2
ULS:2TD:65=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+7*0.45+13*0.90(24)	B110 IPE 180	-88,3	2,1	16,8	-0,1	-25,3	-0,3
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-87,0	1,2	20,8	0,1	-25,3	0,6
ULS:2TD:83=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+9*0.45+11*0.90(25)	B110 IPE 180	-105,2	3,1	20,0	-0,1	-28,9	-0,2
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-104,3	-0,2	24,0	0,1	-28,9	0,2
ULS:2TD:98=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+9*0.45+13*0.90(26)	B110 IPE 180	-93,0	2,5	18,1	-0,1	-26,2	-0,4
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-91,9	1,2	21,5	0,1	-26,2	0,6
ULS:2TD:91=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+9*0.45+14*0.90(27)	B110 IPE 180	-88,4	2,4	17,2	-0,1	-25,2	-0,4
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-87,2	1,4	20,7	0,1	-25,2	0,6
ULS:2TD:143=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+11*0.90(28)	B110 IPE 180	-110,2	4,2	22,6	-0,1	-26,0	-0,3
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-110,8	-0,4	22,0	0,0	-26,0	0,2
ULS:2TD:193=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+11*0.90(29)	B110 IPE 180	-89,4	2,6	17,3	-0,1	-21,9	-0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-89,6	-0,4	18,4	0,0	-21,9	0,0
ULS:2TD:197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+12*0.90(30)	B110 IPE 180	-96,7	2,9	18,8	-0,1	-23,4	-0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-97,0	-0,6	19,7	0,0	-23,4	0,0
ULS:2TD:199=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+13*0.90(31)	B110 IPE 180	-77,2	2,0	15,5	-0,1	-19,1	-0,3
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-77,2	1,0	16,0	0,0	-19,1	0,4
ULS:2TD:201=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+14*0.90(32)	B110 IPE 180	-72,6	1,9	14,6	-0,1	-18,1	-0,3
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-72,5	1,2	15,1	0,0	-18,1	0,4
ULS:2TD:219=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+13*0.90(33)	B110 IPE 180	-42,5	0,4	7,4	0,0	-12,2	0,0
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-41,5	1,1	10,0	0,0	-12,2	0,4
ULS:2TD:223=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*0.45+11*1.50(34)	B110 IPE 180	-78,4	2,4	14,8	-0,1	-20,0	0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-78,2	-1,1	16,7	0,0	-20,0	-0,1
ULS:2TD:239=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*0.45+13*1.50(35)	B110 IPE 180	-59,2	1,5	11,9	0,0	-15,5	-0,3
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-58,7	1,3	12,9	0,0	-15,5	0,5
ULS:2TD:247=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*0.45+14*1.50(36)	B110 IPE 180	-51,4	1,2	10,4	0,0	-13,9	-0,3
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-50,8	1,5	11,4	0,0	-13,9	0,6
ULS:2TD:271=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*0.45+11*1.50(37)	B110 IPE 180	-83,1	2,8	16,0	-0,1	-20,8	0,0
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-83,1	-1,0	17,5	0,0	-20,8	-0,1
ULS:2TD:275=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*0.45+12*1.50(38)	B110 IPE 180	-95,3	3,3	18,4	-0,1	-23,4	0,0
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-95,4	-1,4	19,7	0,0	-23,4	-0,1
ULS:2TD:279=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*0.45+13*1.50(39)	B110 IPE 180	-63,9	1,9	13,2	0,0	-16,4	-0,4
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-63,6	1,3	13,6	0,0	-16,4	0,5
ULS:2TD:283=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*0.45+14*1.50(40)	B110 IPE 180	-56,1	1,6	11,7	0,0	-14,7	-0,4
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-55,8	1,5	12,2	0,0	-14,7	0,6
ULS:2TD:319=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*0.45+11*1.50(41)	B110 IPE 180	-79,0	2,4	14,9	-0,1	-20,0	0,0
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-79,0	-1,0	16,8	0,0	-20,0	-0,1
ULS:2TD:321=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*0.45+12*1.50(42)	B110 IPE 180	-91,2	2,8	17,3	-0,1	-22,6	0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-91,3	-1,4	19,0	0,0	-22,6	-0,2
ULS:2TD:323=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*0.45+13*1.50(43)	B110 IPE 180	-59,8	1,5	12,0	0,0	-15,6	-0,3
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-59,5	1,3	12,9	0,0	-15,6	0,5

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ULS:STD/325=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+6*0.54+8*0.45+14*1.50(44)	B110 IPE 180	-52,1	1,2	10,5	0,0	-13,9	-0,3
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-51,6	1,5	11,5	0,0	-13,9	0,5
ULS:STD/335=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+6*0.54+10*0.45+11*1.50(45)	B110 IPE 180	-68,6	1,9	12,5	-0,1	-17,9	0,1
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-68,2	-1,0	14,9	0,0	-17,9	-0,1

Check

Summary

Name	Value	Status
Analysis	100,0%	OK
Plates	0,3 < 5%	OK
Buckling	Not calculated	

Plates

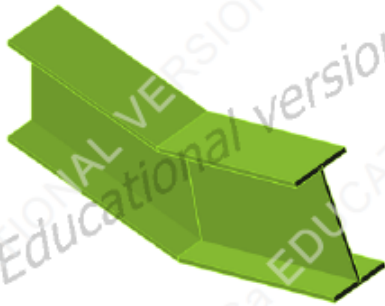
Name	Thickness [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	Status
B110 IPE 180-bfl 1	8,0	ULS:STD/87=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+9*0.45+12*0.90(4)	261,8	0,0	OK
B110 IPE 180-H 1	8,0	ULS:STD/27=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+8*0.45+12*0.90(3)	275,6	0,3	OK
B110 IPE 180-w 1	5,3	ULS:STD/27=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+8*0.45+12*0.90(3)	275,5	0,2	OK
194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180-bfl 1	8,0	ULS:STD/87=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+9*0.45+12*0.90(4)	261,8	0,0	OK
194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180-H 1	8,0	ULS:STD/27=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+8*0.45+12*0.90(3)	275,6	0,3	OK
194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180-w 1	5,3	ULS:STD/27=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+8*0.45+12*0.90(3)	275,5	0,2	OK

Design data

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 275	275,0	5,0

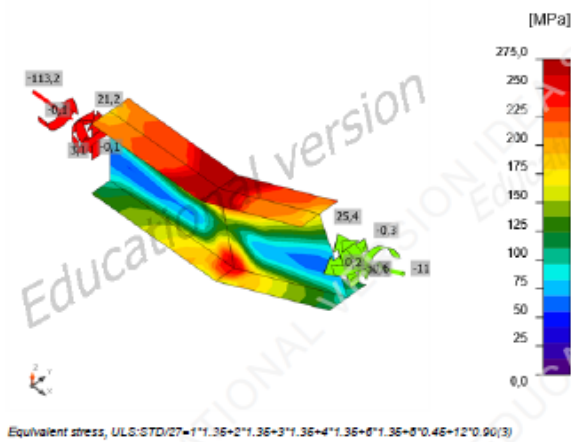
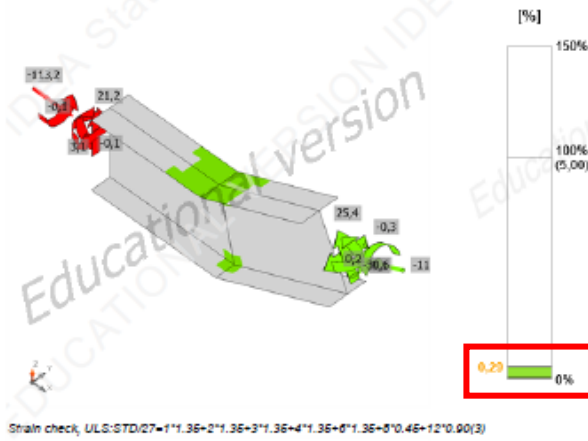
Symbol explanation

$\epsilon_{pl}$	Strain
$\sigma_{Ed}$	Eq. stress
$f_y$	Yield strength
$\epsilon_{lim}$	Limit of plastic strain



Overall check, ULS:STD/27=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+6\*1.35+8\*0.45+12\*0.90(3)

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”



Welds (Maximal value used, plastic redistribution recommended)

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\sigma_L$ [MPa]	$T_{  }$ [MPa]	$T_{\perp}$ [MPa]	UL [%]	Status
194_barna.com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180-bf 1	B110 IPE 180- bf 1	8,0	91	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)						OK
194_barna.com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180-bf 1	B110 IPE 180- bf 1	8,0	91	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)						OK
194_barna.com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180-w 1	B110 IPE 180- w 1	5,3	176	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)						OK

## ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

### Symbol explanation

$\sigma_{w,Ed}$	Equivalent stress
$\sigma_{w,Rd}$	Equivalent stress resistance
$\sigma_{\perp}$	Perpendicular stress
$\tau_{\parallel}$	Shear stress parallel to weld axis
$\tau_{\perp}$	Shear stress perpendicular to weld axis
$0.9 \sigma$	Perpendicular stress resistance - $0.9 \cdot f_{y,w}/\gamma_{M2}$
$\beta_w$	Correlation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1
Ut	Utilization
Utc	Weld capacity utilization

### Buckling

Buckling analysis was not calculated.

### Code settings

Item	Value	Unit	Reference
$\gamma_{M0}$	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
$\gamma_{M1}$	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
$\gamma_{M2}$	1,25	-	EN 1993-1-1: 6.1
$\gamma_{M3}$	1,25	-	EN 1993-1-8: 2.2
$\gamma_C$	1,50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
$\gamma_{mat}$	1,20	-	ETAG 001-C: 3.2.1
Joint coefficient [k]	0,67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Effective area - influence of mesh size	0,10	-	
Friction coefficient - concrete	0,25	-	EN 1993-1-8
Friction coefficient in slip-resistance	0,30	-	EN 1993-1-8 tab 3.7
Limit plastic strain	0,05	-	EN 1993-1-5
Weld stress evaluation	Plastic redistribution		
Detailing	No		
Distance between bolts [d]	2,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Distance between bolts and edge [d]	1,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Concrete breakout resistance	Yes		ETAG 001-C
Use calculated ob in bearing check.	Yes		EN 1993-1-8: tab 3.4
Cracked concrete	Yes		
Local deformation check	No		
Local deformation limit	0,03	-	OIDECT DG 1, 3 - 1.1

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

VI. Ligação aparafusada tipo T:

VI.1 – “Idea Statica”

Project:  
Project no:  
Author:



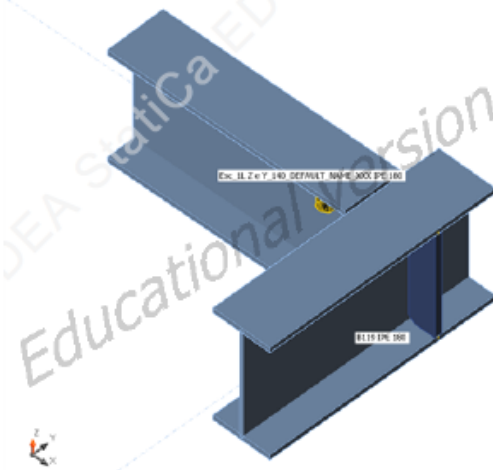
Project item Con 140

Design

Name: Con 140  
Description:  
Analysis: Stress, strain/ loads in equilibrium

Beams and columns

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Forces in
Esc_1L Z e Y_140_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	153210 - IPE180	-178,8	0,0	0,0	0	0	0	Node
B119 IPE 180	153210 - IPE180	-90,0	0,0	0,0	-100	0	0	Node



Cross-sections

Name	Material
153210 - IPE180	S 275

Bolts

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M12 10.9	M12 10.9	12	1000,0	113

Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ULS:STD/197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+12*0.90(4)	Esc_1L Z e Y_140_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,1	-1,9	-5,8	0,0	0,0	-2,4
	B119 IPE 180	13,8	2,5	4,2	0,0	-2,0	1,2
LE65	Esc_1L Z e Y_140_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	0,0	3,3	24,0	0,0	0,0	0,0
	B119 IPE 180	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Check

Summary

Name	Value	Status
Analysis	100,0%	OK
Plates	1,2 < 5%	OK
Bolts	53,9 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

Plates

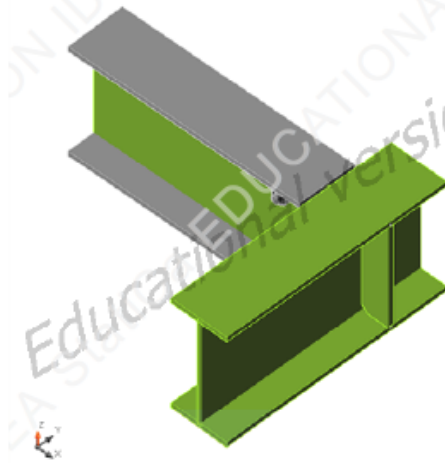
Name	Thickness [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{p1}$ [%]	Status
Esc_1L Z e Y_140_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180-bfl 1	8,0	ULS:STD/197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+12*0.90(4)	194,2	0,0	OK
Esc_1L Z e Y_140_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180-htl 1	8,0	ULS:STD/197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+12*0.90(4)	194,0	0,0	OK
Esc_1L Z e Y_140_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180-w 1	5,3	ULS:STD/197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+12*0.90(4)	277,8	1,2	OK
B119 IPE 180-bfl 1	8,0	ULS:STD/197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+12*0.90(4)	242,2	0,0	OK
B119 IPE 180-htl 1	8,0	ULS:STD/197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+12*0.90(4)	239,8	0,0	OK
B119 IPE 180-w 1	5,3	ULS:STD/197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+12*0.90(4)	275,1	0,0	OK
FP1	15,0	ULS:STD/197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+12*0.90(4)	277,4	1,1	OK
STIFF1	10,0	ULS:STD/197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+12*0.90(4)	275,3	0,1	OK

Design data

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 275	275,0	5,0

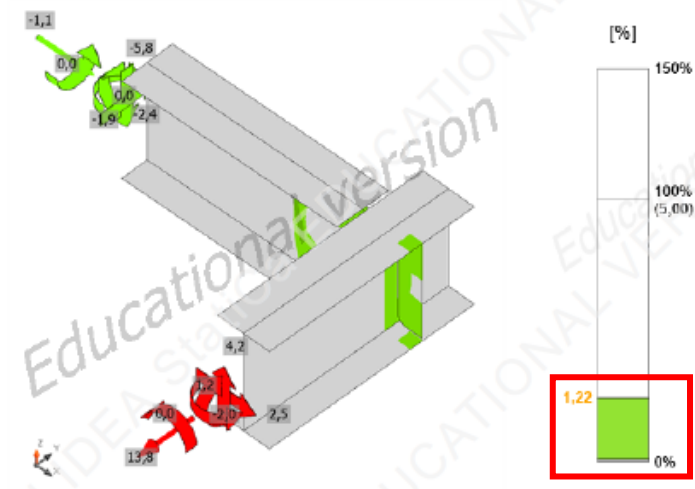
Symbol explanation

$\epsilon_{p1}$	Strain
$\sigma_{Ed}$	Eq. stress
$f_y$	Yield strength
$\epsilon_{lim}$	Limit of plastic strain

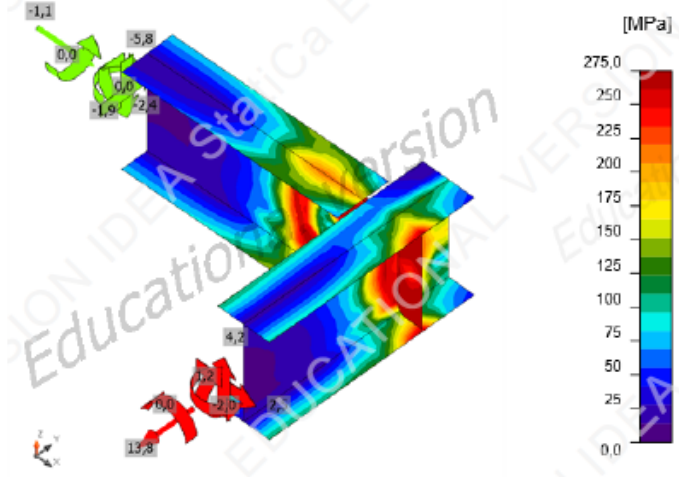


Overall check, ULS:STD/197=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+6\*0.54+8\*1.50+12\*0.90(4)

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”



Strain check, ULS:STD/197=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+6\*0.54+8\*1.50+12\*0.90(4)



Equivalent stress, ULS:STD/197=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+6\*0.54+8\*1.50+12\*0.90(4)

Bolts

	Name	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	V [kN]	$U_{t1}$ [%]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_{t2}$ [%]	$U_{t3}$ [%]	Status
	B1	LE65	10,2	14,0	16,9	54,7	41,8	53,9	OK
	B2	ULS:STD/197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+12*0.90(4)	16,4	1,1	27,2	54,7	3,3	22,7	OK
	B3	LE65	3,4	14,7	5,6	54,7	43,8	47,8	OK
	B4	ULS:STD/197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+12*0.90(4)	16,7	4,4	27,6	54,7	13,1	32,9	OK

Design data

Name	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M12 10.9 - 1	60,5	79,0	33,6

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

**Symbol explanation**

$F_{t,Rd}$	Bolt tension resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
$F_{t,Ed}$	Tension force
$B_{p,Rd}$	Punching shear resistance
$V$	Resultant of shear forces $V_y, V_z$ in bolt
$F_{v,Rd}$	Bolt shear resistance EN 1993-1-8 table 3.4
$F_{b,Rd}$	Plate bearing resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
$U_t$	Utilization in tension
$U_s$	Utilization in shear
$U_{ts}$	Utilization in tension and shear EN 1993-1-8 table 3.4

**Welds (Maximal value used, plastic redistribution recommended)**

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	$U_t$ [%]	Status
B119 IPE 180-w 1	FP1	5,3	160	ULS:STD/197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+8*0.54+8*1.50+12*0.90(4)						OK
B119 IPE 180-tf 1	STIFF1	8,0	34	ULS:STD/197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+8*0.54+8*1.50+12*0.90(4)						OK
B119 IPE 180-w 1	STIFF1	5,3	146	ULS:STD/197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+8*0.54+8*1.50+12*0.90(4)						OK
B119 IPE 180-bf 1	STIFF1	8,0	34	ULS:STD/197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+8*0.54+8*1.50+12*0.90(4)						OK

**Symbol explanation**

$\sigma_{w,Ed}$	Equivalent stress
$\sigma_{w,Rd}$	Equivalent stress resistance
$\sigma_{\perp}$	Perpendicular stress
$\tau_{\parallel}$	Shear stress parallel to weld axis
$\tau_{\perp}$	Shear stress perpendicular to weld axis
$0,9 \sigma$	Perpendicular stress resistance - $0,9 f_u / \gamma_{M2}$
$\beta_w$	Correlation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1
$U_t$	Utilization
$U_c$	Weld capacity utilization

**Buckling**

Buckling analysis was not calculated.

Item	Value	Unit	Reference
Joint coefficient $\beta_j$	0,67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Effective area - influence of mesh size	0,10	-	
Friction coefficient - concrete	0,25	-	EN 1993-1-8
Friction coefficient in slip-resistance	0,30	-	EN 1993-1-8 tab 3.7
Limit plastic strain	0,05	-	EN 1993-1-5
Weld stress evaluation	Plastic redistribution		
Detailing	No		
Distance between bolts [d]	2,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Distance between bolts and edge [d]	1,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Concrete breakout resistance	Yes		ETAG 001-C
Use calculated $o_b$ in bearing check.	Yes		EN 1993-1-8: tab 3.4
Cracked concrete	Yes		
Local deformation check	No		
Local deformation limit	0,03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1

## VII. Ligação aparafusada tipo IPE180

### VII.1 – “Idea Statica”

Project:  
Project no:  
Author:



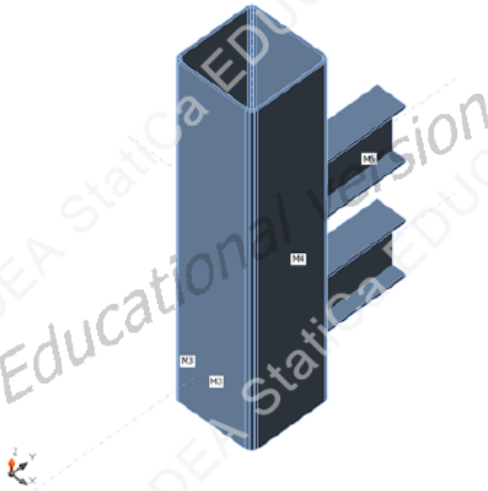
#### Project item Con 337

#### Design

Name: Con 337  
Description:  
Analysis: Stress, strain/ loads in equilibrium

#### Beams and columns

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Forces in
B111 IPE 180	153210 - IPE180	180,0	0,0	0,0	0	-350	0	Node
M3	153210 - IPE180	90,0	0,0	0,0	-500	50	-180	Node
M4	153211 - SHS250/250/8.0	90,0	-90,0	0,0	-300	0	-175	Node
M5	153210 - IPE180	90,0	0,0	0,0	300	50	180	Node



#### Cross-sections

Name	Material
153210 - IPE180	S 275
153211 - SHS250/250/8.0	S 275

#### Bolts

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M12 10.9	M12 10.9	12	1000,0	113

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT  
STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	B111 IPE 180	-117,8	1,0	-19,4	0,0	0,2	0,9
	M3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ULS/10=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 14*0.50 + 19*1.00(2)	B111 IPE 180	-24,4	0,9	-4,0	0,0	0,0	0,5
	M3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ULS:STD/31=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+8*0.45+14*0.90(14)	B111 IPE 180	-90,6	2,9	-20,6	0,0	0,1	1,6
	M3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ULS:STD/231=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*0.45+12*1.50(4)	B111 IPE 180	-90,7	0,1	-16,7	0,0	0,2	0,6
	M3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ULS:STD/27=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+8*0.45+12*0.90(3)	B111 IPE 180	-114,3	1,6	-24,3	0,0	0,2	1,3
	M3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ULS:STD/61=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+7*0.45+12*0.90(13)	B111 IPE 180	-108,9	1,3	-23,6	0,0	0,2	1,1
	M3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ULS:STD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+14*0.90(5)	B111 IPE 180	-38,5	2,1	-9,4	0,0	0,0	1,2
	M3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ULS/1=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 11*0.50 + 19*1.00(6)	B111 IPE 180	-33,0	0,3	-5,4	0,0	0,0	0,3
	M3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ULS:STD/29=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+8*0.45+13*0.90(7)	B111 IPE 180	-95,2	2,8	-21,2	0,0	0,1	1,6
	M3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ULS:STD/283=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*0.45+14*1.50(8)	B111 IPE 180	-57,0	2,2	-11,3	0,0	0,0	1,1
	M3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ULS:STD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*0.45+12*1.50(9)	B111 IPE 180	-80,9	0,2	-15,5	0,0	0,1	0,7
	M3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ULS:STD/159=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(15)	B111 IPE 180	-94,0	2,3	-15,8	0,0	0,1	1,2

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Check

Summary

Name	Value	Status
Analysis	100,0%	OK
Plates	0,4 < 5%	OK
Bolts	62,2 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

Plates

Name	Thickness [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	Status
B111 IPE 180-bfl 1	8,0	ULS:STD/27-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+8*0.45+12*0.90(3)	167,0	0,0	OK
B111 IPE 180-bfl 1	8,0	ULS:STD/27-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+8*0.45+12*0.90(3)	209,3	0,0	OK
B111 IPE 180-w 1	5,3	ULS:STD/27-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+8*0.45+12*0.90(3)	121,8	0,0	OK
M3-bfl 1	8,0	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	188,9	0,0	OK
M3-bfl 1	8,0	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	275,4	0,2	OK
M3-w 1	5,3	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	91,8	0,0	OK
M4	8,0	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	275,9	0,4	OK
M5-bfl 1	8,0	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	275,4	0,2	OK
M5-bfl 1	8,0	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	142,0	0,0	OK
M5-w 1	5,3	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	78,6	0,0	OK

Design data

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 275	275,0	5,0

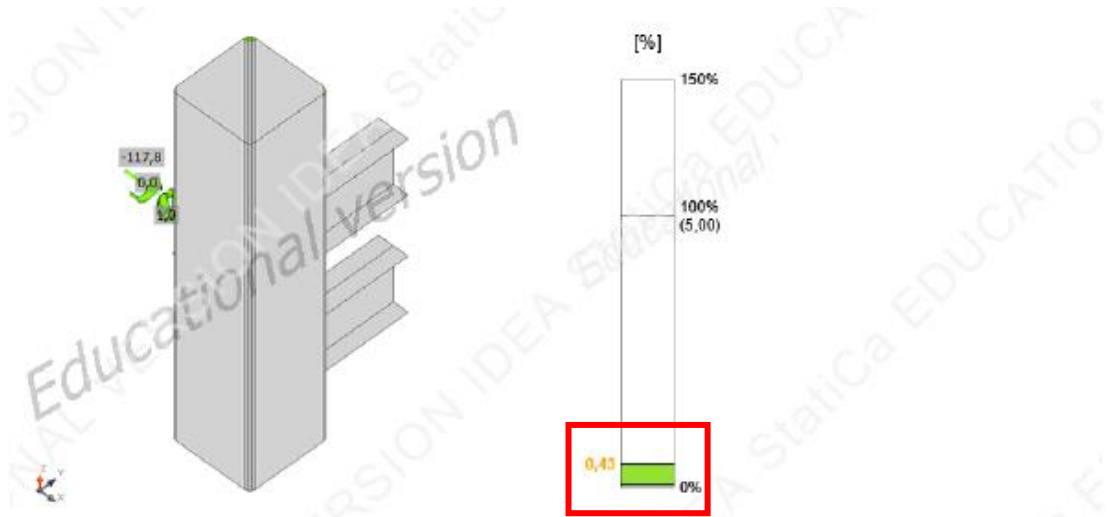
Symbol explanation

$\epsilon_{pl}$	Strain
$\sigma_{Ed}$	Eq. stress
$f_y$	Yield strength
$\epsilon_{lim}$	Limit of plastic strain

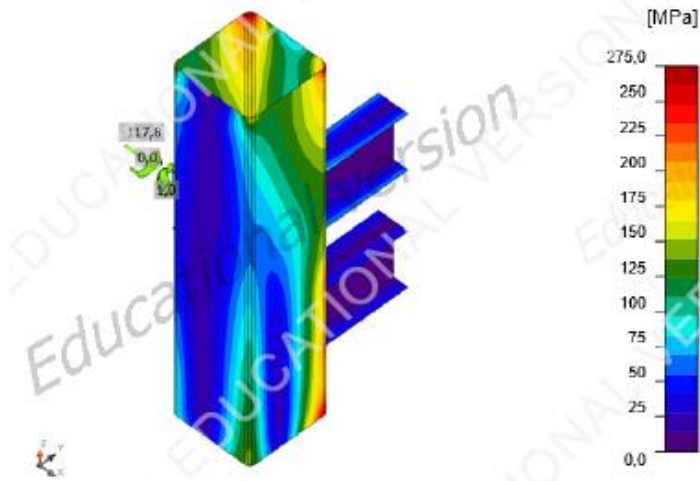


Overall check, ULS:STD/151-1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+5\*0.54+9\*1.50+12\*0.90(1)

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”



Strain check, ULS:STD/151=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+5\*0.54+0\*1.50+12\*0.90(1)



Equivalent stress, ULS:STD/151=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+5\*0.54+0\*1.50+12\*0.90(1)

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

**Bolts**

	Name	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	V [kN]	$U_t$ [%]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_b$ [%]	$U_{ts}$ [%]	Status
	B1	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	1,5	11,4	2,5	43,7	34,1	35,8	OK
	B2	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	1,1	12,1	1,8	82,6	36,0	37,3	OK
	B3	ULS:STD/27-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+8*0.45+12*0.90(3)	0,6	15,7	0,9	43,6	46,9	47,5	OK
	B4	ULS:STD/27-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+8*0.45+12*0.90(3)	0,8	16,5	1,2	82,6	49,0	49,9	OK
	B5	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	3,3	12,7	5,4	43,9	37,7	41,6	OK
	B6	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	0,6	13,2	1,0	82,6	39,4	40,1	OK
	B7	ULS:STD/27-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+8*0.45+12*0.90(3)	3,6	19,5	6,0	44,0	58,0	62,2	OK
	B8	ULS:STD/27-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+8*0.45+12*0.90(3)	0,6	20,2	1,1	82,6	60,2	61,0	OK

**Design data**

Name	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M12 10.9 - 1	60,5	119,3	33,6

**Symbol explanation**

- $F_{t,Rd}$  Bolt tension resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
- $F_{t,Ed}$  Tension force
- $B_{p,Rd}$  Punching shear resistance
- V Resultant of shear forces  $V_y$ ,  $V_z$  in bolt
- $F_{v,Rd}$  Bolt shear resistance EN 1993-1-8 table 3.4
- $F_{b,Rd}$  Plate bearing resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
- $U_t$  Utilization in tension
- $U_s$  Utilization in shear
- $U_{ts}$  Utilization in tension and shear EN 1993-1-8 table 3.4

**Welds (Maximal value used, plastic redistribution recommended)**

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$T_{\parallel}$ [MPa]	$T_{\perp}$ [MPa]	$U_t$ [%]	Status
M4-w 1	M3-bff 1	8,0	91	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)						OK
M4-w 1	M3-tff 1	8,0	91	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)						OK
M4-w 1	M3-w 1	5,3	172	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)						OK
M4-w 1	M5-bff 1	8,0	91	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)						OK
M4-w 1	M5-tff 1	8,0	91	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)						OK
M4-w 1	M5-w 1	5,3	172	ULS:STD/151-1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)						OK

**Design data**

	$\beta_w$ [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0.9 \sigma$ [MPa]
S 275	0,85	404,7	309,6

**Symbol explanation**

- $\sigma_{w,Ed}$  Equivalent stress
- $\sigma_{w,Rd}$  Equivalent stress resistance
- $\sigma_{\perp}$  Perpendicular stress
- $T_{\parallel}$  Shear stress parallel to weld axis
- $T_{\perp}$  Shear stress perpendicular to weld axis
- $0.9 \sigma$  Perpendicular stress resistance -  $0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$
- $\beta_w$  Correlation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1
- $U_t$  Utilization
- $U_{tc}$  Weld capacity utilization

**VIII. Ligação aparafusada tipo IPE180**

VIII – “Idea Statica”

Project:  
Project no:  
Author:



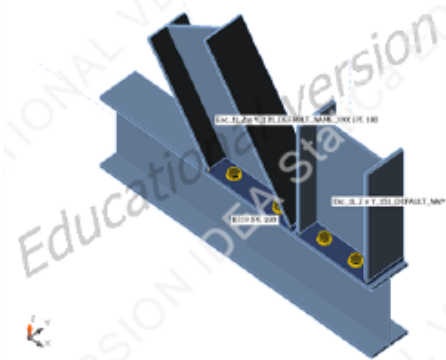
**Project item Con 148**

**Design**

Name Con 148  
Description  
Analysis Stress, strain/ loads in equilibrium

**Beams and columns**

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Forces in
Exc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	153210 - IPE180	0,0	-90,0	0,0	0	0	0	Node
Exc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	153210 - IPE180	180,0	-56,2	0,0	100	0	-120	Node
B229 IPE 180	153210 - IPE180	180,0	0,0	0,0	-100	0	0	Node



**Cross-sections**

Name	Material
153210 - IPE180	S 275

**Bolts**

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M12 10.9	M12 10.9	12	1000,0	113

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	Vx [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ULS:8TD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,1	0,7	0,1	0,0	0,2	0,8
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	10,1	-0,4	1,0	0,0	-1,3	-0,7
	B229 IPE 180	-5,6	1,4	-4,7	0,0	1,5	0,9
ULS:8TD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+10*1.50+14*0.90(2)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,7	-0,5	0,3	0,0	-0,7	-0,6
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,5	0,2	-1,0	0,0	1,3	0,4
	B229 IPE 180	0,1	-0,7	2,9	0,0	-2,0	-0,5
ULS:8TD/321=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+8*0.45+12*1.50(3)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-0,8	0,3	-0,2	0,0	0,7	0,3
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	9,2	-0,2	1,1	0,0	-1,6	-0,3
	B229 IPE 180	-4,4	0,6	-5,7	0,0	2,3	0,4
ULS:8TD/59=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+7*0.45+14*0.90(4)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,6	0,0	0,5	0,0	-0,9	0,0
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	2,3	-0,2	-0,6	0,0	0,9	-0,2
	B229 IPE 180	-2,4	0,3	1,2	0,0	-1,8	0,2
ULS:8TD/119=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*1.50+14*0.90(5)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,9	0,0	0,5	0,0	-1,0	-0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	0,1	-0,1	-0,9	0,0	1,2	-0,1
	B229 IPE 180	-1,3	0,1	3,2	0,0	-2,3	0,0
ULS:8TD/197=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+8*1.50+12*0.90(6)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-0,9	0,3	-0,1	0,0	0,5	0,3
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	9,0	-0,2	1,0	0,0	-1,4	-0,3
	B229 IPE 180	-4,5	0,6	-5,4	0,0	1,9	0,4
ULS:8TD/337=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+10*0.45+12*1.50(7)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-0,9	0,1	-0,2	0,0	0,6	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	7,4	-0,1	0,8	0,0	-1,2	-0,1
	B229 IPE 180	-3,4	0,3	-4,5	0,0	1,8	0,2
ULS:8TD/91=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+9*0.45+14*0.90(8)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,6	0,2	0,5	0,0	-0,8	0,2
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	4,0	-0,3	-0,4	0,0	0,6	-0,3
	B229 IPE 180	-3,3	0,6	0,2	0,0	-1,4	0,4
ULS:8TD/247=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*0.45+14*1.50(9)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-2,0	0,0	0,5	0,0	-1,0	0,0
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	0,6	-0,1	-0,9	0,0	1,2	-0,1
	B229 IPE 180	-1,6	0,2	3,0	0,0	-2,2	0,1
ULS:8TD/155=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+13*0.90(10)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,7	0,6	0,5	0,0	-0,6	0,7
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	6,0	-0,4	0,0	0,0	0,1	-0,6
	B229 IPE 180	-4,3	1,2	-0,5	0,0	-0,7	0,7
ULS:8TD/213=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+10*1.50+11*0.90(11)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,1	-0,4	0,0	0,0	0,1	-0,4
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	2,4	0,2	-0,1	0,0	0,0	0,3
	B229 IPE 180	-1,1	-0,5	-1,1	0,0	0,1	-0,3
ULS:8TD/143=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+11*0.90(12)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,2	0,7	0,2	0,0	0,2	0,8
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	9,8	-0,4	0,9	0,0	-1,2	-0,7
	B229 IPE 180	-5,5	1,3	-4,3	0,0	1,4	0,9
ULS:8TD/219=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+10*1.50+13*0.90(13)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,6	-0,5	0,3	0,0	-0,7	-0,6
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,4	0,2	-1,0	0,0	1,2	0,4
	B229 IPE 180	0,1	-0,7	2,7	0,0	-1,9	-0,5
ULS:8TD/103=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*1.50+11*0.90(14)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,3	0,1	0,2	0,0	-0,2	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	4,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,2
	B229 IPE 180	-2,5	0,3	-0,9	0,0	-0,1	0,2
ULS:8TD/199=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+8*1.50+13*0.90(15)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,4	0,2	0,2	0,0	-0,3	0,2
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	4,9	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,2
	B229 IPE 180	-3,2	0,4	-1,2	0,0	-0,3	0,3
ULS/1=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 11*0.50 + 19*1.00(1)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	3,9	-0,1	0,2	0,0	-0,3	-0,1
	B229 IPE 180	-2,2	0,3	-1,2	0,0	0,4	0,2
ULS/4=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 11*0.50 + 23*1.00(2)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	3,9	-0,1	0,2	0,0	-0,3	-0,1
	B229 IPE 180	-2,2	0,3	-1,2	0,0	0,4	0,2
ULS/6=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 12*0.50 + 19*1.00(3)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	4,0	-0,1	0,2	0,0	-0,4	-0,1
	B229 IPE 180	-2,2	0,3	-1,4	0,0	0,5	0,2
ULS/7=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 12*0.50 + 23*1.00(4)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	4,0	-0,1	0,2	0,0	-0,4	-0,1
	B229 IPE 180	-2,2	0,3	-1,4	0,0	0,5	0,2
ULS/8=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 13*0.50 + 19*1.00(5)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,6	0,1	0,2	0,0	-0,4	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	2,3	-0,1	-0,3	0,0	0,4	-0,1
	B229 IPE 180	-1,8	0,2	1,0	0,0	-0,8	0,1

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Nome	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ULB/9=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 13*0.50 + 23*1.00(6)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,4	0,1	0,2	0,0	-0,3	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	1,7	-0,1	-0,3	0,0	0,4	-0,1
	B229 IPE 180	-1,5	0,2	0,9	0,0	-0,7	0,1
ULB/10=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 14*0.50 + 19*1.00(7)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,4	0,1	0,2	0,0	-0,4	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	1,6	-0,1	-0,3	0,0	0,4	-0,1
	B229 IPE 180	-1,5	0,1	1,1	0,0	-0,8	0,1
ULB/11=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 14*0.50 + 23*1.00(8)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,4	0,1	0,2	0,0	-0,4	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	1,6	-0,1	-0,3	0,0	0,4	-0,1
	B229 IPE 180	-1,5	0,1	1,1	0,0	-0,8	0,1
ULB/12=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 11*0.50 + 19*1.00(9)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	3,9	-0,1	0,2	0,0	-0,3	-0,1
	B229 IPE 180	-2,2	0,3	-1,2	0,0	0,4	0,2
ULB/14=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 11*0.50 + 23*1.00(10)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	3,9	-0,1	0,2	0,0	-0,3	-0,1
	B229 IPE 180	-2,2	0,3	-1,2	0,0	0,4	0,2
ULB/16=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 12*0.50 + 19*1.00(11)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	4,0	-0,1	0,2	0,0	-0,4	-0,1
	B229 IPE 180	-2,2	0,3	-1,4	0,0	0,5	0,2
ULB/17=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 12*0.50 + 23*1.00(12)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	4,0	-0,1	0,2	0,0	-0,4	-0,1
	B229 IPE 180	-2,2	0,3	-1,4	0,0	0,5	0,2
ULB/18=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 13*0.50 + 19*1.00(13)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,4	0,1	0,2	0,0	-0,3	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	1,7	-0,1	-0,3	0,0	0,4	-0,1
	B229 IPE 180	-1,5	0,2	0,9	0,0	-0,7	0,1
ULB/19=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 13*0.50 + 23*1.00(14)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,4	0,1	0,2	0,0	-0,3	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	1,7	-0,1	-0,3	0,0	0,4	-0,1
	B229 IPE 180	-1,5	0,2	0,9	0,0	-0,7	0,1
ULB/20=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 14*0.50 + 19*1.00(15)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,4	0,1	0,2	0,0	-0,4	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	1,6	-0,1	-0,3	0,0	0,4	-0,1
	B229 IPE 180	-1,5	0,1	1,1	0,0	-0,8	0,1
ULB/21=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 14*0.50 + 23*1.00(16)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,4	0,1	0,2	0,0	-0,4	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	1,6	-0,1	-0,3	0,0	0,4	-0,1
	B229 IPE 180	-1,5	0,1	1,1	0,0	-0,8	0,1
ULB:3TD/23=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+8*0.45+11*0.90(17)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-0,9	0,2	0,0	0,0	0,2	0,3
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	8,4	-0,2	0,7	0,0	-1,0	-0,3
	B229 IPE 180	-4,4	0,6	-4,8	0,0	1,2	0,4
ULB:3TD/27=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+8*0.45+12*0.90(18)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-0,8	0,2	0,0	0,0	0,3	0,3
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	8,7	-0,2	0,8	0,0	-1,1	-0,3
	B229 IPE 180	-4,5	0,6	-5,1	0,0	1,4	0,4
ULB:3TD/29=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+8*0.45+13*0.90(19)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,4	0,1	0,4	0,0	-0,5	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	4,6	-0,2	-0,2	0,0	0,3	-0,2
	B229 IPE 180	-3,3	0,4	-0,9	0,0	-0,8	0,3
ULB:3TD/31=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+8*0.45+14*0.90(20)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,5	0,1	0,4	0,0	-0,6	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	4,5	-0,2	-0,3	0,0	0,4	-0,2
	B229 IPE 180	-3,2	0,4	-0,7	0,0	-0,9	0,3
ULB:3TD/43=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+11*0.90(21)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	6,6	-0,1	0,4	0,0	-0,6	-0,1
	B229 IPE 180	-3,5	0,3	-3,6	0,0	0,7	0,2
ULB:3TD/47=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+12*0.90(22)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-0,9	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	6,8	-0,1	0,5	0,0	-0,7	-0,2
	B229 IPE 180	-3,6	0,3	-3,9	0,0	0,9	0,2
ULB:3TD/49=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+13*0.90(23)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,5	-0,1	0,4	0,0	-0,6	-0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	2,8	-0,1	-0,5	0,0	0,7	-0,1
	B229 IPE 180	-2,3	0,1	0,2	0,0	-1,3	0,1
ULB:3TD/51=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*1.35+10*0.45+14*0.90(24)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,5	-0,1	0,4	0,0	-0,7	-0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	2,6	-0,1	-0,6	0,0	0,7	-0,1
	B229 IPE 180	-2,3	0,1	0,4	0,0	-1,4	0,0
ULB:3TD/53=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+7*0.45+11*0.90(25)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,1	0,1	0,2	0,0	-0,1	0,2
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	6,3	-0,2	0,3	0,0	-0,4	-0,3
	B229 IPE 180	-3,6	0,5	-2,8	0,0	0,3	0,3
ULB:3TD/51=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+7*0.45+12*0.90(26)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,2

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	6,6	-0,2	0,4	0,0	-0,5	-0,3
	B229 IPE 180	-3,7	0,5	-3,1	0,0	0,5	0,3
ULS:8TD/65=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+7*0.45+13*0.90(27)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,6	0,0	0,5	0,0	-0,9	0,0
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	2,5	-0,2	-0,6	0,0	0,9	-0,2
	B229 IPE 180	-2,4	0,3	1,0	0,0	-1,7	0,2
ULS:8TD/83=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+9*0.45+11*0.90(28)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,1	0,3	0,2	0,0	0,0	0,4
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	8,0	-0,3	0,5	0,0	-0,7	-0,4
	B229 IPE 180	-4,5	0,8	-3,8	0,0	0,7	0,5
ULS:8TD/87=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+9*0.45+12*0.90(29)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,0	0,3	0,2	0,0	0,1	0,4
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	8,2	-0,3	0,6	0,0	-0,8	-0,4
	B229 IPE 180	-4,6	0,8	-4,2	0,0	0,9	0,5
ULS:8TD/89=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*1.35+9*0.45+13*0.90(30)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,6	0,2	0,5	0,0	-0,8	0,2
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	4,2	-0,3	-0,3	0,0	0,5	-0,4
	B229 IPE 180	-3,3	0,6	0,0	0,0	-1,3	0,4
ULS:8TD/111=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*1.50+12*0.90(31)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,2	0,1	0,2	0,0	-0,2	0,1
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	4,3	-0,1	0,1	0,0	-0,2	-0,2
	B229 IPE 180	-2,6	0,3	-1,2	0,0	0,0	0,2
ULS:8TD/115=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*1.50+13*0.90(32)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,8	0,0	0,5	0,0	-1,0	0,0
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	0,3	-0,1	-0,8	0,0	1,2	-0,1
	B229 IPE 180	-1,3	0,1	3,0	0,0	-2,2	0,1
ULS:8TD/159=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(33)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,8	0,6	0,5	0,0	-0,6	0,7
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	5,8	-0,4	0,0	0,0	0,1	-0,6
	B229 IPE 180	-4,3	1,2	-0,3	0,0	-0,8	0,7
ULS:8TD/193=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+11*0.90(34)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-0,9	0,3	-0,1	0,0	0,5	0,3
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	8,7	-0,2	0,9	0,0	-1,3	-0,3
	B229 IPE 180	-4,4	0,6	-5,1	0,0	1,8	0,4
ULS:8TD/201=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*1.50+14*0.90(35)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,5	0,2	0,3	0,0	-0,3	0,2
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	4,8	-0,2	-0,1	0,0	0,0	-0,2
	B229 IPE 180	-3,2	0,4	-1,0	0,0	-0,4	0,3
ULS:8TD/217=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+10*1.50+12*0.90(36)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,1	-0,4	-0,1	0,0	0,1	-0,4
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	2,7	0,1	0,0	0,0	-0,2	0,3
	B229 IPE 180	-1,2	-0,5	-1,4	0,0	0,3	-0,3
ULS:8TD/223=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*0.45+11*1.50(37)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,1	0,2	0,0	0,0	0,4	0,2
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	7,3	-0,1	0,7	0,0	-1,0	-0,2
	B229 IPE 180	-3,7	0,5	-3,8	0,0	1,4	0,3
ULS:8TD/231=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*0.45+12*1.50(38)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-0,9	0,2	-0,1	0,0	0,5	0,2
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	7,7	-0,2	0,8	0,0	-1,2	-0,2
	B229 IPE 180	-3,8	0,5	-4,3	0,0	1,6	0,3
ULS:8TD/239=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*0.45+13*1.50(39)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,9	0,0	0,5	0,0	-0,9	0,0
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	0,8	-0,1	-0,8	0,0	1,1	-0,1
	B229 IPE 180	-1,6	0,2	2,7	0,0	-2,0	0,1
ULS:8TD/271=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*0.45+11*1.50(40)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,0	0,4	-0,1	0,0	0,5	0,4
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	9,0	-0,2	0,9	0,0	-1,3	-0,4
	B229 IPE 180	-4,6	0,8	-4,8	0,0	1,8	0,5
ULS:8TD/275=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*0.45+12*1.50(41)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-0,9	0,4	-0,1	0,0	0,6	0,5
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	9,4	-0,3	1,1	0,0	-1,5	-0,4
	B229 IPE 180	-4,7	0,8	-5,4	0,0	2,1	0,5
ULS:8TD/279=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*0.45+13*1.50(42)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,9	0,2	0,5	0,0	-0,8	0,2
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	2,5	-0,2	-0,6	0,0	0,8	-0,3
	B229 IPE 180	-2,5	0,5	1,7	0,0	-1,6	0,3
ULS:8TD/283=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*0.45+14*1.50(43)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-2,0	0,2	0,5	0,0	-0,9	0,2
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	2,2	-0,2	-0,7	0,0	0,9	-0,3
	B229 IPE 180	-2,5	0,5	2,0	0,0	-1,8	0,3
ULS:8TD/319=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+8*0.45+11*1.50(44)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-0,9	0,3	-0,1	0,0	0,6	0,3
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	8,8	-0,2	0,9	0,0	-1,4	-0,3
	B229 IPE 180	-4,3	0,6	-5,2	0,0	2,0	0,4
ULS:8TD/323=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*0.45+13*1.50(45)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,8	0,1	0,4	0,0	-0,7	0,1
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	2,3	-0,1	-0,6	0,0	0,7	-0,1
	B229 IPE 180	-2,2	0,3	1,3	0,0	-1,4	0,2
ULS:8TD/325=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+6*0.54+8*0.45+14*1.50(46)	Esc_IL Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,9	0,1	0,4	0,0	-0,7	0,1
	Esc_IL Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	2,1	-0,1	-0,6	0,0	0,9	-0,1

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
	B229 IPE 180	-2,2	0,2	1,7	0,0	-1,6	0,1
UL8:STD/335=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+10*0.45+11*1.50(47)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,0	0,1	-0,1	0,0	0,5	0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	6,9	-0,1	0,6	0,0	-1,0	-0,1
	B229 IPE 180	-3,3	0,2	-4,0	0,0	1,5	0,1
UL8:STD/339=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+10*0.45+13*1.50(48)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,9	-0,1	0,4	0,0	-0,8	-0,1
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	0,5	0,0	-0,8	0,0	1,1	0,0
	B229 IPE 180	-1,3	-0,1	2,5	0,0	-1,9	-0,1
UL8:STD/341=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+10*0.45+14*1.50(49)	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-1,9	-0,1	0,4	0,0	-0,9	-0,2
	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	0,2	0,0	-0,9	0,0	1,2	0,0
	B229 IPE 180	-1,2	-0,1	2,8	0,0	-2,1	-0,1

Check

Summary

Name	Value	Status
Analysis	100,0%	OK
Plates	0,2 < 5%	OK
Bolts	31,3 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

Plates

Name	Thickness [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	Status
Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180-bf 1	8,0	UL8:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	43,0	0,0	OK
Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180-th 1	8,0	UL8:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	73,1	0,0	OK
Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180-w 1	5,3	UL8:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	78,9	0,0	OK
Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180-bf 1	8,0	UL8:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	132,1	0,0	OK
Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180-th 1	8,0	UL8:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	93,0	0,0	OK
Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IPE 180-w 1	5,3	UL8:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	130,1	0,0	OK
B229 IPE 180-bf 1	8,0	UL8:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	186,5	0,0	OK
B229 IPE 180-th 1	8,0	UL8:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	275,1	0,1	OK
B229 IPE 180-w 1	5,3	UL8:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	275,5	0,2	OK
EP1	10,0	UL8:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	222,1	0,0	OK
EP2	10,0	UL8:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	146,7	0,0	OK

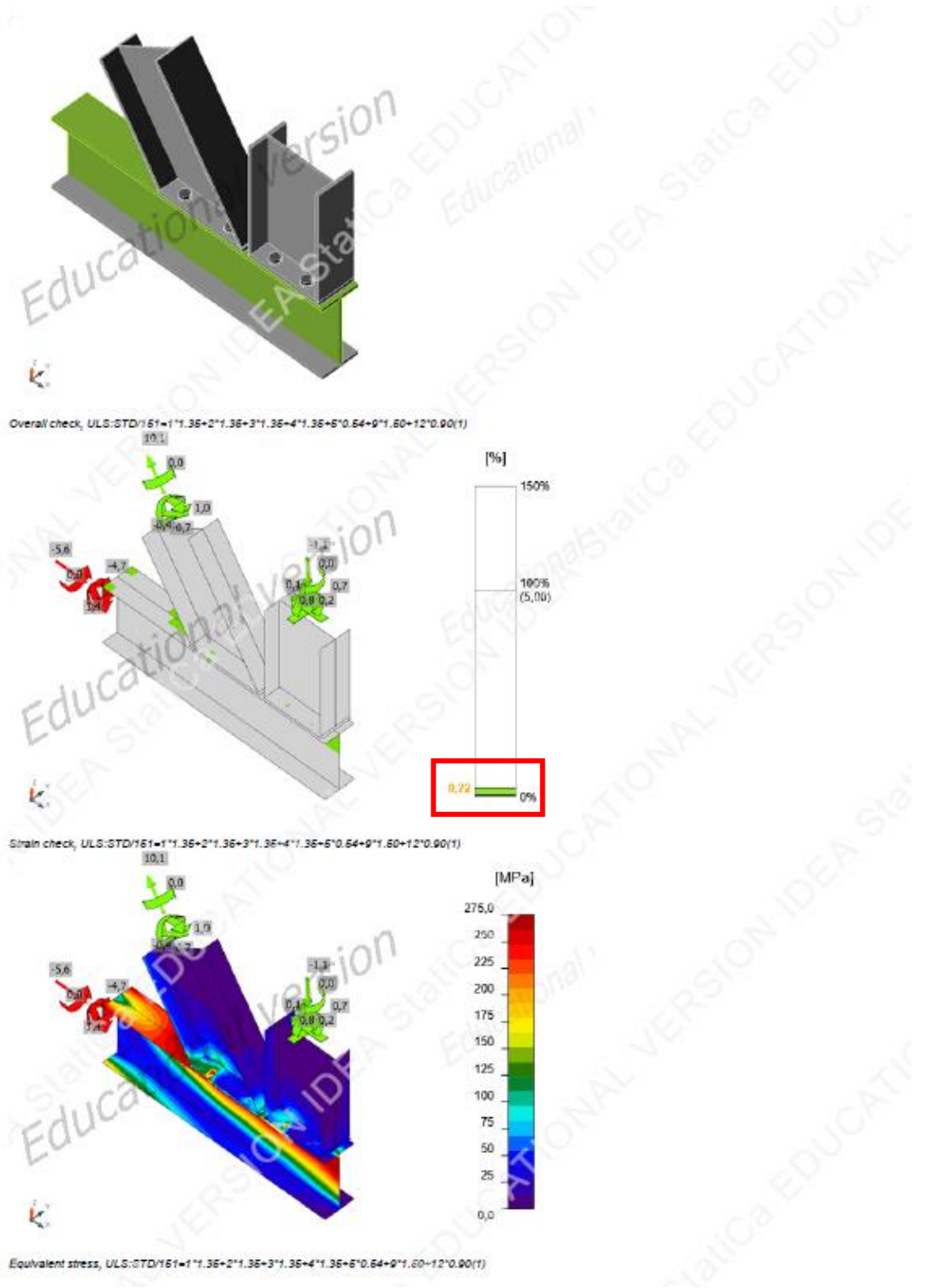
Design data

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 275	275,0	5,0

Symbol explanation

$\epsilon_{pl}$	Strain
$\sigma_{Ed}$	Eq. stress
$f_y$	Yield strength
$\epsilon_{lim}$	Limit of plastic strain

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”



ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

**Bolts**

	Name	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	V [kN]	$U_t$ [%]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_{ts}$ [%]	$U_{tsb}$ [%]	Status
	B1	ULS:STD/221=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+10*1.50+14*0.90(2)	7,3	0,8	12,0	52,9	2,4	11,0	OK
	B2	ULS:STD/169=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+14*0.90(33)	4,6	1,4	7,6	59,8	4,1	9,6	OK
	B3	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	19,0	2,0	31,3	71,3	6,1	28,5	OK
	B4	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	8,9	1,8	14,7	49,4	5,2	15,8	OK
	B5	ULS:STD/217=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+10*1.50+12*0.90(36)	6,9	0,2	11,4	59,4	0,7	8,8	OK
	B6	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	12,8	0,4	21,1	55,3	1,2	16,2	OK
	B7	ULS:STD/119=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*1.50+14*0.90(5)	4,2	0,1	6,9	82,6	0,3	5,3	OK
	B8	ULS:STD/119=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+7*1.50+14*0.90(5)	4,1	0,1	6,8	82,6	0,4	5,3	OK

**Design data**

Name	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M12 10.9 - 1	60,5		119,3
			33,6

**Symbol explanation**

- $F_{t,Rd}$  Bolt tension resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
- $F_{t,Ed}$  Tension force
- $B_{p,Rd}$  Punching shear resistance
- V Resultant of shear forces  $V_y$ ,  $V_z$  in bolt
- $F_{v,Rd}$  Bolt shear resistance EN\_1993-1-8 table 3.4
- $F_{b,Rd}$  Plate bearing resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
- $U_t$  Utilization in tension
- $U_{ts}$  Utilization in shear
- $U_{tsb}$  Utilization in tension and shear EN 1993-1-8 table 3.4

**Welds (Maximal value used, plastic redistribution recommended)**

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$T_{\parallel}$ [MPa]	$T_{\perp}$ [MPa]	Ut [%]	Status
EP1	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IFE 180-bff 1	8,0	91	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)						OK
EP1	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IFE 180-tf 1	8,0	91	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)						OK
EP1	Esc_1L Z e Y_131_DEFAULT_NAME_XXX IFE 180-w 1	5,3	207	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)						OK
EP2	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IFE 180-bff 1	8,0	91	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)						OK
EP2	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IFE 180-tf 1	8,0	91	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)						OK
EP2	Esc_1L Z e Y_151_DEFAULT_NAME_XXX IFE 180-w 1	5,3	172	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)						OK

**Symbol explanation**

- $\sigma_{w,Ed}$  Equivalent stress
- $\sigma_{w,Rd}$  Equivalent stress resistance
- $\sigma_{\perp}$  Perpendicular stress
- $T_{\parallel}$  Shear stress parallel to weld axis
- $T_{\perp}$  Shear stress perpendicular to weld axis
- $0.9 \sigma$  Perpendicular stress resistance -  $0.9 \cdot f_w / \gamma_{M2}$
- $\beta_w$  Correlation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1
- Ut Utilization
- Utc Weld capacity utilization

**IX. Ligação aparafusada tipo IPE180 - SHS250x8**

IX.1 - Folha de Cálculo

Categoria da Ligação	
Corte	A
Tração	---

Tipo de furo	Normal
Norma do Aço	EN 10025
Disposição furos	Normal

Parafusos	
Tipo	M16
Classe	10.9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	900
$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	1000

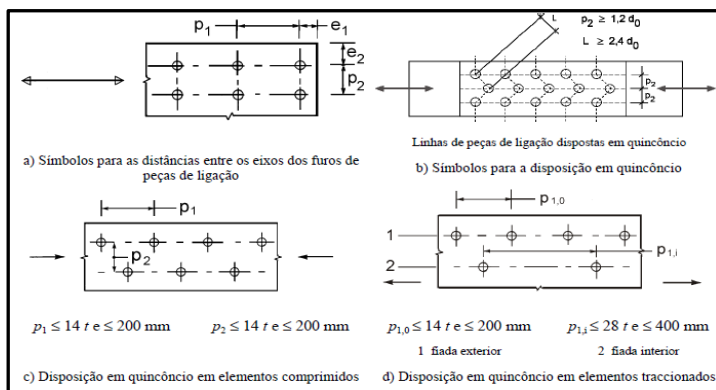
Aço chapa	S 275
$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	275
$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	430

Outros Dados	
Nº parafusos (nH)	2

Chapa de Ligação	
Dimensões	Chapa 1
b (mm)	170
h (mm)	150
esp (mm)	10

Combinação		194/ end (335)/ 81 (C)/	
		ELU W (Y+)	
Esforços de cálculo na Ligação	FX (kN)	117,51 kN	
	FY (kN)	-1,05 kN	
	FZ (kN)	-24,65 kN	
	MX (kNm)	0,00 kN.m	
	MY (kNm)	0,00 kN.m	
		MZ (kNm)	0,00 kN.m

Distâncias (Quadro 3.3 do EC3-1-8)			
Distancia	Mínimo	Máximo	Adotado
e1V (mm)	21,6	80	35
e2H (mm)	21,6	80	35
p1 (mm)	39,6	140	80,0
p2 (mm)	43,2	140	80,0



ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Resistencia da soldadura (método simplificado)		
Resistencia da soldadura	$\beta_w$	0,9
	Aço da Soldadura	S 275
	$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	430,0
	$f_{vw,d}$ (N/mm <sup>2</sup> )	233,7
	Espessura (mm)	5,3
	Comprimento (mm)	150,0
	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	795,0
$F_{w,Rd}$ (kN)	<b>185,8</b>	

Resistencias dos parafusos		
Resistencia à tração	Cabeça Parafuso	Outros
	K2	0.90
	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	157
	$F_{t,Rd}$ (kN)	<b>113,04</b>
Resistencia à tração	nº parafusos	4
	$F_{t,Rd}^{Total}$ (kN)	<b>452.16</b>

Resistencias dos parafusos		
Resistencia ao esmagamento	Parafusos	Interiores
	K1	2.50
	$\alpha_b$	1.00
	$\alpha_d$	1.23
	$d_0$ (mm)	18
	$d$ (mm)	16
	$t$ (mm)	5.30 mm
	$F_{b,Rd}$ (kN)	<b>72,93</b>
	nº parafusos	4
	$F_{b,Rd}^{Total}$ (kN)	<b>291.71</b>

Esforços de cálculo para verificação das Ligações		Valor
Transverso de cálculo em todos os parafusos	$F_v,Ed$ (total)	120,07 kN
Transverso de cálculo por parafuso	$F_v,Ed$	30,02 kN

Componente a Verificar	Esforço a Verificar		Cálculo
			Resultado
Parafusos	Corte	$F_v,Ed / F_v,Rd$	<b>0,48</b>
	Esmagamento	$F_v,Ed / F_b,Rd$	<b>0,41</b>
	---	---	---
Soldadura	Tração (Sold)	$F_t,Ed / F_w,Rd$	<b>0,63</b>
	Corte (Vz)	$F_z / F_w,Rd$	<b>0,13</b>
	---	---	---

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

## IX.2 – “Idea Statica”

Project:  
Project no:  
Author:



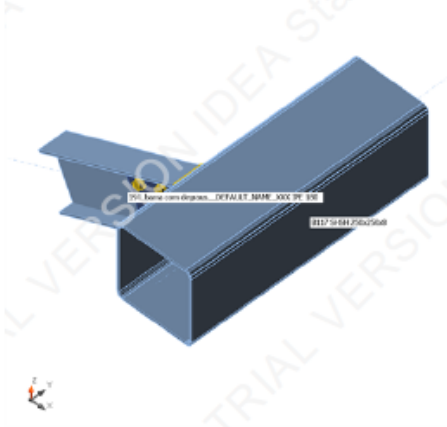
### Project item Con 335

#### Design

Name: Con 335  
Description:  
Analysis: Stress, strain/ loads in equilibrium

#### Beams and columns

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Forces In
B117 SHSH 250x250x8	153218 - 250x250x8 SHS	90.0	0.0	0.0	-250	0	-55	Node
194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	153210 - IPE180	180.0	24.1	0.0	0	0	0	Node



#### Cross-sections

Name	Material
153218 - 250x250x8 SHS	S 275
153210 - IPE180	S 275

#### Bolts

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M16 10.9	M16 10.9	16	1000.0	201

#### Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	B117 SHSH 250x250x8	27.7	163.3	-18.4	6.4	-0.2	-68.5
	194_barra com degraus__DEFAULT_NAME_XXX IPE 180	-117.5	1.0	-24.6	0.0	0.0	0.0

#### Check

##### Summary

Name	Value	Status
Analysis	100.0%	OK
Plates	3.1 < 5%	OK
Bolts	98.3 < 100%	OK
Welds	71.4 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Plates

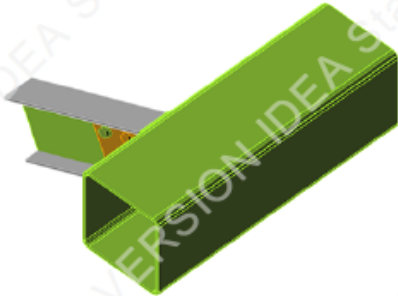
Name	Thickness [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{Pl}$ [%]	Status
B117 SHSH 250x250x6	8.0	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	275.3	0.1	OK
194_barra com degraus__DEFAULT_NAME__XXX IPE 180-bfl 1	8.0	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	70.1	0.0	OK
194_barra com degraus__DEFAULT_NAME__XXX IPE 180-fl 1	8.0	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	189.4	0.0	OK
194_barra com degraus__DEFAULT_NAME__XXX IPE 180-w 1	5.3	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	279.6	2.2	OK
FP1	10.0	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	281.4	3.1	OK
SP1	12.0	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	275.4	0.2	OK

Design data

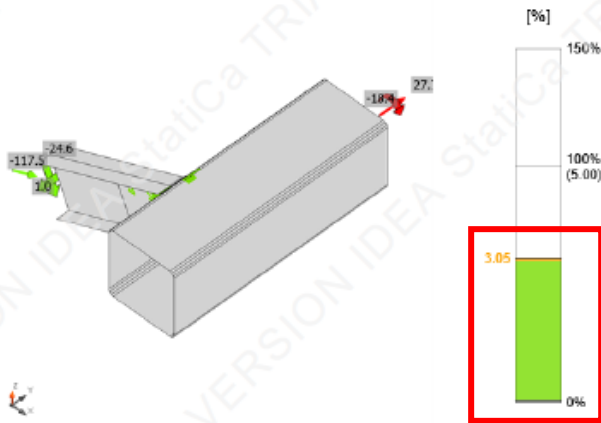
Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 275	275.0	5.0

Symbol explanation

$\epsilon_{Pl}$	Strain
$\sigma_{Ed}$	Eq. stress
$f_y$	Yield strength
$\epsilon_{lim}$	Limit of plastic strain

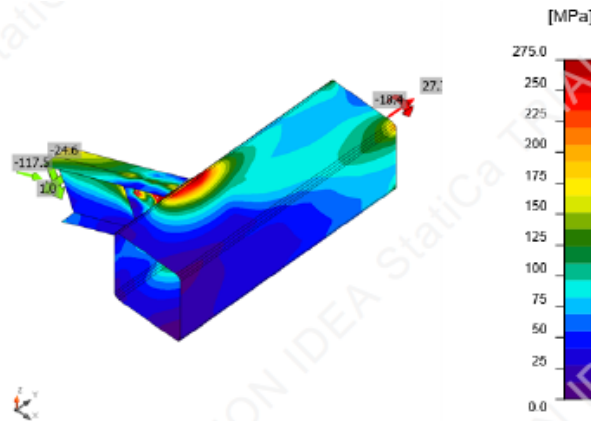


Overall check, ULS:STD/151=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+5\*0.54+9\*1.50+12\*0.90(1)



Strain check, ULS:STD/151=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+5\*0.54+9\*1.50+12\*0.90(1)

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”



Equivalent stress, ULS:STD/151=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+5\*0.54+9\*1.50+12\*0.90(1)

**Bolts**

Name	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	V [kN]	$U_t$ [%]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_s$ [%]	$U_{ts}$ [%]	Status
B1	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	11.6	51.8	11.9	72.9	82.5	89.8	OK
B2	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	24.5	52.0	25.2	72.9	82.8	98.3	OK
B3	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	5.9	17.1	6.0	72.9	27.2	30.9	OK
B4	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	11.1	31.2	11.4	72.9	49.6	56.6	OK

**Design data**

Name	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M16 10.9 - 1	113.0		62.8

**Symbol explanation**

- $F_{t,Rd}$  Bolt tension resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
- $F_{t,Ed}$  Tension force
- $B_{p,Rd}$  Punching shear resistance
- V Resultant of shear forces  $V_y, V_z$  in bolt
- $F_{v,Rd}$  Bolt shear resistance EN 1993-1-8 table 3.4
- $F_{b,Rd}$  Plate bearing resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
- $U_t$  Utilization in tension
- $U_s$  Utilization in shear
- $U_{ts}$  Utilization in tension and shear EN 1993-1-8 table 3.4

**Welds (Plastic redistribution)**

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{p1}$ [%]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$T_{\parallel}$ [MPa]	$T_{\perp}$ [MPa]	$U_t$ [%]	$U_{ts}$ [%]	Status
SP1	FP1	10.0	164	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
B117 SHSH 250x250x8-w 2	SP1	8.0	90	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	277.5	0.0	-162.0	-45.0	122.1	68.6	56.4	OK
B117 SHSH 250x250x8-w 2	SP1	8.0	200	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	289.0	0.0	-13.8	135.6	96.8	71.4	42.0	OK
B117 SHSH 250x250x8-w 2	SP1	8.0	90	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	127.0	0.0	-91.4	27.2	43.0	31.4	27.4	OK
B117 SHSH 250x250x8-w 2	SP1	8.0	200	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	254.2	0.0	-14.4	-89.4	116.1	62.8	39.3	OK

## ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

### Symbol explanation

$\epsilon_{PI}$	Strain
$\sigma_{w,Ed}$	Equivalent stress
$\sigma_{w,Rd}$	Equivalent stress resistance
$\sigma_{\perp}$	Perpendicular stress
$\tau_{\parallel}$	Shear stress parallel to weld axis
$\tau_{\perp}$	Shear stress perpendicular to weld axis
$0.9 \sigma$	Perpendicular stress resistance - $0.9 \cdot f_w / \sqrt{M2}$
$\beta_w$	Correlation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1
Ut	Utilization
Utc	Weld capacity utilization

### Buckling

Buckling analysis was not calculated.



### Code settings

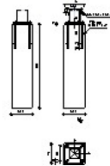
Item	Value	Unit	Reference
$\gamma_{M0}$	1.00	-	EN 1993-1-1: 6.1
$\gamma_{M1}$	1.00	-	EN 1993-1-1: 6.1
$\gamma_{M2}$	1.25	-	EN 1993-1-1: 6.1
$\gamma_{M3}$	1.25	-	EN 1993-1-8: 2.2
$\gamma_c$	1.50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
$\gamma_{int}$	1.20	-	ETAG 001-C: 3.2.1
Joint coefficient $\beta_j$	0.67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Effective area - Influence of mesh size	0.10	-	
Friction coefficient - concrete	0.25	-	EN 1993-1-8
Friction coefficient in slip-resistance	0.30	-	EN 1993-1-8 tab 3.7
Limit plastic strain	0.05	-	EN 1993-1-5
Weld stress evaluation	Plastic redistribution		
Detailing	No		
Distance between bolts [d]	2.20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Distance between bolts and edge [d]	1.20	-	EN 1993-1-5: tab 3.3
Concrete breakout resistance	Yes		ETAG 001-C
Use calculated $a_b$ in bearing check.	Yes		EN 1993-1-8: tab 3.4
Cracked concrete	Yes		

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

## X. Ligação tipo bases das colunas aos plinto

### X.1 – “Robot Strutral”

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019	
	<b>Pinned column base design</b> Eurocode 3: EN 1993-1-8:2005/AC:2009	



#### GENERAL

Connection no.: 8  
 Connection name: Pinned column base  
 Structure node: 13  
 Structure bars: 345

#### GEOMETRY

##### COLUMN

Section: SHSH 250x250x8  
 Bar no.: 345

$L_c =$	2.29	[m]	Column length
$\alpha =$	0.0	[Deg]	Inclination angle
$h_c =$	250	[mm]	Height of column section
$b_{fc} =$	250	[mm]	Width of column section
$t_{wc} =$	8	[mm]	Thickness of the web of column section
$t_{fc} =$	8	[mm]	Thickness of the flange of column section
$r_c =$	8	[mm]	Radius of column section fillet
$A_c =$	76.80	[cm <sup>2</sup> ]	Cross-sectional area of a column
$I_{yc} =$	7455.00	[cm <sup>4</sup> ]	Moment of inertia of the column section
Material: S 275			
$f_{yc} =$	275.0000	[MPa]	Resistance
$f_{uc} =$	430.0000	[MPa]	Yield strength of a material

##### COLUMN BASE

$l_{pd} =$	445	[mm]	Length
$b_{pd} =$	445	[mm]	Width
$t_{pd} =$	25	[mm]	Thickness
Material: S 275			
$f_{ypd} =$	275.0000	[MPa]	Resistance
$f_{upd} =$	430.0000	[MPa]	Yield strength of a material

##### ANCHORAGE

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

Class =	10.9		Anchor class
$f_{yb} =$	900.0000	[MPa]	Yield strength of the anchor material
$f_{ub} =$	1000.0000	[MPa]	Tensile strength of the anchor material
$d =$	30	[mm]	Bolt diameter
$A_s =$	5.61	[cm <sup>2</sup> ]	Effective section area of a bolt
$A_v =$	7.07	[cm <sup>2</sup> ]	Area of bolt section
$n_v =$	2		Number of bolt columns
$n_H =$	2		Number of bolt rows
$e_H =$	350	[mm]	Horizontal spacing
$e_V =$	350	[mm]	Vertical spacing

##### Anchor dimensions

$L_1 =$	30	[mm]
$L_2 =$	500	[mm]
$L_3 =$	100	[mm]

##### Anchor plate

$l_p =$	60	[mm]	Length
$b_p =$	60	[mm]	Width
$t_p =$	10	[mm]	Thickness
Material: S 275			
$f_y =$	275.0000	[MPa]	Resistance

##### Washer

$l_w =$	50	[mm]	Length
---------	----	------	--------

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

$l_{wd} =$			
$b_{wd} =$	50	[mm]	Width
$t_{wd} =$	10	[mm]	Thickness

### MATERIAL FACTORS

$\gamma_{M0} =$	1.00		Partial safety factor
$\gamma_{M2} =$	1.25		Partial safety factor
$\gamma_C =$	1.50		Partial safety factor

### SPREAD FOOTING

L =	500	[mm]	Spread footing length
B =	500	[mm]	Spread footing width
H =	2000	[mm]	Spread footing height

### Concrete

Class	BETÃO		
$f_{ck} =$	25.0000	[MPa]	Characteristic resistance for compression

### Grout layer

$t_g =$	10	[mm]	Thickness of leveling layer (grout)
$f_{ck,g} =$	30.0000	[MPa]	Characteristic resistance for compression
$C_{fd} =$	0.30		Coeff. of friction between the base plate and concrete

### WELDS

$a_p =$	10	[mm]	Footing plate of the column base
---------	----	------	----------------------------------

### LOADS

Case: 81: ULS:STD/151=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+5\*0.54+9\*1.50+12\*0.90 (1+2+192+194)\*1.35+(5+182+184)\*0.54+9\*1.50+12\*0.90

$N_{j,Ed} =$	877.2767	[kN]	Axial force
$V_{j,Ed,y} =$	-0.6992	[kN]	Shear force
$V_{j,Ed,z} =$	-209.6469	[kN]	Shear force

### RESULTS

#### TENSION ZONE

##### STEEL FAILURE

$A_b =$	5.61	[cm <sup>2</sup> ]	Effective anchor area	[Table 3.4]
$f_{ub} =$	1000.0000	[MPa]	Tensile strength of the anchor material	[Table 3.4]
Beta =	0.85		Reduction factor of anchor resistance	[3.6.1.(3)]
$F_{t,Rd,s1} = \beta \cdot 0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_b / \gamma_{M2}$				
$F_{t,Rd,s1} =$	343.3320	[kN]	Anchor resistance to steel failure	[Table 3.4]
$F_{t,Rd,s} = F_{t,Rd,s1}$				
$F_{t,Rd,s} =$	343.3320	[kN]	Anchor resistance to steel failure	

##### TENSILE RESISTANCE OF AN ANCHOR

$F_{t,Rd} = F_{t,Rd,s}$			
$F_{t,Rd} =$	343.3320	[kN]	Tensile resistance of an anchor

##### BENDING OF THE BASE PLATE

$l_{eff,1} =$	223	[mm]	Effective length for a single bolt for mode 1	[6.2.6.5]
$l_{eff,2} =$	223	[mm]	Effective length for a single bolt for mode 2	[6.2.6.5]
m =	71	[mm]	Distance of a bolt from the stiffening edge	[6.2.6.5]
$M_{pl,1,Rd} =$	9.5605	[kN*m]	Plastic resistance of a plate for mode 1	[6.2.4]
$M_{pl,2,Rd} =$	9.5605	[kN*m]	Plastic resistance of a plate for mode 2	[6.2.4]
$F_{T,1,Rd} =$	540.8262	[kN]	Resistance of a plate for mode 1	[6.2.4]
$F_{T,2,Rd} =$	473.2020	[kN]	Resistance of a plate for mode 2	[6.2.4]
$F_{T,3,Rd} =$	686.6640	[kN]	Resistance of a plate for mode 3	[6.2.4]
$F_{t,pl,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$				
$F_{t,pl,Rd} =$	473.2020	[kN]	Tension resistance of a plate	[6.2.4]

##### RESISTANCES OF SPREAD FOOTING IN THE TENSION ZONE

$N_{j,Rd} =$	946.4040	[kN]	Resistance of a spread footing for axial tension	[6.2.8.3]
--------------	----------	------	--	-----------

### CONNECTION CAPACITY CHECK

$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$ (6.24)	0.93 < 1.00	verified	(0.93)
---------------------------------------	-------------	----------	--------

### SHEAR

#### BEARING PRESSURE OF AN ANCHOR BOLT ONTO THE BASE PLATE

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

### Shear force $V_{j,Ed,y}$

$\alpha_{d,y} = 0.49$	Coeff. taking account of the bolt position - in the direction of shear	[Table 3.4]
$\alpha_{b,y} = 0.49$	Coeff. for resistance calculation $F_{1,vb,Rd}$	[Table 3.4]
$k_{1,y} = 2.46$	Coeff. taking account of the bolt position - perpendicularly to the direction of shear	[Table 3.4]
$F_{1,vb,Rd,y} = k_{1,y} \alpha_{b,y} f_{ub}^* d^2 p / \gamma_{M2}$		
$F_{1,vb,Rd,y} = 313.5557$ [kN]	Resistance of an anchor bolt for bearing pressure onto the base plate	[6.2.2.(7)]

### Shear force $V_{j,Ed,z}$

$\alpha_{d,z} = 0.49$	Coeff. taking account of the bolt position - in the direction of shear	[Table 3.4]
$\alpha_{b,z} = 0.49$	Coeff. for resistance calculation $F_{1,vb,Rd}$	[Table 3.4]
$k_{1,z} = 2.46$	Coeff. taking account of the bolt position - perpendicularly to the direction of shear	[Table 3.4]
$F_{1,vb,Rd,z} = k_{1,z} \alpha_{b,z} f_{ub}^* d^2 p / \gamma_{M2}$		
$F_{1,vb,Rd,z} = 313.5557$ [kN]	Resistance of an anchor bolt for bearing pressure onto the base plate	[6.2.2.(7)]

### SHEAR OF AN ANCHOR BOLT

$\alpha_b = 0.25$	Coeff. for resistance calculation $F_{2,vb,Rd}$	[6.2.2.(7)]
$A_{vb} = 7.07$ [cm <sup>2</sup> ]	Area of bolt section	[6.2.2.(7)]
$f_{ub} = 1000.0000$ [MPa]	Tensile strength of the anchor material	[6.2.2.(7)]
$\gamma_{M2} = 1.25$	Partial safety factor	[6.2.2.(7)]
$F_{2,vb,Rd} = \alpha_b f_{ub} A_{vb} / \gamma_{M2}$		
$F_{2,vb,Rd} = 140.2407$ [kN]	Shear resistance of a bolt - without lever arm	[6.2.2.(7)]

### SPLITTING RESISTANCE

$C_{t,d} = 0.30$	Coeff. of friction between the base plate and concrete	[6.2.2.(6)]
$N_{c,Ed} = 0.0000$ [kN]	Compressive force	[6.2.2.(6)]
$F_{t,Rd} = C_{t,d} N_{c,Ed}$		
$F_{t,Rd} = 0.0000$ [kN]	Slip resistance	[6.2.2.(6)]

### SHEAR CHECK

$V_{j,Rd,y} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd}) + F_{t,Rd}$			
$V_{j,Rd,y} = 560.9628$ [kN]	Connection resistance for shear		
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1.0$	0.00 < 1.00	verified	(0.00)
$V_{j,Rd,z} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}) + F_{t,Rd}$			
$V_{j,Rd,z} = 560.9628$ [kN]	Connection resistance for shear		
$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1.0$	0.37 < 1.00	verified	(0.37)
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1.0$	0.37 < 1.00	verified	(0.37)

### WELDS BETWEEN THE COLUMN AND THE BASE PLATE

$\sigma_{\perp} = 62.0328$ [MPa]	Normal stress in a weld	[4.5.3.(7)]	
$\tau_{\perp} = 62.0328$ [MPa]	Perpendicular tangent stress	[4.5.3.(7)]	
$\tau_{yII} = -0.1398$ [MPa]	Tangent stress parallel to $V_{j,Ed,y}$	[4.5.3.(7)]	
$\tau_{zII} = -41.9294$ [MPa]	Tangent stress parallel to $V_{j,Ed,z}$	[4.5.3.(7)]	
$\beta_W = 0.85$	Resistance-dependent coefficient	[4.5.3.(7)]	
$\sigma_{\perp} / (0.9 f_{t,d} / \gamma_{M2}) \leq 1.0$ (4.1)	0.20 < 1.00	verified	(0.20)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{yII}^2 + \tau_{zII}^2))} / (f_{t,d} / (\beta_W \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)	0.31 < 1.00	verified	(0.31)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{zII}^2 + \tau_{\perp}^2))} / (f_{t,d} / (\beta_W \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)	0.36 < 1.00	verified	(0.36)

### WEAKEST COMPONENT:

BASE PLATE - BENDING

Connection conforms to the code Ratio 0.93 ←

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT  
STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

X.2 – “Idea Statica”

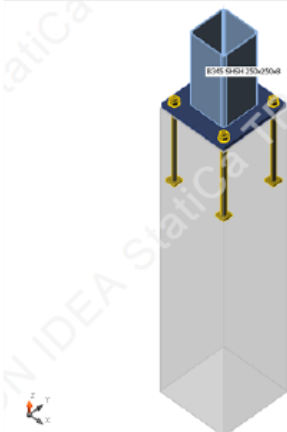
**Project item Con 13**

**Design**

Name Con 13  
Description  
Analysis Stress, strain/loads in equilibrium

**Beams and columns**

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Forces in
B345 SHSH 250x250x8	94522 - SHS250/250/8.0	0.0	-90.0	0.0	0	0	0	Node



**Cross-sections**

Name	Material
94522 - SHS250/250/8.0	S 275

**Anchors**

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M30 10.9	M30 10.9	30	1000.0	707

**Load effects (forces in equilibrium)**

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)	B345 SHSH 250x250x8	686.7	-3.3	1.3	0.0	0.0	0.0

**Foundation block**

Item	Value	Unit
<b>CB 1</b>		
Dimensions	450 x 450	mm
Depth	2000	mm
Anchor	M30 10.9	
Anchoring length	500	mm
Shear force transfer	Friction	
Mortar joint	10	mm

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Summary

Name	Value	Status
Analysis	100.0%	OK
Plates	4.1 < 5%	OK
Anchors	67.6 < 100%	OK
Concrete block	Not calculated	
Shear	5.5 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

Plates

Name	Thickness [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	Status
B345 SHSH 250x250x8	8.0	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)	283.5	4.1	OK
BP1	25.0	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)	270.3	0.6	OK

Design data

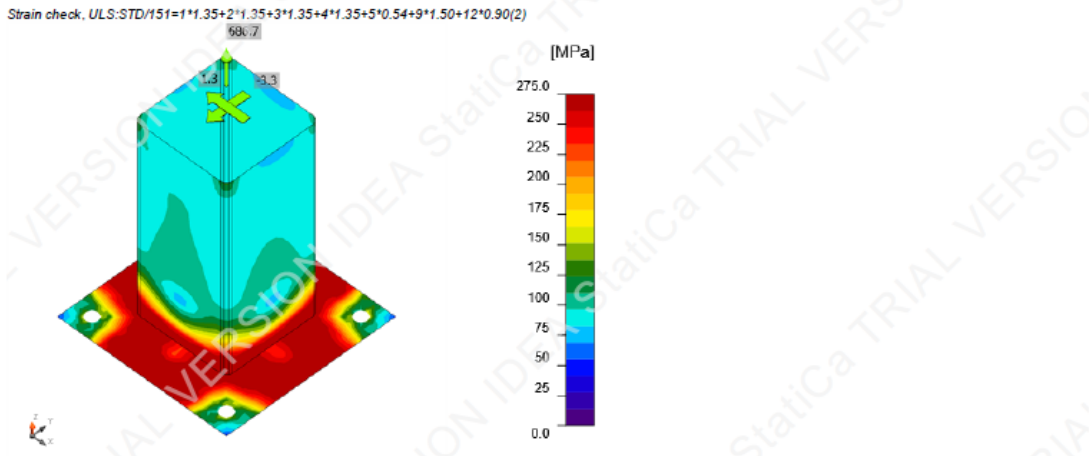
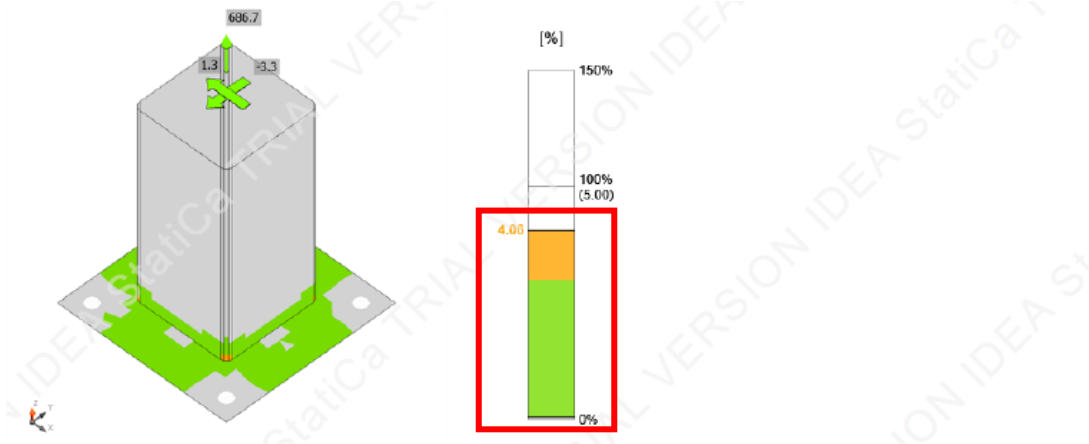
Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 275	275.0	5.0

Symbol explanation

$\epsilon_{pl}$	Strain
$\sigma_{Ed}$	Eq. stress
$f_y$	Yield strength
$\epsilon_{lim}$	Limit of plastic strain



ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”



Anchors

	Name	Loads	F <sub>Ed</sub> [kN]	V [kN]	N <sub>rdp</sub> [kN]	U <sub>t</sub> [%]	F <sub>b,Rd</sub> [kN]	U <sub>s</sub> [%]	U <sub>ts</sub> [%]	V <sub>Rd,cp</sub> [kN]	V <sub>Rd,c</sub> [kN]	Status
	A1	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)	231.9	0.0	361.6	67.5	412.5	0.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A2	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)	232.0	0.0	361.6	67.8	413.5	0.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A3	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)	231.9	0.0	361.6	67.8	414.1	0.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A4	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)	232.0	0.0	361.6	67.8	410.0	0.0	0.0	0.0	0.0	OK

Design data

Name	F <sub>L,Rd</sub> [kN]	B <sub>p,Rd</sub> [kN]	F <sub>v,Rd</sub> [kN]	V <sub>rd,s</sub> [kN]	S <sub>tr</sub> [MN/m]
M30 10.9 - 1	343.3	854.1	224.4	0.0	619

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Symbol explanation

$F_{t,Rd}$	Bolt tension resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
$F_{t,Ed}$	Tension force
$B_{p,Rd}$	Punching shear resistance
$V$	Resultant of shear forces $V_y, V_z$ in bolt
$F_{v,Rd}$	Bolt shear resistance EN_1993-1-8 table 3.4
$V_{Rds}$	Characteristic anchor resistance ETAG 001 Annex C (5.2.3.2)
$S_{tr}$	Anchor longitudinal stiffness
$F_{b,Rd}$	Plate bearing resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
$N_{rd,c}$	Concrete cone breakout resistance not applied
$N_{rd,p}$	Pull-out resistance
$U_t$	Utilization in tension
$U_s$	Utilization in shear
$U_{ts}$	Utilization in tension and shear EN 1993-1-8 table 3.4
$V_{rd,cp}$	Concrete pry-out failure ETAG 001 Annex C (5.2.3.3)
$V_{rd,c}$	Concrete edge failure ETAG 001 Annex C (5.2.3.4)
$C_{pr}$	Concrete pry-out failure ETAG 001 Annex C (5.2.3.3)
$C_{er}$	Concrete edge failure ETAG 001 Annex C (5.2.3.4)

Welds (Maximal value used, plastic redistribution recommended)

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	$U_t$ [%]	Status
BP1	B345 SHSH 250x250x8-w 1	8.0	210	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)						OK
BP1	B345 SHSH 250x250x8-arc 1	8.0	8	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)						OK
BP1	B345 SHSH 250x250x8-arc 2	8.0	8	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)						OK
BP1	B345 SHSH 250x250x8-arc 3	8.0	8	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)						OK
BP1	B345 SHSH 250x250x8-w 2	8.0	210	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)						OK
BP1	B345 SHSH 250x250x8-arc 4	8.0	8	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)						OK
BP1	B345 SHSH 250x250x8-arc 5	8.0	8	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)						OK
BP1	B345 SHSH 250x250x8-arc 6	8.0	8	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)						OK
BP1	B345 SHSH 250x250x8-w 3	8.0	210	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)						OK
BP1	B345 SHSH 250x250x8-arc 7	8.0	8	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)						OK
BP1	B345 SHSH 250x250x8-arc 8	8.0	8	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)						OK
BP1	B345 SHSH 250x250x8-arc 9	8.0	8	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)						OK
BP1	B345 SHSH 250x250x8-w 4	8.0	210	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)						OK
BP1	B345 SHSH 250x250x8-arc 10	8.0	8	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)						OK
BP1	B345 SHSH 250x250x8-arc 11	8.0	8	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)						OK
BP1	B345 SHSH 250x250x8-arc 12	8.0	8	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)						OK

Design data

	$\beta_w$ [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0.9 \sigma$ [MPa]
S 275	0.85	404.7	309.6

# ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Author:

**Symbol explanation**

$\sigma_{wEd}$	Equivalent stress
$\sigma_{wRd}$	Equivalent stress resistance
$\sigma_{\perp}$	Perpendicular stress
$\tau_{\parallel}$	Shear stress parallel to weld axis
$\tau_{\perp}$	Shear stress perpendicular to weld axis
$0.9 \sigma$	Perpendicular stress resistance - $0.9 \cdot f_{u1} / \gamma_{M2}$
$\beta_w$	Correlation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1
Ut	Utilization
Utc	Weld capacity utilization

**Shear in contact plane**

Name	Loads	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	V <sub>Rd,y</sub> [kN]	V <sub>Rd,z</sub> [kN]	V <sub>c,Rd</sub> [kN]	Ut [%]	Status
BP1	ULS:STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(2)	-3.3	1.3	64.4	64.4	0.0	5.5	OK

**Symbol explanation**

V <sub>y</sub>	Shear force in base plate Vy
V <sub>z</sub>	Shear force in base plate Vz
V <sub>Rd,y</sub>	Shear resistance
V <sub>Rd,z</sub>	Shear resistance
V <sub>c,Rd</sub>	Concrete bearing resistance
Ut	Utilization

**Buckling**

Buckling analysis was not calculated.



**Code settings**

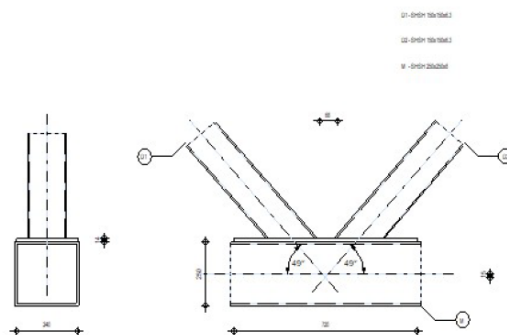
Item	Value	Unit	Reference
γ <sub>M0</sub>	1.00	-	EN 1993-1-1: 6.1
γ <sub>M1</sub>	1.00	-	EN 1993-1-1: 6.1
γ <sub>M2</sub>	1.25	-	EN 1993-1-1: 6.1
γ <sub>M3</sub>	1.25	-	EN 1993-1-8: 2.2
γ <sub>C</sub>	1.50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
γ <sub>inst</sub>	1.20	-	ETAG 001-C: 3.2.1
Joint coefficient β <sub>j</sub>	0.67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Effective area - influence of mesh size	0.10	-	
Friction coefficient - concrete	0.25	-	EN 1993-1-8
Friction coefficient in slip-resistance	0.30	-	EN 1993-1-8 tab 3.7
Limit plastic strain	0.05	-	EN 1993-1-5
Weld stress evaluation	Plastic redistribution		
Detailing	No		
Distance between bolts [d]	2.20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Distance between bolts and edge [d]	1.20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Concrete breakout resistance	No		ETAG 001-C
Use calculated ab in bearing check.	Yes		EN 1993-1-8: tab 3.4
Cracked concrete	Yes		
Local deformation check	No		
Local deformation limit	0.03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

## XI. Ligações soldadas tipo K com diagonais SHS150x6.3

### XI.1 – “Robot Structural”

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020	
	<b>Projeto de conexão de nós de treliça</b> EN 1993-1-8:2005/AC:2009	



#### GERAL

Nº de conexão: 92  
 Nome da conexão: TUBE  
 Nó estrutural: 52  
 Barras estruturais: 58, 141, 62

#### GEOMETRIA

##### BARRAS

	Banzo	Diagonal 1	Diagonal 2	Pilar	
Barra N°:	58	62	141		
Seção:	SHSH 250x250x8	SHSH 150x150x6.3	SHSH 150x150x6.3		
h	250	150	150		mm
b <sub>f</sub>	250	150	150		mm
t <sub>w</sub>	8	6	6		mm
t <sub>f</sub>	8	6	6		mm
r	8	6	6		mm
Material:	S 275	S 275	S 275		
f <sub>y</sub>	275,0000	275,0000	275,0000		MPa
f <sub>u</sub>	430,0000	430,0000	430,0000		MPa
Ângulo θ	0,0	49,2	49,3		Deg
Comprimento l	48000	3516	2161		mm

##### DESLOCAMENTO

e<sub>0</sub> = 15 [mm] Deslocamento

##### ESPAÇAMENTOS

g<sub>2</sub> = 68 [mm] Espaçamento da diagonal 2

##### REFORÇO HORIZONTAL

b<sub>ph</sub> = 240 [mm] Largura  
 l<sub>ph</sub> = 720 [mm] Comprimento  
 t<sub>ph</sub> = 14 [mm] Espessura  
 Material: S 275  
 f<sub>yph</sub> = 275,0000 [MPa] Resistência

##### SOLDAS

a<sub>d</sub> = 8 [mm] Espessura das soldas das diagonais e dos pilares  
 a<sub>st</sub> = 7 [mm] Espessura das soldas do enrijecedor

##### CARGAS

Caso: 53: ULS:STD/47=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+6\*1.35+10\*0.45+12\*0.90 (1+2+6)\*1.35+10\*0.45+12\*0.90+(191+171+193+173)\*-1.35

##### BANZO

N<sub>01,Ed</sub> = 50,4834 [kN] Força axial  
 M<sub>01,Ed</sub> = -36,1758 [kN\*m] Momento fletor  
 N<sub>02,Ed</sub> = -834,7710 [kN] Força axial  
 M<sub>02,Ed</sub> = -36,1758 [kN\*m] Momento fletor

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

## DIAGONAL 1

$N_1 =$	-748,2595	[kN]	Força axial
$M_1 =$	0,0000	[kN*m]	Momento fletor

## DIAGONAL 2

$N_2 =$	607,8707	[kN]	Força axial
$M_2 =$	0,0000	[kN*m]	Momento fletor

As forças de cisalhamento não foram incluídas na verificação da conexão. A conexão foi projetada como um nó de treliça.

## RESULTADOS

### CONSIDERAR A CONEXÃO NÃO AXIAL DE MEMBROS NO NÓ

$M_0 =$	13,2788	[kN*m]	Momento adicional da conexão excêntrica de membros	$M_0 = (N_{02} \cdot N_{01}) \cdot e_0$
$\Sigma E_p \cdot l_i =$	3223385,3672	[kN*m]	Rigidez geral da conexão	
$\Delta M_{01} =$	2,6872	[kN*m]	Momento adicional no banzo	
$\Delta M_{02} =$	2,6872	[kN*m]	Momento adicional no banzo	
$\Delta M_2 =$	4,8956	[kN*m]	Momento adicional na diagonal	
$\Delta M_1 =$	3,0087	[kN*m]	Momento adicional na diagonal	

### VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE EUROCODE 3: EN 1993-1-8:2005

$\gamma_{M5} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[Tabela 2.1]
-----------------	------	----------------------------	--------------

**MODOS DE FALHA PARA JUNTAS (MEMBROS DO BANZO RHS)** [Tabela 7.10] para  $N_{1,Rd}$  e [Tabela 7.14] para  $M_{1,Rd}$

### PARÂMETROS GEOMÉTRICOS

$\beta =$	0,60	Coefficiente dependente da geometria das barras de conexão	$\beta = (b_2 + b_1) / (2 \cdot b_0)$ [1.5 (6)]
$\gamma =$	8,93	Coefficiente dependente da geometria do banzo	$\gamma = b_0 / (2 \cdot t_{ph})$ [1.5 (6)]
$\eta =$	0,62	Coefficiente dependente das tensões no banzo	$\eta_0 = \sigma_0 \cdot E_d / f_{y0}$
$k_n =$	0,89	Coefficiente dependente das tensões no banzo	$k_n = 1.3 - 0.4 \cdot \eta_0 / \beta$

### FALHA DA FACE DO BANZO DO TUBO

#### DIAGONAL 2

$N_{2,Rd} =$	1009,3969	[kN]	Capacidade de tensão	$N_{2,Rd} = 8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_{ph}^{2 \cdot \sqrt{\gamma} / \sin(\theta_2)} \cdot \beta$
$ N_2  \leq N_{2,Rd}$			$ 607,8707  < 1009,3969$	verificado <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">(0,60)</span>
$M_{2,Rd} =$	12,9045	[kN*m]	Resistência à flexão	$M_{2,Rd} = k_n \cdot f_{y0} \cdot t_{ph}^{2 \cdot \sqrt{\gamma} / \sin(\theta_2)} \cdot [1 / (2 \cdot \eta) + 2 \cdot \sqrt{1 - \beta} + \eta / (1 - \beta)] / \gamma_{M5}$
$ M_2 + \Delta M_2  \leq M_{2,Rd}$			$ 4,8956  < 12,9045$	verificado <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">(0,38)</span>
$N_2 / N_{2,Rd} + (M_2 + \Delta M_2) / M_{2,Rd} \leq 1$			$0,98 < 1,00$	verificado <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">(0,98)</span>

#### DIAGONAL 1

$N_{1,Rd} =$	1011,2755	[kN]	Capacidade de compressão	$N_{1,Rd} = 8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_{ph}^{2 \cdot \sqrt{\gamma} / \sin(\theta_1)} \cdot \beta$
$ N_1  \leq N_{1,Rd}$			$ -748,2595  < 1011,2755$	verificado <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">(0,74)</span>
$M_{1,Rd} =$	12,9045	[kN*m]	Resistência à flexão	$M_{1,Rd} = k_n \cdot f_{y0} \cdot t_{ph}^{2 \cdot \sqrt{\gamma} / \sin(\theta_1)} \cdot [1 / (2 \cdot \eta) + 2 \cdot \sqrt{1 - \beta} + \eta / (1 - \beta)] / \gamma_{M5}$
$ M_1 + \Delta M_1  \leq M_{1,Rd}$			$ 3,0087  < 12,9045$	verificado <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">(0,23)</span>
$N_1 / N_{1,Rd} + (M_1 + \Delta M_1) / M_{1,Rd} \leq 1$			$0,97 < 1,00$	verificado <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">(0,97)</span>

### PUNÇÃO DE BANZO

#### DIAGONAL 2

$b_{e,p} =$	84	[mm]	Largura efetiva para cisalhamento de punção	$b_{e,p} = (10 \cdot b_2) / (b_0 / t_0)$
$N_{2,Rd} =$	1847,4017	[kN]	Capacidade de tensão	$N_{2,Rd} = f_{y0} \cdot t_{ph} / (\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_2)) \cdot [2 \cdot h_2 / \sin(\theta_2) + b_2 + b_{e,p}] / \gamma_{M5}$
$ N_2  \leq N_{2,Rd}$			$ 607,8707  < 1847,4017$	verificado <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">(0,33)</span>

#### DIAGONAL 1

$b_{e,p} =$	84	[mm]	Largura efetiva para cisalhamento de punção	$b_{e,p} = (10 \cdot b_1) / (b_0 / t_0)$
$N_{1,Rd} =$	1853,0049	[kN]	Capacidade de compressão	$N_{1,Rd} = f_{y0} \cdot t_{ph} / (\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_1)) \cdot [2 \cdot h_1 / \sin(\theta_1) + b_1 + b_{e,p}] / \gamma_{M5}$
$ N_1  \leq N_{1,Rd}$			$ -748,2595  < 1853,0049$	verificado <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">(0,40)</span>

### CISALHAMENTO DO BANZO

#### DIAGONAL 2

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

$A_v =$	42,04	[cm <sup>2</sup> ]	Área de cisalhamento do banzo		$A_v = (2 \cdot h_0 + a \cdot b_0) \cdot t_0$	
$N_{2,Rd} =$	880,7172	[kN]	Capacidade de tensão	607,8707  < 880,7172	verificado	$N_{2,Rd} = f_{y0} \cdot A_v / [\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_2)] / \gamma_{M5}$ <b>(0,69)</b>
$ N_2  \leq N_{2,Rd}$						
<b>DIAGONAL 1</b>						
$A_v =$	42,04	[cm <sup>2</sup> ]	Área de cisalhamento do banzo		$A_v = (2 \cdot h_0 + a \cdot b_0) \cdot t_0$	
$N_{1,Rd} =$	882,3563	[kN]	Capacidade de compressão	-748,2595  < 882,3563	verificado	$N_{1,Rd} = f_{y0} \cdot A_v / [\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_1)] / \gamma_{M5}$ <b>(0,85)</b>
$ N_1  \leq N_{1,Rd}$						
<b>RESISTÊNCIA DO BANZO</b>						
$V_{pl,Rd} =$	667,4489	[kN]	Resistência plástica ao cisalhamento	566,0128  < 667,4489	verificado	$V_{pl,Rd} = (A_v \cdot f_{y0}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$ <b>(0,85)</b>
$ V_{Ed}  \leq V_{pl,Rd}$						
$N_{0,Rd} =$	1568,6048	[kN]	Capacidade de compressão	-834,7710  < 1568,6048	verificado	$N_{0,Rd} = [(A_0 - A_v) \cdot f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \cdot \sqrt{1 - (V_{Ed} \cdot \sqrt{3} / V_{pl,Rd})^2}] / \gamma_{M5}$ <b>(0,53)</b>
$ N_{02}  \leq N_{0,Rd}$						
<b>VERIFICAÇÃO DAS SOLDAS</b>						
<b>DIAGONAL 2</b>						
$\beta_w =$	0,85		Coefficiente de correlação			[Tabela 4.1]
$\gamma_{M2} =$	1,25		Fator de segurança parcial			[Tabela 2.1]
<b>Solda longitudinal</b>						
$\sigma_{\perp} =$	58,5150	[MPa]	Tensão normal em uma solda			
$\tau_{\perp} =$	58,5150	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular			
$\tau_{\parallel} =$	71,2420	[MPa]	Tensão tangente			
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{u,M2}$				58,5150  < 309,6000	verificado	<b>(0,19)</b>
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$				170,0655 < 404,7059	verificado	<b>(0,42)</b>
<b>Solda transversal interior</b>						
$\sigma_{\perp} =$	99,2538	[MPa]	Tensão normal em uma solda			
$\tau_{\perp} =$	45,5203	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular			
$\tau_{\parallel} =$	0,0000	[MPa]	Tensão tangente			
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{u,M2}$				99,2538  < 309,6000	verificado	<b>(0,32)</b>
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$				126,7581 < 404,7059	verificado	<b>(0,31)</b>
<b>Solda transversal exterior</b>						
$\sigma_{\perp} =$	45,5203	[MPa]	Tensão normal em uma solda			
$\tau_{\perp} =$	99,2538	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular			
$\tau_{\parallel} =$	0,0000	[MPa]	Tensão tangente			
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{u,M2}$				45,5203  < 309,6000	verificado	<b>(0,15)</b>
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$				177,8372 < 404,7059	verificado	<b>(0,44)</b>
<b>DIAGONAL 1</b>						
$\beta_w =$	0,85		Coefficiente de correlação			[Tabela 4.1]
$\gamma_{M2} =$	1,25		Fator de segurança parcial			[Tabela 2.1]
<b>Solda longitudinal</b>						
$\sigma_{\perp} =$	-71,8193	[MPa]	Tensão normal em uma solda			
$\tau_{\perp} =$	-71,8193	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular			
$\tau_{\parallel} =$	-87,8218	[MPa]	Tensão tangente			
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{u,M2}$				-71,8193  < 309,6000	verificado	<b>(0,23)</b>
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$				209,2128 < 404,7059	verificado	<b>(0,52)</b>
<b>Solda transversal interior</b>						
$\sigma_{\perp} =$	-122,1077	[MPa]	Tensão normal em uma solda			
$\tau_{\perp} =$	-55,8425	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular			
$\tau_{\parallel} =$	0,0000	[MPa]	Tensão tangente			
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{u,M2}$				-122,1077  < 309,6000	verificado	<b>(0,39)</b>
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$				155,7737 < 404,7059	verificado	<b>(0,38)</b>
<b>Solda transversal exterior</b>						
$\sigma_{\perp} =$	-55,8425	[MPa]	Tensão normal em uma solda			
$\tau_{\perp} =$	-122,1077	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular			
$\tau_{\parallel} =$	0,0000	[MPa]	Tensão tangente			
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{u,M2}$				-55,8425  < 309,6000	verificado	<b>(0,18)</b>
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$				218,7447 < 404,7059	verificado	<b>(0,54)</b>

A conexão está em conformidade com a norma.

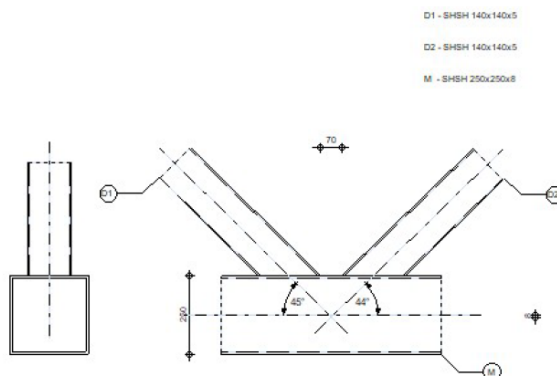
Relação 0,98

ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT  
STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

**XII. Ligações soldadas tipo K com diagonais SHS140x5**

XII.1 – “Robot Strutral”

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020	
	<b>Projeto de conexão de nós de treliça</b> EN 1993-1-8:2005/AC:2009	



**GERAL**

Nº de conexão: 82  
 Nome da conexão: Tübe  
 Nó estrutural: 49  
 Barras estruturais: 327, 56, 55

**GEOMETRIA**

**BARRAS**

		Banzo	Diagonal 1	Diagonal 2	Pilar	
<b>Barra</b>		327	55	56		
<b>Nº :</b>						
<b>Seção:</b>		SHSH 250x250x8	SHSH 140x140x5	SHSH 140x140x5		
	h	250	140	140		mm
	b <sub>F</sub>	250	140	140		mm
	t <sub>v</sub>	8	5	5		mm
	t <sub>F</sub>	8	5	5		mm
	r	8	5	5		mm
<b>Material:</b>		S 275	S 275	S 275		
	f <sub>y</sub>	275,0000	275,0000	275,0000		MPa
	f <sub>u</sub>	430,0000	430,0000	430,0000		MPa
<b>Ângulo</b>	θ	0,0	44,8	44,4		Deg
<b>Comprimento</b>	l	2680	3776	3804		mm

**DESLOCAMENTO**

e<sub>0</sub> = 8 [mm] Deslocamento

**ESPAÇAMENTOS**

g<sub>2</sub> = 70 [mm] Espaçamento da diagonal 2

**SOLDAS**

a<sub>d</sub> = 5 [mm] Espessura das soldas das diagonais e dos pilares

**CARGAS**

Caso: 64: ULS:STD/83=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+5\*1.35+9\*0.45+11\*0.90 (1+2+5+191+181+193+183)\*1.35+9\*0.45+11\*0.90

**BANZO**

N<sub>01,Ed</sub> = -88,4677 [kN] Força axial  
 M<sub>01,Ed</sub> = -1,1763 [kN\*m] Momento fletor

N<sub>02,Ed</sub> = -601,7063 [kN] Força axial  
 M<sub>02,Ed</sub> = -1,1763 [kN\*m] Momento fletor

**DIAGONAL 1**

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

$N_1 =$	-404,1218	[kN]	Força axial
$M_1 =$	0,0000	[kN*m]	Momento fletor

## DIAGONAL 2

$N_2 =$	445,7819	[kN]	Força axial
$M_2 =$	0,0000	[kN*m]	Momento fletor

As forças de cisalhamento não foram incluídas na verificação da conexão. A conexão foi projetada como um nó de treliça.

## RESULTADOS

### CONSIDERAR A CONEXÃO NÃO AXIAL DE MEMBROS NO NÓ

$M_0 =$	3,9758	[kN*m]	Momento adicional da conexão excêntrica de membros	$M_0 = (N_{02} - N_{01}) * e_0$
$\Sigma E_i J_i / L_i =$	24260678,5145	[kN*m]	Rigidez geral da conexão	
$\Delta M_{01} =$	1,9146	[kN*m]	Momento adicional no banzo	
$\Delta M_{02} =$	1,9146	[kN*m]	Momento adicional no banzo	
$\Delta M_2 =$	0,0730	[kN*m]	Momento adicional na diagonal	
$\Delta M_1 =$	0,0736	[kN*m]	Momento adicional na diagonal	

### VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE EUROCODE 3: EN 1993-1-8:2005

$\gamma_{M5} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[Tabela 2.1]
-----------------	------	----------------------------	--------------

**MODOS DE FALHA PARA JUNTAS (MEMBROS DO BANZO RHS)** [Tabela 7.10] para  $N_{1,Rd}$  e [Tabela 7.14] para  $M_{1,Rd}$

### PARÂMETROS GEOMÉTRICOS

$\beta =$	0,56	Coefficiente dependente da geometria das barras de conexão	$\beta = (b_2 + b_1) / (2 * b_0)$ [1.5 (6)]
$\gamma =$	15,63	Coefficiente dependente da geometria do banzo	$\gamma = b_0 / (2 * t_0)$ [1.5 (6)]
$n =$	0,29	Coefficiente dependente das tensões no banzo	$n_0 = \sigma_{0,Ed} / f_{y0}$
$k_n =$	1,00	Coefficiente dependente das tensões no banzo	$k_n = 1.0$

### FALHA DA FACE DO BANZO DO TUBO

#### DIAGONAL 2

$N_{2,Rd} =$	495,9220	[kN]	Capacidade de tensão	$N_{2,Rd} = 8.9 * k_n * f_{y0} * t_0^2 * \sqrt{\gamma} / \sin(\theta_2) * \beta$
$ N_2  \leq N_{2,Rd}$			$ 445,7819  < 495,9220$	verificado (0,90) ←
$M_{2,Rd} =$	12,7652	[kN*m]	Resistência à flexão	$M_{2,Rd} = k_n * f_{y0} * t_0^2 * h_2 * [1 / (2 * \eta) + 2 * \sqrt{1 - \beta} + \eta / (1 - \beta)] / \gamma_{M5}$
$ M_2 + \Delta M_2  \leq M_{2,Rd}$			$ 0,0730  < 12,7652$	verificado (0,01)
$N_2 / N_{2,Rd} + (M_2 + \Delta M_2) / M_{2,Rd} \leq 1$			$0,90 < 1,00$	verificado (0,90) ←

#### DIAGONAL 1

$N_{1,Rd} =$	492,2077	[kN]	Capacidade de compressão	$N_{1,Rd} = 8.9 * k_n * f_{y0} * t_0^2 * \sqrt{\gamma} / \sin(\theta_1) * \beta$
$ N_1  \leq N_{1,Rd}$			$ -404,1218  < 492,2077$	verificado (0,82)
$M_{1,Rd} =$	12,7652	[kN*m]	Resistência à flexão	$M_{1,Rd} = k_n * f_{y0} * t_0^2 * h_1 * [1 / (2 * \eta) + 2 * \sqrt{1 - \beta} + \eta / (1 - \beta)] / \gamma_{M5}$
$ M_1 + \Delta M_1  \leq M_{1,Rd}$			$ 0,0736  < 12,7652$	verificado (0,01)
$N_1 / N_{1,Rd} + (M_1 + \Delta M_1) / M_{1,Rd} \leq 1$			$0,83 < 1,00$	verificado (0,83)

### PUNÇÃO DE BANZO

#### DIAGONAL 2

$b_{e,p} =$	45	[mm]	Largura efetiva para cisalhamento de punção	$b_{e,p} = (10 * b_2) / (b_0 / t_0)$
$N_{2,Rd} =$	1063,2403	[kN]	Capacidade de tensão	$N_{2,Rd} = f_{y0} * t_0 * (\sqrt{3} * \sin(\theta_2)) * [2 * h_2 / \sin(\theta_2) + b_2 + b_{e,p}] / \gamma_{M5}$
$ N_2  \leq N_{2,Rd}$			$ 445,7819  < 1063,2403$	verificado (0,42)

#### DIAGONAL 1

$b_{e,p} =$	45	[mm]	Largura efetiva para cisalhamento de punção	$b_{e,p} = (10 * b_1) / (b_0 / t_0)$
$N_{1,Rd} =$	1049,8689	[kN]	Capacidade de compressão	$N_{1,Rd} = f_{y0} * t_0 * (\sqrt{3} * \sin(\theta_1)) * [2 * h_1 / \sin(\theta_1) + b_1 + b_{e,p}] / \gamma_{M5}$
$ N_1  \leq N_{1,Rd}$			$ -404,1218  < 1049,8689$	verificado (0,38)

## ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

### CISALHAMENTO DO BANZO

#### DIAGONAL 2

$A_v =$	41,97	[cm <sup>2</sup> ]	Área de cisalhamento do banzo	$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0$	
$N_{2,Rd} =$	953,0644	[kN]	Capacidade de tensão	$N_{2,Rd} = f_{y0} \cdot A_v \cdot [\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_2)] / \gamma_{M5}$	
$ N_2  \leq N_{2,Rd}$			445,7819  < 953,0644	verificado	(0,47)

#### DIAGONAL 1

$A_v =$	41,97	[cm <sup>2</sup> ]	Área de cisalhamento do banzo	$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0$	
$N_{1,Rd} =$	945,9262	[kN]	Capacidade de compressão	$N_{1,Rd} = f_{y0} \cdot A_v \cdot [\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_1)] / \gamma_{M5}$	
$ N_1  \leq N_{1,Rd}$			-404,1218  < 945,9262	verificado	(0,43)

#### RESISTÊNCIA DO BANZO

$V_{pl,Rd} =$	666,3611	[kN]	Resistência plástica ao cisalhamento	$V_{pl,Rd} = (A_v \cdot f_{y0}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$	
$ V_{Ed}  \leq V_{pl,Rd}$			311,6806  < 666,3611	verificado	(0,47)
$N_{0,Rd} =$	1977,9645	[kN]	Capacidade de compressão	$N_{0,Rd} = [(A_0 \cdot A_v) \cdot f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \cdot \sqrt{1 - (V_{Ed} \cdot V_{pl,Rd})^2}] / \gamma_{M5}$	
$ N_0  \leq N_{0,Rd}$			-601,7063  < 1977,9645	verificado	(0,30)

### VERIFICAÇÃO DAS SOLDAS

#### DIAGONAL 2

$\beta_w =$	0,85		Coefficiente de correlação	[Tabela 4.1]
$\gamma_{M2} =$	1,25		Fator de segurança parcial	[Tabela 2.1]

#### Solda longitudinal

$\sigma_{\perp} =$	64,7762	[MPa]	Tensão normal em uma solda		
$\tau_{\perp} =$	64,7762	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular		
$\tau_{\parallel} =$	93,6737	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{t0} / \gamma_{M2}$			64,7762  < 309,6000	verificado	(0,21)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$			207,6249 < 404,7059	verificado	(0,51)

#### Solda transversal interior

$\sigma_{\perp} =$	121,3259	[MPa]	Tensão normal em uma solda		
$\tau_{\perp} =$	49,4641	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular		
$\tau_{\parallel} =$	0,0000	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{t0} / \gamma_{M2}$			121,3259  < 309,6000	verificado	(0,39)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$			148,5263 < 404,7059	verificado	(0,37)

#### Solda transversal exterior

$\sigma_{\perp} =$	49,4641	[MPa]	Tensão normal em uma solda		
$\tau_{\perp} =$	121,3259	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular		
$\tau_{\parallel} =$	0,0000	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{t0} / \gamma_{M2}$			49,4641  < 309,6000	verificado	(0,16)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$			215,8856 < 404,7059	verificado	(0,53)

#### DIAGONAL 1

$\beta_w =$	0,85		Coefficiente de correlação	[Tabela 4.1]
$\gamma_{M2} =$	1,25		Fator de segurança parcial	[Tabela 2.1]

#### Solda longitudinal

$\sigma_{\perp} =$	-59,4277	[MPa]	Tensão normal em uma solda		
$\tau_{\perp} =$	-59,4277	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular		
$\tau_{\parallel} =$	-84,6753	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{t0} / \gamma_{M2}$			-59,4277  < 309,6000	verificado	(0,19)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$			188,7759 < 404,7059	verificado	(0,47)

#### Solda transversal interior

$\sigma_{\perp} =$	-110,3069	[MPa]	Tensão normal em uma solda		
$\tau_{\perp} =$	-45,4488	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular		
$\tau_{\parallel} =$	0,0000	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{t0} / \gamma_{M2}$			-110,3069  < 309,6000	verificado	(0,36)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$			135,5153 < 404,7059	verificado	(0,33)

## ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Solda transversal exterior

$\sigma_{\perp} =$	-45,4488	[MPa]	Tensão normal em uma solda		
$\tau_{\perp} =$	-110,3069	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular		
$\tau_{\parallel} =$	0,0000	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_u / M2$				$  -45,4488   < 309,6000$	verificado (0,15)
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_u / (\beta_w \cdot M2)$				$196,3885 < 404,7059$	verificado (0,49)

**A conexão está em conformidade com a norma.**



Relação 0,90

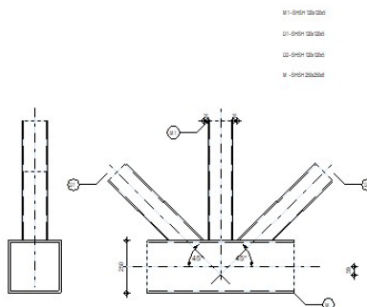


ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

**XIII. Ligações soldadas tipo KT e T com diagonais e prumos SHS120x5**

XIII.1 – “Robot Strutral”

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020	 Relação 0,69
	<b>Projeto de conexão de nós de treliça</b> EN 1993-1-8:2005/AC:2009	



**GERAL**

Nº de conexão: 110  
 Nome da conexão: Tube  
 Nó estrutural: 61  
 Barras estruturais: 271, 92, 91, 251

**GEOMETRIA**

**BARRAS**

	Banzo	Diagonal 1	Diagonal 2	Pilar	
Barra N°:	271	91	92	251	
Seção:	SHSH 250x250x8	SHSH 120x120x5	SHSH 120x120x5	SHSH 120x120x5	
h	250	120	120	120	mm
b <sub>f</sub>	250	120	120	120	mm
r <sub>w</sub>	8	5	5	5	mm
r <sub>f</sub>	8	5	5	5	mm
t	8	5	5	5	mm
Material:	S 275	S 275	S 275	S 275	
f <sub>y</sub>	275,0000	275,0000	275,0000	275,0000	MPa
f <sub>t</sub>	430,0000	430,0000	430,0000	430,0000	MPa
Ângulo θ	0,0	44,8	44,8	90,0	Deg
Comprimento l	2680	3776	3776	2660	mm

**DESLOCAMENTO**

u<sub>0</sub> = 39 [mm] Deslocamento

**ESPAÇAMENTOS**

g<sub>1</sub> = 20 [mm] Espaçamento da diagonal 1  
 g<sub>2</sub> = 20 [mm] Espaçamento da diagonal 2

**SOLDAS**

a<sub>d</sub> = 5 [mm] Espessura das soldas das diagonais e dos pilares

**CARGAS**

Caso: 101: ULS:STD/213=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+6\*0.54+10\*1.50+11\*0.90 (1+2)\*1.35+6\*0.54+10\*1.50+11\*0.90+(192+194)\*-1.35+(172+174)\*-0.54

**BANZO**

N<sub>01,Ed</sub> = -1459,5765 [kN] Força axial  
 M<sub>01,Ed</sub> = 2,6682 [kN\*m] Momento fletor

N<sub>02,Ed</sub> = -1438,1863 [kN] Força axial  
 M<sub>02,Ed</sub> = 2,6682 [kN\*m] Momento fletor

**DIAGONAL 1**

N<sub>1</sub> = -21,8565 [kN] Força axial  
 M<sub>1</sub> = 0,0000 [kN\*m] Momento fletor

**DIAGONAL 2**

N<sub>2</sub> = -62,7803 [kN] Força axial  
 M<sub>2</sub> = 0,0000 [kN\*m] Momento fletor

**PILAR**

N<sub>3</sub> = 19,7736 [kN] Força axial  
 M<sub>3</sub> = 0,0000 [kN\*m] Momento fletor

As forças de cisalhamento não foram incluídas na verificação da conexão. A conexão foi projetada como um nó de treliça.

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

## RESULTADOS

### CONSIDERAR A CONEXÃO NÃO AXIAL DE MEMBROS NO NÓ

$M_0 =$	-0,8329	[kN*m]	Momento adicional da conexão excêntrica de membros	$M_0 = (N_{02} \cdot N_{01}) \cdot e_0$
$\Sigma E_d/L_1 =$	24313498,7155	[kN*m]	Rigidez geral da conexão	
$\Delta M_{01} =$	-0,4002	[kN*m]	Momento adicional no banzo	
$\Delta M_{02} =$	-0,4002	[kN*m]	Momento adicional no banzo	
$\Delta M_2 =$	-0,0095	[kN*m]	Momento adicional na diagonal	
$\Delta M_1 =$	-0,0095	[kN*m]	Momento adicional na diagonal	
$\Delta M_3 =$	-0,0135	[kN*m]	Momento adicional na diagonal	

### VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE EUROCODE 3: EN 1993-1-8:2005

$\gamma_{MS} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[Tabela 2.1]
-----------------	------	----------------------------	--------------

MODOS DE FALHA PARA JUNTAS (MEMBROS DO BANZO RHS) [Tabela 7.10] para  $N_{1,Rd}$  e [Tabela 7.14] para  $M_{1,Rd}$

### PARÂMETROS GEOMÉTRICOS

$\beta =$	0,48	Coefficiente dependente da geometria das barras de conexão	$\beta = (b_2 + b_1 + b_3) / (3 \cdot b_0)$ [1.5 (6)]
$\gamma =$	15,63	Coefficiente dependente da geometria do banzo	$\gamma = b_0 / (2 \cdot t_0)$ [1.5 (6)]
$n =$	0,71	Coefficiente dependente das tensões no banzo	$n_0 = \sigma_{0,Ed} / f_{y0}$
$k_n =$	0,71	Coefficiente dependente das tensões no banzo	$k_n = 1.3 - 0.4 \cdot n_0 / \beta$

### FALHA DA FACE DO BANZO DO TUBO

#### DIAGONAL 2

$N_{2,Rd} =$	299,7700	[kN]	Capacidade de compressão	$N_{2,Rd} = [8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^{2 \cdot \gamma} / \sin(\theta_2)] \cdot \beta / \gamma_{MS}$	verificado	(0,21)
$ N_2  \leq N_{2,Rd}$						
$M_{2,Rd} =$	7,1105	[kN*m]	Resistência à flexão	$M_{2,Rd} = k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^{2 \cdot \gamma} \cdot h_2 \cdot [1 / (2 \cdot n) + 2 \cdot \sqrt{1 - \beta}] + n \cdot (1 - \beta) / \gamma_{MS}$	verificado	(0,00)
$ M_2 + \Delta M_2  \leq M_{2,Rd}$						
$N_2 / N_{2,Rd} + (M_2 + \Delta M_2) / M_{2,Rd} \leq 1$					verificado	(0,21)

#### DIAGONAL 1

$N_{1,Rd} =$	299,7700	[kN]	Capacidade de compressão	$N_{1,Rd} = [8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^{2 \cdot \gamma} / \sin(\theta_1)] \cdot \beta / \gamma_{MS}$	verificado	(0,07)
$ N_1  \leq N_{1,Rd}$						
$M_{1,Rd} =$	7,1105	[kN*m]	Resistência à flexão	$M_{1,Rd} = k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^{2 \cdot \gamma} \cdot h_1 \cdot [1 / (2 \cdot n) + 2 \cdot \sqrt{1 - \beta}] + n \cdot (1 - \beta) / \gamma_{MS}$	verificado	(0,00)
$ M_1 + \Delta M_1  \leq M_{1,Rd}$						
$N_1 / N_{1,Rd} + (M_1 + \Delta M_1) / M_{1,Rd} \leq 1$					verificado	(0,07)

#### PILAR

$N_{3,Rd} =$	211,1740	[kN]	Capacidade de tensão	$N_{3,Rd} = [8.9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^{2 \cdot \gamma} / \sin(\theta_3)] \cdot \beta / \gamma_{MS}$	verificado	(0,09)
$ N_3  \leq N_{3,Rd}$						
$M_{3,Rd} =$	7,1105	[kN*m]	Resistência à flexão	$M_{3,Rd} = k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^{2 \cdot \gamma} \cdot h_3 \cdot [1 / (2 \cdot n) + 2 \cdot \sqrt{1 - \beta}] + n \cdot (1 - \beta) / \gamma_{MS}$	verificado	(0,00)
$ M_3 + \Delta M_3  \leq M_{3,Rd}$						
$N_3 / N_{3,Rd} + (M_3 + \Delta M_3) / M_{3,Rd} \leq 1$					verificado	(0,10)

### FALHA DA FACE DO TUBO

#### DIAGONAL 2

$b_{eff} =$	0	[mm]	Largura efetiva na conexão entre a diagonal e o banzo
-------------	---	------	---

#### DIAGONAL 1

$b_{eff} =$	0	[mm]	Largura efetiva na conexão entre a diagonal e o banzo
-------------	---	------	---

#### PILAR

$b_{eff} =$	0	[mm]	Largura efetiva na conexão entre o pilar e o banzo
-------------	---	------	--

### CISALHAMENTO DO BANZO

#### DIAGONAL 2

$A_v =$	40,87	[cm <sup>2</sup> ]	Área de cisalhamento do banzo	$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0$		
$N_{2,Rd} =$	921,0295	[kN]	Capacidade de compressão	$N_{2,Rd} = f_{y0} \cdot A_v \cdot [\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_2)] / \gamma_{MS}$	verificado	(0,07)
$ N_2  \leq N_{2,Rd}$						

#### DIAGONAL 1

$A_v =$	40,87	[cm <sup>2</sup> ]	Área de cisalhamento do banzo	$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0$
---------	-------	--------------------	-------------------------------	--

# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

$N_{1,Rd} = 921,0295$ $ N_{1,Rd}  \leq N_{1,Rd}$	[kN]	Capacidade de compressão	$N_{1,Rd} = f_{y0} \cdot A_v \cdot [\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_1)] / \gamma_{MS}$ (0,02)	$  -21,8565   < 921,0295$ verificado
<b>PILAR</b>				
$A_v = 40,87$	[cm <sup>2</sup> ]	Área de cisalhamento do banzo	$A_v = (2 \cdot h_0 + a \cdot b_0) \cdot t_0$	
$N_{3,Rd} = 648,8224$ $ N_{3,Rd}  \leq N_{3,Rd}$	[kN]	Capacidade de tensão	$N_{3,Rd} = f_{y0} \cdot A_v \cdot [\sqrt{3} \cdot \sin(\theta_3)] / \gamma_{MS}$ (0,03)	$  19,7736   < 648,8224$ verificado
<b>RESISTÊNCIA DO BANZO</b>				
$V_{pl,Rd} = 648,8224$ $ V_{Ed}  \leq V_{pl,Rd}$	[kN]	Resistência plástica ao cisalhamento	$V_{pl,Rd} = (A_v \cdot f_{y0}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$ (0,07)	$  14,2258   < 648,8224$ verificado
$N_{0,Rd} = 2109,3863$ $ N_{0,Rd}  \leq N_{0,Rd}$	[kN]	Capacidade de compressão	$N_{0,Rd} = [(A_0 \cdot A_v) \cdot f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \cdot \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2}] / \gamma_{MS}$ (0,69)	$  -1459,5765   < 2109,3863$ verificado
<b>VERIFICAÇÃO DAS SOLDAS</b>				
<b>DIAGONAL 2</b>				
$\beta_w = 0,85$		Coefficiente de correlação	[Tabela 4.1]	
$\gamma_{M2} = 1,25$		Fator de segurança parcial	[Tabela 2.1]	
<b>Solda longitudinal</b>				
$\sigma_{\perp} = -10,7708$	[MPa]	Tensão normal em uma solda		
$\tau_{\perp} = -10,7708$	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular		
$\tau_{\parallel} = -15,3467$	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{t0} / \gamma_{M2}$			$  -10,7708   < 309,6000$ verificado	(0,03)
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$			$34,2140 < 404,7059$ verificado	(0,08)
<b>Solda transversal interior</b>				
$\sigma_{\perp} = -19,9922$	[MPa]	Tensão normal em uma solda		
$\tau_{\perp} = -8,2372$	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular		
$\tau_{\parallel} = 0,0000$	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{t0} / \gamma_{M2}$			$  -19,9922   < 309,6000$ verificado	(0,06)
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$			$24,5610 < 404,7059$ verificado	(0,06)
<b>Solda transversal exterior</b>				
$\sigma_{\perp} = -8,2372$	[MPa]	Tensão normal em uma solda		
$\tau_{\perp} = -19,9922$	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular		
$\tau_{\parallel} = 0,0000$	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{t0} / \gamma_{M2}$			$  -8,2372   < 309,6000$ verificado	(0,03)
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$			$35,5937 < 404,7059$ verificado	(0,09)
<b>DIAGONAL 1</b>				
$\beta_w = 0,85$		Coefficiente de correlação	[Tabela 4.1]	
$\gamma_{M2} = 1,25$		Fator de segurança parcial	[Tabela 2.1]	
<b>Solda longitudinal</b>				
$\sigma_{\perp} = -3,7498$	[MPa]	Tensão normal em uma solda		
$\tau_{\perp} = -3,7498$	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular		
$\tau_{\parallel} = -5,3428$	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{t0} / \gamma_{M2}$			$  -3,7498   < 309,6000$ verificado	(0,04)
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$			$11,9114 < 404,7059$ verificado	(0,03)
<b>Solda transversal interior</b>				
$\sigma_{\perp} = -6,9601$	[MPa]	Tensão normal em uma solda		
$\tau_{\perp} = -2,8677$	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular		
$\tau_{\parallel} = 0,0000$	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{t0} / \gamma_{M2}$			$  -6,9601   < 309,6000$ verificado	(0,02)
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$			$8,5507 < 404,7059$ verificado	(0,02)
<b>Solda transversal exterior</b>				
$\sigma_{\perp} = -2,8677$	[MPa]	Tensão normal em uma solda		
$\tau_{\perp} = -6,9601$	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular		
$\tau_{\parallel} = 0,0000$	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{t0} / \gamma_{M2}$			$  -2,8677   < 309,6000$ verificado	(0,01)
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$			$12,3917 < 404,7059$ verificado	(0,03)
<b>PILAR</b>				
$\beta_w = 0,85$		Coefficiente de correlação	[Tabela 4.1]	
$\gamma_{M2} = 1,25$		Fator de segurança parcial	[Tabela 2.1]	
<b>Solda longitudinal</b>				
$\sigma_{\perp} = 7,6060$	[MPa]	Tensão normal em uma solda		
$\tau_{\perp} = 7,6060$	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular		
$\tau_{\parallel} = -0,0000$	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_{t0} / \gamma_{M2}$			$  7,6060   < 309,6000$ verificado	(0,02)
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$			$15,2120 < 404,7059$ verificado	(0,04)



## ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Solda transversal interior			
$\sigma_{\perp} =$	12,1322	[MPa]	Tensão normal em uma solda
$\tau_{\perp} =$	12,1322	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular
$\tau_{\parallel} =$	0,0000	[MPa]	Tensão tangente
$ \sigma_{\perp}  \leq 0,9 \cdot f_u / M_2$			$ 12,1322  < 309,6000$ <span style="float: right;">verificado</span>
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot M_2)$			$24,2643 < 404,7059$ <span style="float: right;">verificado</span>

(0,04)  
(0,06)

A conexão está em conformidade com a norma.

Relação 0,69



# ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

## XIV. Ligação tipo KT

### XIV.1 – “Idea Statica”

#### Project data

Project name  
 Project number  
 Author  
 Description  
 Date 11/09/2019  
 Design code EN

#### Material

Steel S 275

#### Project item Con 10

#### Design

Name Con 10  
 Description  
 Analysis Stress, strain/ loads in equilibrium

#### Beams and columns

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Forces in
Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8	94522 - SHS250/250/8.0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	Node
Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 120x120x5	98399 - SHS120/120/5.0	-135,0	0,0	0,0	0	0	0	Node
Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8	94522 - SHS250/250/8.0	-90,0	0,0	0,0	0	0	0	Node
Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 120x120x5	98399 - SHS120/120/5.0	-44,4	0,0	0,0	0	0	0	Node
Diagonais_6_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 120x120x5	98399 - SHS120/120/5.0	134,6	0,0	0,0	0	0	0	Node
Corda_SUP_INF_1L Z e Y_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8	94522 - SHS250/250/8.0	90,0	0,0	0,0	0	0	0	Node
B202 SHSH 250x250x8	94522 - SHS250/250/8.0	0,0	90,0	0,0	0	0	0	Node
Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5	240 - SHS140/140/5.0	0,0	44,4	0,0	0	0	0	Node
Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5	240 - SHS140/140/5.0	90,0	44,6	0,0	0	0	0	Node



#### Cross-sections

Name	Material
94522 - SHS250/250/8.0	S 275
98399 - SHS120/120/5.0	S 275
240 - SHS140/140/5.0	S 275

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8	6,2	1,8	-37,9	-1,4	-61,4	-5,1
	Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8	-231,9	9,0	-14,0	-0,6	34,5	22,4
	Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 120x120x5	-111,9	0,0	-5,3	0,0	0,0	0,0
	Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8	-39,8	2,3	-4,8	2,2	2,9	5,4
	Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 120x120x5	-207,9	0,0	-5,4	0,0	0,0	0,0
	Diagonais_6_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 120x120x5	-119,7	0,0	-5,3	0,0	0,0	0,0
	Corda_SUP_INF_1L Z e Y_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8	-17,2	-10,6	8,6	-11,3	-13,0	-20,2
	B202 SHSH 250x250x8	-128,9	-10,5	-30,0	2,5	40,4	-14,0
	Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5	319,6	0,0	-0,4	0,0	0,0	0,0
	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5	-228,9	0,0	-0,4	0,0	0,0	0,0

Check

Summary

Name	Value	Status
Analysis	100,0%	OK
Plates	0,5 < 5%	OK
Welds	98 0 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

Plates

Name	Thickness [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	Status
Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8	8,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	275,4	0,2	OK
Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 120x120x5	5,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	156,7	0,0	OK
Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8	8,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	275,4	0,2	OK
Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 120x120x5	5,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	251,3	0,0	OK
Diagonais_6_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 120x120x5	5,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	178,5	0,0	OK
Corda_SUP_INF_1L Z e Y_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8	8,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	276,1	0,5	OK
B202 SHSH 250x250x8	8,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	275,8	0,4	OK
Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5	5,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	275,8	0,4	OK
Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5	5,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	275,2	0,1	OK
SP1	10,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	205,3	0,0	OK
SP2	10,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	191,9	0,0	OK
SP3	10,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	178,1	0,0	OK
SP4	10,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	222,4	0,0	OK
SP5	10,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	82,6	0,0	OK
SP6	10,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	88,1	0,0	OK
SP7	10,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	134,8	0,0	OK
SP8	10,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	118,6	0,0	OK
SP9	10,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	67,5	0,0	OK
SP10	10,0	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)	74,8	0,0	OK

## ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

### Design data

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 275	275,0	5,0

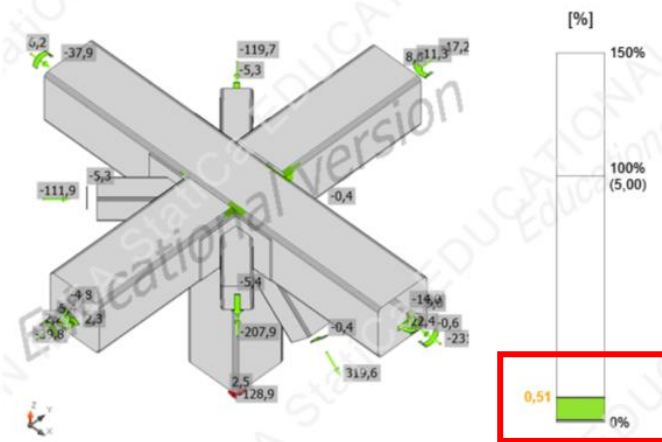
### Symbol explanation

$\epsilon_{pl}$	Strain
$\sigma_{Ed}$	Eq. stress
$f_y$	Yield strength
$\epsilon_{lim}$	Limit of plastic strain

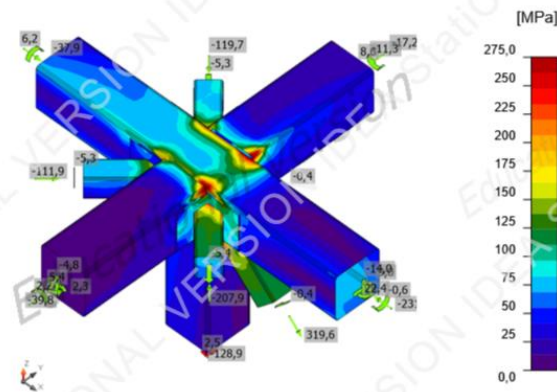


Overall check, ULS:STD/151=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+5\*0.54+9\*1.50+12\*0.90(1)

Overall check, ULS:STD/151=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+5\*0.54+9\*1.50+12\*0.90(1)



Strain check, ULS:STD/151=1\*1.35+2\*1.35+3\*1.35+4\*1.35+5\*0.54+9\*1.50+12\*0.90(1)



# ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

Welds (Plastic redistribution)

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$f_{p1}$ [%]	$\sigma_{L}$ [MPa]	$T_{II}$ [MPa]	$T_{I}$ [MPa]	U <sub>t</sub> [%]	U <sub>v</sub> [%]	Status
SP1	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-w 2	5,0	79	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP1	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-w 4	5,0	79	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP1	SP2	10,0	200	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP1	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-w 1	5,0	115	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP1	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 1	5,0	5	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP1	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 2	5,0	6	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP1	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 3	5,0	7	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP1	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 10	5,0	7	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP1	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 11	5,0	6	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP1	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 12	5,0	5	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP2	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-w 2	5,0	84	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP2	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 4	5,0	7	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP2	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 5	5,0	6	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP2	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 6	5,0	5	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP2	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-w 3	5,0	115	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP2	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 7	5,0	5	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP2	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 8	5,0	6	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP2	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 9	5,0	7	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP2	Diagonais_28_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-w 4	5,0	84	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP3	Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-w 2	5,0	77	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP3	Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-w 4	5,0	77	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP3	Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-w 1	5,0	115	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP3	Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 1	5,0	5	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP4	Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-w 2	5,0	85	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP4	Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 1	5,0	7	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP4	Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 5	5,0	6	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP4	Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 6	5,0	5	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP4	Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-w 3	5,0	115	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP4	Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 7	5,0	5	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP4	Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 8	5,0	6	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP4	Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-arc 9	5,0	7	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
SP4	Diagonais_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 140x140x5-w 4	5,0	85	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8-w 1	B202 SHSH 250x250x8-w 1	8,0	210	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8-w 1	B202 SHSH 250x250x8-arc 1	8,0	8	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8-w 1	B202 SHSH 250x250x8-arc 2	8,0	8	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8-w 1	B202 SHSH 250x250x8-arc 3	8,0	8	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8-w 1	B202 SHSH 250x250x8-w 2	8,0	210	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8-w 1	B202 SHSH 250x250x8-arc 4	8,0	8	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8-w 1	B202 SHSH 250x250x8-arc 5	8,0	8	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8-w 1	B202 SHSH 250x250x8-arc 6	8,0	8	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8-w 1	B202 SHSH 250x250x8-w 3	8,0	210	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK
Corda_SUP_INF_1L Z e Y_10_DEFAULT_NAME_XXX SHSH 250x250x8-w 1	B202 SHSH 250x250x8-arc 7	8,0	8	ULS.STD/151=1*1.35+2*1.35+3*1.35+4*1.35+5*0.54+9*1.50+12*0.90(1)								OK

## ANEXO VII –VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES NOS SOFTWARES “ROBOT STRUCTURAL”, “IDEA STATICA” E “FOLHA DE CÁLCULO”

### Symbol explanation

$\epsilon_{Pl}$	Strain
$\sigma_{w,Ed}$	Equivalent stress
$\sigma_{w,Rd}$	Equivalent stress resistance
$\sigma_{\perp}$	Perpendicular stress
$\tau_{\parallel}$	Shear stress parallel to weld axis
$\tau_{\perp}$	Shear stress perpendicular to weld axis
$0.9 \sigma$	Perpendicular stress resistance - $0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$
$\beta_w$	Correlation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1
$U_t$	Utilization
$U_{tc}$	Weld capacity utilization

### Buckling

Buckling analysis was not calculated.

### Code settings

Item	Value	Unit	Reference
YM0	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
YM1	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
YM2	1,25	-	EN 1993-1-1: 6.1
YM3	1,25	-	EN 1993-1-8: 2.2
YC	1,50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
$\gamma_{inst}$	1,20	-	ETAG 001-C: 3.2.1
Joint coefficient $\beta_j$	0,67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Effective area - influence of mesh size	0,10	-	
Friction coefficient - concrete	0,25	-	EN 1993-1-8
Friction coefficient in slip-resistance	0,30	-	EN 1993-1-8 tab 3.7
Limit plastic strain	0,05	-	EN 1993-1-5
Weld stress evaluation	Plastic redistribution		
Detailing	No		
Distance between bolts [d]	2,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Distance between bolts and edge [d]	1,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Concrete breakout resistance	Yes		ETAG 001-C
Use calculated $a_b$ in bearing check.	Yes		EN 1993-1-8: tab 3.4



ANEXO VIII

VERIFICAÇÃO DAS FUNDAÇÕES



Os elementos seguintes referem-se ao cálculo dos plintos e das sapatas das torres.

- Plintos P1

Dimensionamento E.L.U.

Quadro A. 14

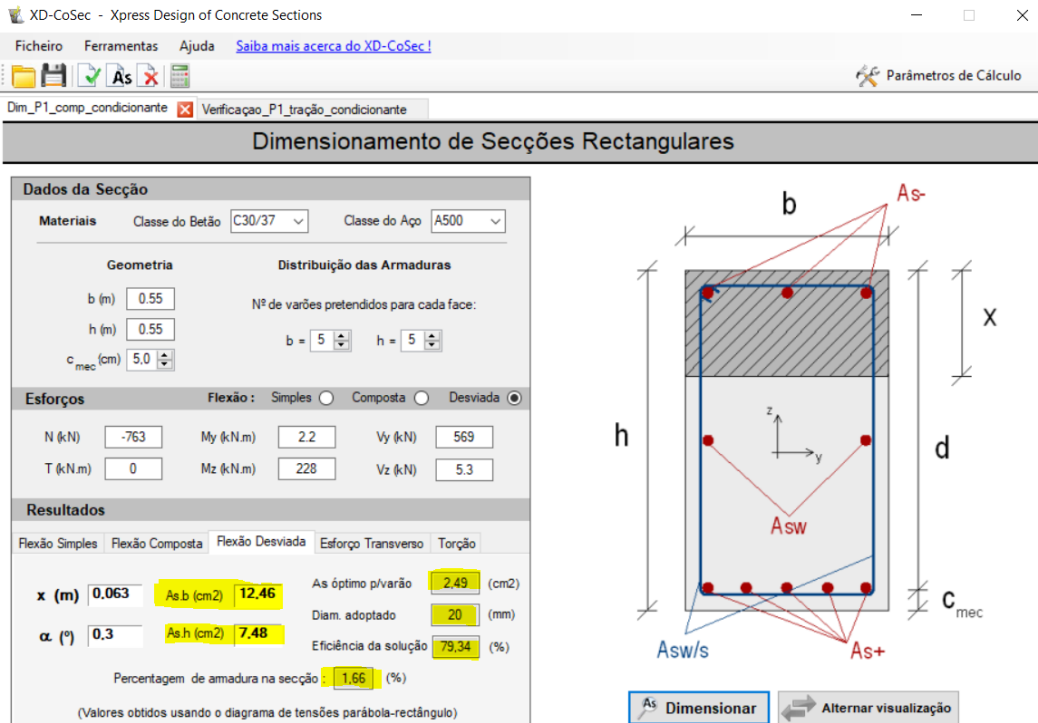


Figura A. 10 – Dimensionamento da Armadura Longitudinais.

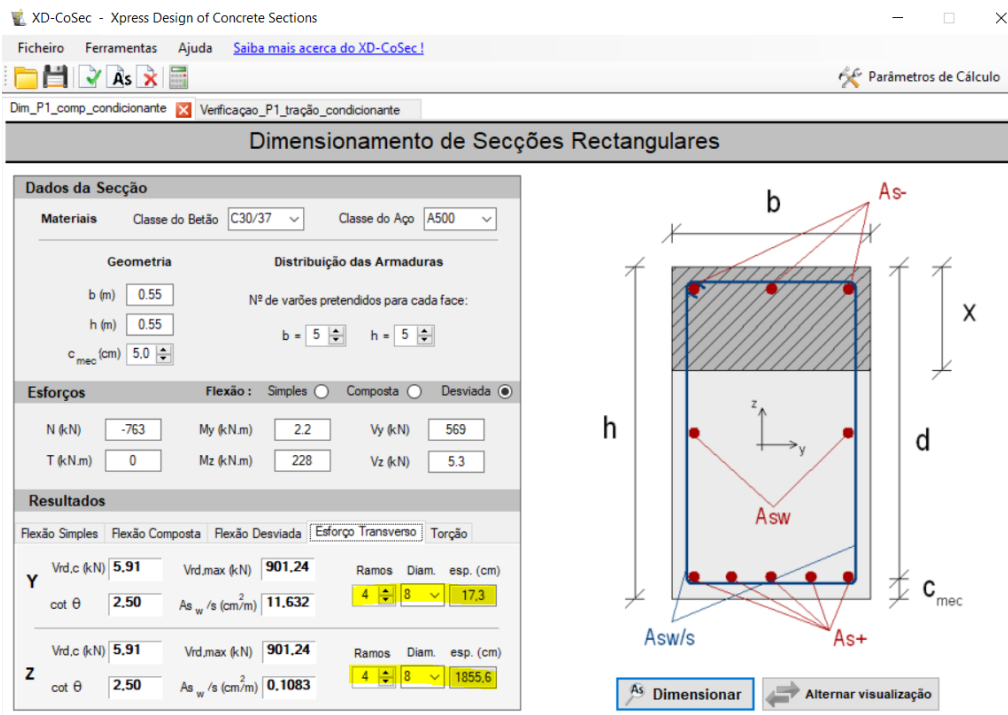
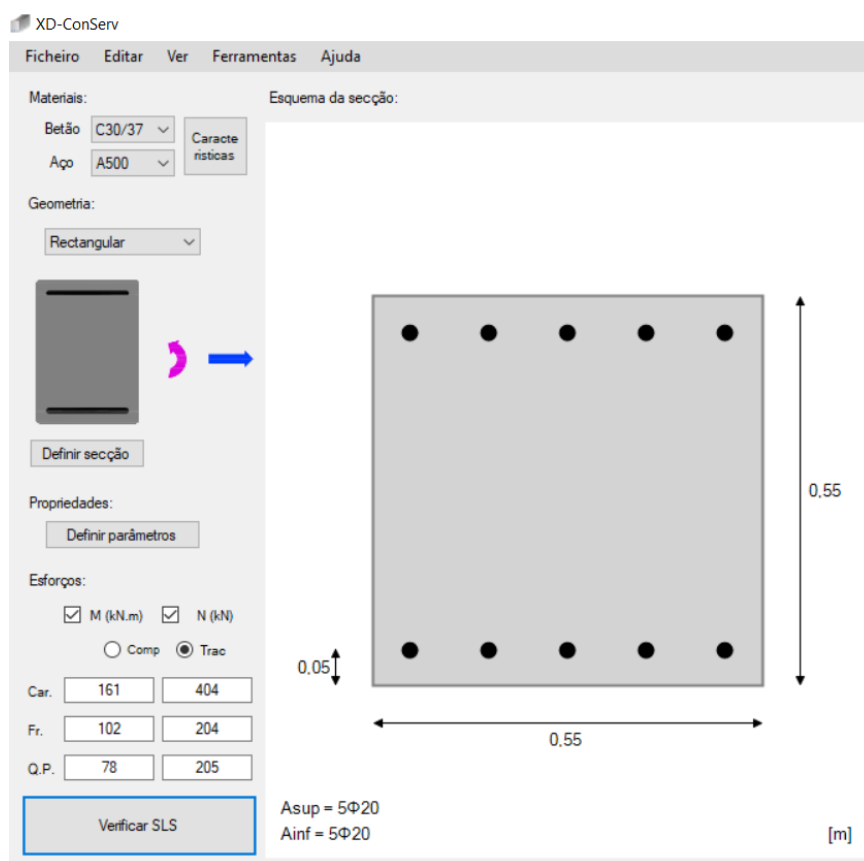


Figura A. 11 - Dimensionamento da Armadura Transversal.

**Dimensionamento E.L.Ut. - Fendilhação e Deformação**



**Figura A. 12 – Esforços para verificação aos E.L.Ut.**

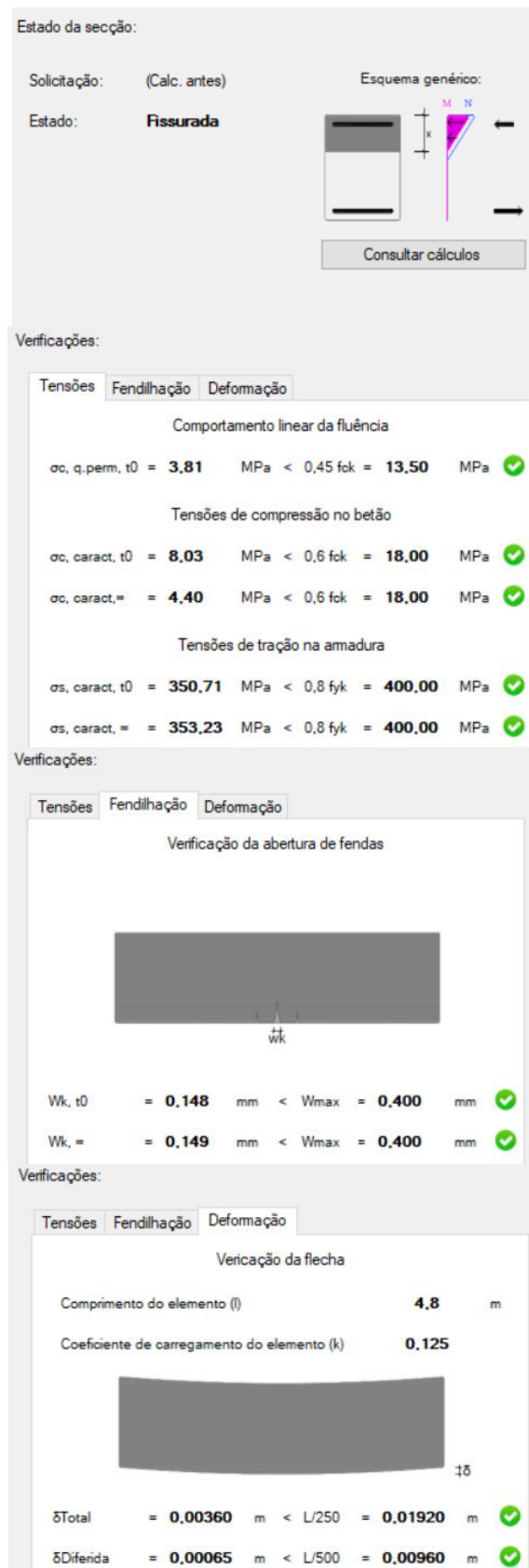


Figura A. 13 – Verificação das Tensões, Fendilhação e Deformação.

- Parede P2

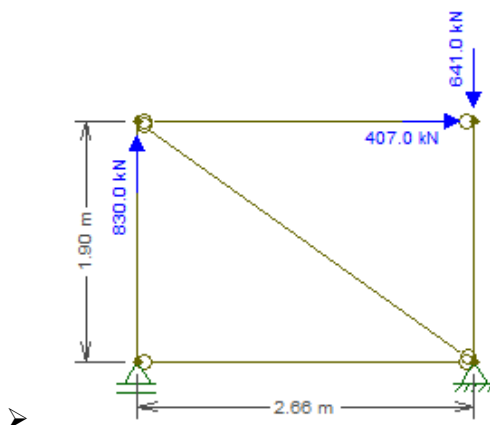


Figura A. 14 – Modelo de escoras e tirantes - Parede P2 [43].

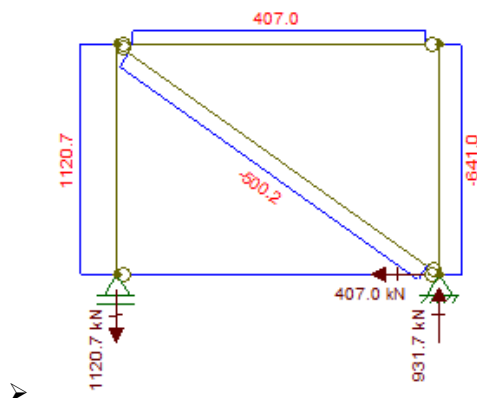


Figura A. 15 – Resultados dos esforços axiais [43].

Dimensionamento Orgânico:

MATERIAIS	Aço	$f_{yk}$ [MPa]	$f_{yd}$ [MPa]	$E_s$ [GPa]
	A500	500,0	435,0	200,0
	Betão	$f_{ck}$ [MPa]	$f_{cd}$ [MPa]	$E_{cm}$ [GPa]
	C30/37	30,0	20,0	33,00

Armadura Vertical - Parede				
B	L	$A_{sv,min}$	$A_{sv,max}$	adotado
0,55 m	2,11 m	23,21 cm <sup>2</sup>	464,20 cm <sup>2</sup>	Ø12//0,20

Armadura Vertical Plinto							
Tipo de Esforço	B	L	Esforço	$A_{sv}$	$A_{sv,min}$	$A_{sv,max}$	adotado
Plinto (tração)	0,55 m	0,55 m	1368,93 kN	31,47 cm <sup>2</sup>	6,05 cm <sup>2</sup>	121,00 cm <sup>2</sup>	16Ø16
Plinto (compressão)	0,55 m	0,55 m	-876,89 kN	6,05 cm <sup>2</sup>	6,05 cm <sup>2</sup>	121,00 cm <sup>2</sup>	

Armaduras Horizontais parede								
tipo de esforlo	Esforço máx.	B	L	z	$\Theta$	$A_{sh/s}$	$A_{sh/s,min}$	Adotado
tração	410,00 kN	0,55 m	3,21 m	2,394	45º	5,50 cm <sup>2</sup> /m	5,50 cm <sup>2</sup> /m	Ø8//0,15

Armaduras Horizontais plinto								
tipo de esforlo	Esforço máx.	B	L	z	$\Theta$	$A_{sh/s}$	$A_{sh/s,min}$	Adotado
tração	410,00 kN	0,55 m	0,55 m	0,4338	30º	12,54 cm <sup>2</sup> /m	5,50 cm <sup>2</sup> /m	Ø8//0,15 - 4 ramos

- Sapata S1

Quadro A. 15 – Dimensionamento - Sapata S1.

Estado Limite		ELU - Abordagem de cálculo 1		ELUt	
Combinação		1	2	Característica	
Case		ELU - W(y-)	ELU - W(y-)	ELU - W(y-)	
Resultado geral na sapata S1	FX (kN)	47,47	42,80	30,68	
	FY (kN)	391,05	290,02	289,46	
	FZ (kN)	2335,78	1762,29	1711,33	
	MX (kNm)	-4276,94	-3198,45	-3150,25	
	MY (kNm)	2624,88	1993,08	1915,69	
	MZ (kNm)	---	---	---	
Dimensões	B (m)	4,20	4,20	4,20	
	L (m)	7,00	7,00	7,00	
	ex (m)	1,12	1,13	1,12	
	Beff (m)	1,95	1,94	1,96	
	ey (m)	-1,83	-1,81	-1,84	
	Leff (m)	3,34	3,37	3,32	
	Aeff (m2)	6,52	6,53	6,51	
Argila siltosas e margosas	Valores Característicos	Peso (γ)	20,00 kN/m3	20,00 kN/m3	20,00 kN/m3
		Angulo de atrito interno (φ)	34,00 °	34,00 °	34,00 °
	Valores de Cálculo	Coesao (c')	20,00 kPa	20,00 kPa	20,00 kPa
		Peso (γ)	20,00 kN/m3	20,00 kN/m3	20,00 kN/m3
		Angulo de atrito interno (φ)	34,00 °	28,35 °	34,00 °
Parametros para Capacidade Resistente do Terreno ao Carregamento	Nq	29,44	15,30	29,44	
	Nc	42,16	26,50	42,16	
	Ny	38,37	15,43	38,37	
Parametros da Inclinação da Base da Fundação	Inclinação da base da fundação (α)	0,00 °	0,00 °	0,00 °	
	bc	1	1	1	
	bq	1	1	1	
	by	1	1	1	
Peso dos terrenos superiores	γ	19,00 kN/m3	19,00 kN/m3	19,00 kN/m3	
Tensão na base da fundação	q	28,5	28,5	28,5	
Profundidade da fundação	h	1,5	1,5	1,5	
Forma da Base	Sq	1,761	1,621	1,770	
	Sy	0,825	0,827	0,823	
	Sc	1,788	1,664	1,797	
Inclinação da carga (força H)	Carga H atua na direção B'	mb	1,631	1,635	1,629
		iq	0,970	0,964	0,974
		iy	0,951	0,943	0,958
	Carga H atua na direção L'	ic	0,968	0,962	0,973
		mL	1,369	1,365	1,371
		iq	0,970	0,964	0,974
		iy	0,951	0,943	0,958
Verificação	ic	0,968	0,962	0,973	
	Rd (B')	22682,95	10411,74	7623,46	
	Rd(B')>Fz	VERIFICA	VERIFICA	VERIFICA	
	Rácio	0,10	0,17	0,22	
	Rd (L')	20010,22	9270,47	6705,63	
	Rd (L')>Fz	VERIFICA	VERIFICA	VERIFICA	
Rácio	0,12	0,19	0,26		

Quadro A. 16 – Armaduras - direção X.

Estado Limite		ELU - Abordagem de cálculo 1	
Combinação		1	2
Case		ELU - W(y-)	ELU - W(y-)
Força de Tração na Armadura	Ft,x (B')	1825,61 kN	1390,18 kN
Armadura de Cálculo	As,x/s (B)	12,57 cm2/m	9,48 cm2/m

Quadro A. 17 – Armaduras - direção Y.

Estado Limite		ELU - Abordagem de cálculo 1	
Combinação		1	2
Case		ELU - W(x+)	ELU - W(x+)
Força de Tração na Armadura	Ft,y (L')	1506,70 kN	1133,45 kN
Armadura de Cálculo	As,y/s (L)	24,42 cm2/m	18,43 cm2/m

- Sapata S2

Quadro A. 18 – Dimensionamento da Sapata S2.

Estado Limite		ELU - Abordagem de cálculo 1		ELUt	
Combinação		1	2	Característica	
Resultado geral na sapata S1	Case	ELU - W(x-)	ELU - W(Y+)	ELU - W(x-)	
	FX (kN)	139,17	-75,11	107,51	
	FY (kN)	-13,32	-273,20	-9,97	
	FZ (kN)	2076,00	1579,65	1520,36	
	MX (kNm)	-792,65	-1874,85	-571,37	
	MY (kNm)	-2613,48	-1534,04	-1905,29	
	MZ (kNm)	---	---	---	
Dimensões	B (m)	3,80	3,80	3,80	
	L (m)	3,60	3,60	3,60	
	H (m)	1,10	1,10	1,10	
	ex (m)	-1,26	-0,97	-1,25	
	Beff (m)	1,28	1,86	1,29	
	ey (m)	-0,38	-1,19	-0,38	
	Leff (m)	2,84	1,23	2,85	
	Aeff (m2)	3,64	2,28	3,68	
Argila siltosas e margosas	Valores Característicos	Peso ( $\gamma$ )	20,00 kN/m3	20,00 kN/m3	20,00 kN/m3
		Angulo de atrito interno ( $\phi$ )	34,00 °	34,00 °	34,00 °
		Coesao ( $c'$ )	20,00 kPa	20,00 kPa	20,00 kPa
	Valores de Cálculo	Peso ( $\gamma$ )	20,00 kN/m3	20,00 kN/m3	20,00 kN/m3
		Angulo de atrito interno ( $\phi$ )	34,00 °	28,35 °	34,00 °
		Coesao ( $c'$ )	20,00 kPa	16,00 kPa	20,00 kPa
Parametros para Capacidade Resistente do Terreno ao Carregamento		Nq	29,44	15,30	29,44
		Nc	42,16	26,50	42,16
		Ny	38,37	15,43	38,37
Parametros da Inclinação da Base da Fundação		Inclinação da base da fundação ( $\alpha$ )	0,00 °	0,00 °	0,00 °
		bc	1	1	1
		bq	1	1	1
		by	1	1	1
Peso dos terrenos superiores		$\gamma$	19,00 kN/m3	19,00 kN/m3	19,00 kN/m3
Tensão na base da fundação		q	57	57	57
Profundidade da fundação		h	3	3	3
Forma da Base		Sq	1,569	2,956	1,572
		Sy	0,864	0,546	0,864
		Sc	1,589	3,093	1,593
Inclinação da carga (força H)	Carga H atua na direção B'	mb	1,689	1,398	1,688
		iq	0,895	0,937	0,891
		iy	0,838	0,894	0,832
		ic	0,891	0,932	0,887
	Carga H atua na direção L'	mL	1,311	1,602	1,312
		iq	0,895	0,937	0,891
		iy	0,838	0,894	0,832
		ic	0,891	0,932	0,887
Verificação	Rd (B')	14209,29	8607,97	4790,41	
	Rd(B')>Fz	VERIFICA	VERIFICA	VERIFICA	
	Rácio	0,15	0,24	0,43	
	Rd (L')	17708,80	6721,29	5993,79	
	Rd (L')>Fz	VERIFICA	VERIFICA	VERIFICA	
	Rácio	0,12	0,31	0,35	

Quadro A. 19 – Armaduras - direção X.

Estado Limite		ELU - Abordagem de cálculo 1	
Combinação		1	2
Case		ELU - W(Y+)	ELU - W(Y+)
Força de Tração na Armadura	Ft,x (B')	673,30 kN	501,62 kN
Armadura de Cálculo	As,x/s (B)	12,77 cm2/m	9,47 cm2/m

Quadro A. 20 - Armaduras - direção Y.

Estado Limite		ELU - Abordagem de cálculo 1	
Combinação		1	2
Case		ELU - W(y-)	ELU - W(y-)
Força de Tração na Armadura	Ft,y (L')	733,22 kN	544,23 kN
Armadura de Cálculo	As,y/s (L)	8,82 cm2/m	6,65 cm2/m

ANEXO IX

QUADROS, TABELAS E CATALOGOS



**Anexo D**  
(informativo)**Exemplo de um método analítico de cálculo da  
capacidade resistente do terreno ao carregamento****D.1 Símbolos utilizados no Anexo D**

(1) São utilizados os seguintes símbolos no Anexo D:

- $A' = B' \times L'$  valor de cálculo da área efectiva da fundação
- $b$  valores de cálculo dos coeficientes de inclinação da base, com os índices  $c$ ,  $q$  e  $\gamma$
- $B$  largura da fundação
- $B'$  largura efectiva da fundação
- $D$  profundidade da base
- $e$  excentricidade da resultante das acções, com os índices  $B$  e  $L$
- $i$  coeficientes de inclinação da carga, com os índices relativos à coesão  $c$ , à sobrecarga  $q$  e ao peso volumico  $\gamma$
- $L$  comprimento da fundação
- $L'$  comprimento efectivo da fundação
- $m$  expoente nas fórmulas de cálculo do coeficiente de inclinação  $i$
- $N$  coeficientes de capacidade resistente do terreno ao carregamento, com os índices  $c$ ,  $q$  e  $\gamma$
- $q$  pressão vertical ao nível da base da fundação, devida ao peso de terrenos sobrejacentes ou a sobrecargas
- $q'$  valor de cálculo da pressão efectiva vertical ao nível da base da fundação, devida ao peso de terrenos sobrejacentes
- $s$  coeficientes de forma da base da fundação, com os índices  $c$ ,  $q$  e  $\gamma$
- $V$  carga vertical
- $\alpha$  inclinação da base da fundação em relação à horizontal
- $\gamma'$  valor de cálculo do peso volumico submerso do solo abaixo do nível da fundação
- $\theta$  ângulo que define a direcção de  $H$

(2) As notações utilizadas neste método são representadas na Figura D.1.

**D.2 Generalidades**

(1) Para a determinação do valor de cálculo da capacidade resistente vertical do terreno poderão ser utilizadas expressões aproximadas, deduzidas da teoria da plasticidade e de resultados experimentais.

NP

EN 1997-1

2010

p. 156 de 179

Deverão ser tidos em conta os efeitos dos seguintes factores:

- a resistência do terreno, geralmente representada pelos valores de cálculo de  $c_u$ ,  $c'$  e  $\varphi'$ ;
- a excentricidade e a inclinação das cargas de cálculo;
- a forma, a profundidade e a inclinação da fundação;
- a inclinação da superfície do terreno;
- as pressões na água do terreno e os gradientes hidráulicos;
- a variabilidade do terreno, principalmente a estratificação.

### D.3 Condições não drenadas

(1) O valor de cálculo da capacidade resistente do terreno ao carregamento poderá ser determinado através de:

$$R/A' = (\pi + 2)c_u b_c s_c i_c + q \quad (D.1)$$

com os coeficientes adimensionais para:

- a inclinação da base da fundação:  $b_c = 1 - 2\alpha/(\pi + 2)$ ;
- a forma da fundação:
  - $s_c = 1 + 0,2(B'/L')$  para uma forma rectangular;
  - $s_c = 1,2$  para uma forma quadrada ou circular;
- a inclinação da carga, causada por uma carga horizontal  $H$ :

$$i_c = \frac{1}{2} \left[ 1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A'c_u}} \right]$$

com  $H \leq A'c_u$ .

### D.4 Condições drenadas

(1) O valor de cálculo da capacidade resistente do terreno ao carregamento poderá ser determinado através de:

$$R/A' = c'N_c b_c s_c i_c + q'N_q b_q s_q i_q + 0,5\gamma'B'N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma \quad (D.2)$$

com os valores de cálculo dos coeficientes adimensionais para:

- a capacidade resistente do terreno ao carregamento:
  - $N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \text{tg}^2(45 + \varphi'/2)$ ;
  - $N_c = (N_q - 1) \cot \varphi'$ ;
  - $N_\gamma = 2(N_q - 1) \text{tg} \varphi'$ , com  $\delta \geq \varphi'/2$  (base rugosa);
- a inclinação da base da fundação:
  - $b_c = b_q - (1 - b_q)/(N_c \text{tg} \varphi')$ ;

- $b_q = b_y = (1 - \alpha \operatorname{tg} \varphi')^2$ ;
- a forma da fundação:
- $s_q = 1 + (B' / L') \operatorname{sen} \varphi'$  para uma forma rectangular;
- $s_q = 1 + \operatorname{sen} \varphi'$  para uma forma quadrada ou circular;
- $s_y = 1 - 0,3 (B' / L')$  para uma forma rectangular;
- $s_y = 0,7$  para uma forma quadrada ou circular;
- $s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1)$  para uma forma rectangular, quadrada ou circular;

- a inclinação da carga, causada por uma força horizontal  $H$ :

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \operatorname{tg} \varphi');$$

$$i_q = [1 - H / (V + A' c' \cot \varphi')]^m;$$

$$i_y = [1 - H / (V + A' c' \cot \varphi')]^{m+1};$$

em que:

$$m = m_B = [2 + (B' / L')] / [1 + (B' / L')] \text{ quando } H \text{ actua na direcção de } B';$$

$$m = m_L = [2 + (L' / B')] / [1 + (L' / B')] \text{ quando } H \text{ actua na direcção de } L'.$$

Nos casos em que a componente horizontal da carga actua numa direcção formando um ângulo  $\theta$  com a direcção de  $L'$ ,  $m$  poderá ser calculado por:

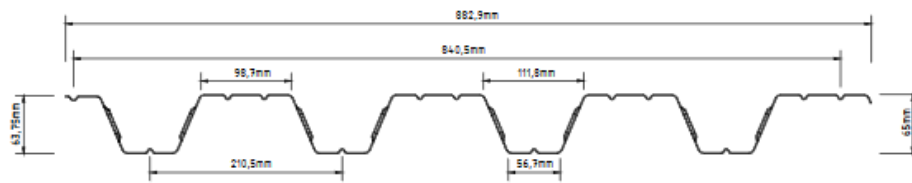
$$m = m_\theta = m_L \cos^2 \theta + m_B \operatorname{sen}^2 \theta.$$

**perfiTEC**  
PAINÉIS SANDWICH DE EXCELÊNCIA

# TR650

Chapa Colaborante

ref. PERFITEC TR65C



Esp. (mm)	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Secção (cm <sup>2</sup> /m)	Momentos positivos		Momentos negativos	
			Inércia efetiva (cm <sup>4</sup> /m)	Mod. de flexão efetivo (cm <sup>3</sup> /m)	Inércia efetiva (cm <sup>4</sup> /m)	Mod. de flexão efetivo (cm <sup>3</sup> /m)
0.7mm	0.094	12.03	55.05	15.51	59.29	15.13
0.8mm	0.108	13.79	63.81	17.77	68.33	17.48
0.9mm	0.121	15.54	72.57	19.99	77.43	19.80
1.0mm	0.135	17.30	81.38	22.23	86.52	22.13
1.2mm	0.162	20.81	99.81	26.62	104.62	26.76



\* Vista da Chapa colaborante ref. Perfitec TR65C

Chapa ref. Perfitec TR65C - S320GD.

Esp. (mm)	Sistema Estrutural	Cargas atuantes despendentes (kN/m <sup>2</sup> )										Cargas atuantes isocentras (kN/m <sup>2</sup> )											
		1.00m	1.20m	1.40m	1.60m	1.80m	2.00m	2.20m	2.40m	2.60m	2.80m	3.00m	1.00m	1.20m	1.40m	1.60m	1.80m	2.00m	2.20m	2.40m	2.60m	2.80m	3.00m
0.7mm	1 Vão	20.49	17.06	13.41	10.25	7.93	5.75	4.30	3.29	2.56	2.03	1.63	20.64	17.21	13.23	10.14	8.02	6.06	4.55	3.50	2.76	2.21	1.79
	2 + Vãos	16.38	13.63	11.67	9.99	7.88	6.36	5.24	4.39	3.46	2.75	2.22	16.52	13.78	11.82	10.35	8.21	6.66	5.51	4.52	3.56	2.85	2.31
0.8mm	1 Vão	23.49	19.56	15.38	11.75	9.13	6.63	4.95	3.79	2.95	2.34	1.88	23.66	19.72	15.28	11.72	9.27	6.96	5.23	4.03	3.17	2.53	2.06
	2 + Vãos	18.77	15.62	13.38	11.55	9.10	7.35	6.06	5.08	3.98	3.17	2.55	18.93	15.79	13.54	11.86	9.41	7.64	6.32	5.20	4.09	3.27	2.66
0.9mm	1 Vão	26.48	22.05	17.29	13.21	10.33	7.50	5.60	4.29	3.34	2.65	2.13	26.67	22.24	17.32	13.28	10.51	7.87	5.91	4.55	3.58	2.86	2.33
	2 + Vãos	21.16	17.62	15.08	13.09	10.32	8.34	6.87	5.75	4.50	3.58	2.89	21.35	17.80	15.27	13.37	10.59	8.59	7.11	5.88	4.63	3.70	3.01
1.0mm	1 Vão	29.47	24.54	19.23	14.70	11.54	8.37	6.25	4.79	3.73	2.96	2.38	29.68	24.75	19.35	14.84	11.74	8.77	6.58	5.07	3.99	3.19	2.59
	2 + Vãos	23.55	19.61	16.79	14.63	11.53	9.31	7.68	6.43	5.02	4.00	3.22	23.76	19.81	17.00	14.88	11.78	9.55	7.91	6.56	5.16	4.13	3.36
1.2mm	1 Vão	35.46	29.52	23.02	17.59	13.87	10.01	7.41	5.81	4.53	3.60	2.89	35.71	29.78	23.40	17.94	14.20	10.56	7.94	6.11	4.81	3.85	3.13
	2 + Vãos	28.34	23.59	20.20	17.65	13.94	11.27	9.28	7.77	6.08	4.83	3.90	28.59	23.84	20.45	17.83	14.10	11.44	9.47	7.93	6.24	4.99	4.06

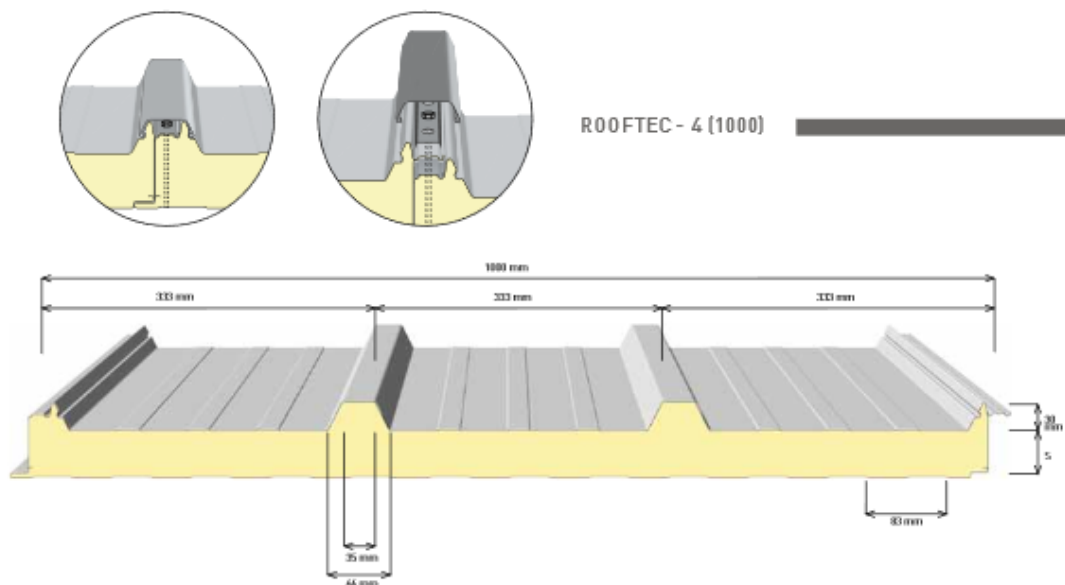
Figura A. 16 – Tabela de dimensionamento das chapas dos pavimentos.



## Painéis de cobertura em poliuretano

Especialmente concebido para a cobertura de habitações de construção moderna e espaços comerciais onde se exigem inclinações mínimas e uma estética adequada, o painel ROOFTEC-4 apresenta-se como a solução ideal.

A fixação oculta e a presença de dois canais de drenagem de eventuais condensações ou infiltrações permitem que este produto obtenha uma segurança ímpar a nível de vedação, permitindo inclinações mínimas de 3%.



CONDIÇÕES DE CARGA					CARGA ÚTIL UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA EM KG/m <sup>2</sup> - KN/m <sup>2</sup>												
ESP S mm	K		PESO PAINEL Kg/m <sup>2</sup>		U.M.	[Diagram: 2,00m span]						[Diagram: 3,00m span]					
	Kcal m <sup>2</sup> .°C	W m <sup>2</sup> .K	0,5+0,4	0,4+0,4		2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50
30	0,50	0,57	9,78	8,80	Kg/m <sup>2</sup> KN/m <sup>2</sup>	230 2,26	161 1,58	120 1,18	95 0,93	65 0,64	35 0,34	250 2,45	188 1,84	148 1,45	112 1,10	85 0,83	47 0,46
40	0,41	0,47	10,18	9,20	Kg/m <sup>2</sup> KN/m <sup>2</sup>	295 2,94	225 2,21	134 1,31	108 1,06	77 0,76	61 0,60	335 3,29	246 2,41	186 1,82	134 1,31	106 1,04	84 0,82
50	0,33	0,37	10,60	9,62	Kg/m <sup>2</sup> KN/m <sup>2</sup>	342 3,36	250 2,45	158 1,55	122 1,20	87 0,85	68 0,67	375 3,68	277 2,72	212 2,08	145 1,42	122 1,20	98 0,96

N.B.: Os valores nesta tabela são para uma flecha f ≤ 1/200 de vão / (ml) e referem-se a painéis com a espessura de chapa de 0,5+0,4mm

Figura A. 17 – Tabela - Dimensionamento das chapas da cobertura.



ANEXO X

RELATÓRIO GEOTÉCNIO



HOSPITAL DAS FORÇAS ARMADAS  
CONSTRUÇÃO DO PASSADIÇO DE LIGAÇÃO DO EDIFÍCIO H01 AO A04

ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

PROC\_ 13916

<u>Índice da memória</u>	pág.
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. TRABALHOS REALIZADOS.....	3
2.1. Sondagens geotécnicas .....	3
3. CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS .....	7
4. DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS.....	10

## 1. INTRODUÇÃO

Por decisão do Estado-Maior General das Forças Armadas (EMFA), foi a [REDACTED] [REDACTED] incumbida de efectuar o Estudo Geológico - Geotécnico de suporte ao projecto de construção de um passadiço em estrutura metálica treliçada de ligação do Edifício H01 ao Edifício A04 do Hospital das Forças Armadas localizado no Lumiar, em Lisboa.

A presente memória consubstancia com detalhe o conjunto de trabalhos geotécnicos desenvolvidos e a metodologia que presidiu à respectiva prossecução, apresentando de forma sistematizada os resultados obtidos.

São igualmente tecidas as considerações emergentes da análise ponderada da informação coligida, tendo em vista o zonamento geotécnico dos terrenos geológicos ocorrentes no local, por forma a fundamentar objectivamente as opções construtivas com incidência geotécnica, e respectivo dimensionamento, a observar pelos projectos de estabilidade dos edifícios a construir.

Como apoio à realização do estudo, dispôs-se de uma planta topográfica com a implantação da campanha de prospecção.



Fig. 1.1 – Vista aérea do local em estudo (fonte : Google Hearth)

## 2. TRABALHOS REALIZADOS

Tendo em vista os objectivos do estudo, foi implementada a campanha de prospecção geotécnica encomendada, envolvendo a realização de duas sondagens geotécnicas. A execução dos trabalhos de prospecção procurou atender-se ao disposto no *Eurocódigo 7 - Projecto geotécnico*.

Os trabalhos mencionados foram assegurados, com profissionalismo, rigor e competência técnica, por equipas especializadas e equipamentos de prospecção da [REDACTED] convenientemente dimensionada e certificada para o efeito e com vastíssima experiência nos mais diversos âmbitos dos estudos e trabalhos de prospecção geotécnicos.

### 2.1 Sondagens geotécnicas

Foram executadas 2 **sondagens geotécnicas**, S1 e S2, segundo a distribuição indicada na planta de localização anexa (CPG.001).

Na execução das sondagens foi utilizado equipamento Mobile Drill B47-DH, montado em veículo todo-o-terreno do tipo Unimog.



Figura 2.1 – Sonda de perfuração Mobile Drill B47-HD, montada sobre UNIMOG e esquema dos trados.

Conforme ocorressem terrenos com comportamento mecânico com características tanto terrosas como rochosas, o avanço da furação foi conseguido através de carotagem contínua, mediante o recurso a carotador de 76mm, com uso de água como fluido de circulação.

Na execução das sondagens atendeu-se à especificação LNEC 218: «Prospecção Geotécnica de Terrenos».

No decurso da furação efectuaram-se com carácter sistemático, espaçados cerca de 1.5 m, ensaios normalizados de penetração dinâmica SPT, de acordo com as recomendações da *International Reference Test Procedure for the Standard Penetration Test*, (ISSMFE, 1989) e do Eurocódigo EC7. Intentou-se assim avaliar *in situ* os estado de consistência dos solos prospectados e estabelecer assim o zonamento geotécnico das sequências prospectadas.

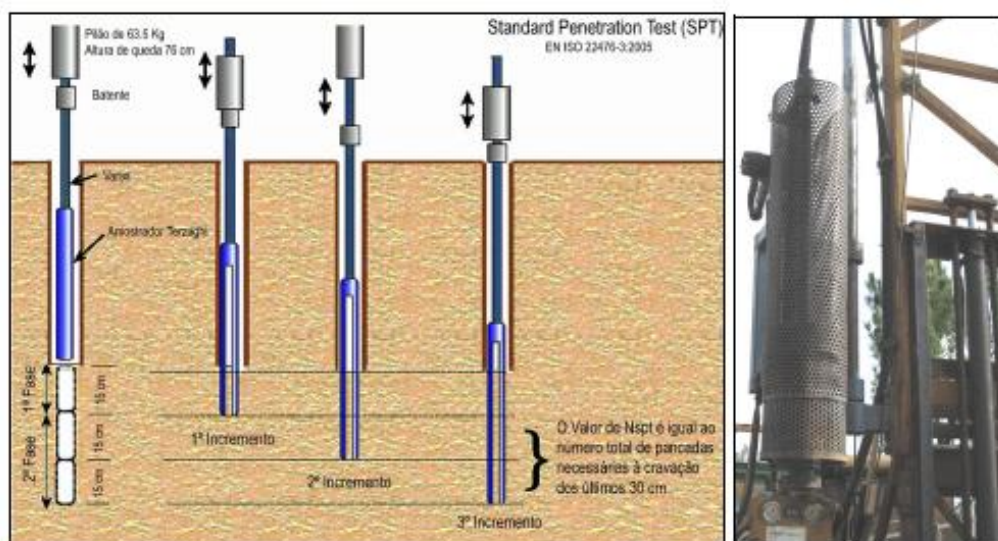


Figura 2.2 - Esquema de execução do ensaio SPT e pormenor do equipamento de disparo automático.

A classificação das areias, no que se refere à compactidade e das argilas no que se refere à consistência, foi efectuada de acordo com o indicado nos quadros 2.1 e 2.2, respectivamente.

Quadro 2.1 - Classificação das areias quanto à compactidade.

$N_{SPT}$	Compactidade	Densidade Relativa (%)
0 - 4	<i>muito solta</i>	15
4 - 10	<i>solta</i>	15 - 35
10 - 30	<i>medianamente compacta</i>	35 - 65
30 - 50	<i>compacta</i>	65 - 85
>50	<i>muito compacta</i>	85 - 100

Quadro 2.2 - Classificação de argilas quanto à consistência.

$N_{SPT}$	Consistência	Resistência à compressão simples (kPa)
0 - 2	<i>Muito mole</i>	< 24
2 - 4	<i>Mole</i>	24 - 48
4 - 8	<i>Consistência média</i>	48 - 96
8 - 15	<i>Dura</i>	96 - 192
15 - 30	<i>Muito Dura</i>	192 - 388
>30	<i>Rija</i>	>388

A análise macroscópica da amostragem obtida pelas sondagens, devidamente enquadrada pela informação bibliográfica e pelos indicadores de reconhecimento geológico de superfície, permitiu individualizar os diferentes horizontes atravessados e enquadrá-los do ponto de vista litoestratigráfico, numa perspectiva uniformizadora e geotecnicamente coerente, sem pretensões de natureza académica, vislumbrando desde logo e muito objectivamente os objectivos visados pelo estudo geotécnico.

Os resultados da campanha de furação estão sintetizados em diagramas individuais de sondagem, apresentados no Anexo I - Prospecção Geotécnica. Além da informação relativa à furação e identificação das sondagens, referenciam os seguintes aspectos:

- sequências lito-estratigráficas atravessadas;
- resultados dos ensaios *SPT* (valores de  $N_{SPT}$ );
- coordenadas e cotas

No Quadro 2.3 são indicadas as profundidades das sondagens e as quantidades de ensaios *SPT* realizados em cada uma delas.

Quadro 2.3 - Sondagens geotécnicas: quantidades de trabalho

Sond. nº	Furação (m)	SPT (un.)
S1	9.39	6
S2	9.33	6

### 3. CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

A análise do conjunto de informação propiciado pela campanha de prospecção foi convenientemente enquadrada com consulta bibliográfica, de modo a permitir sistematizar as diferentes unidades lito-estratigráficas interferidas no local a edificar.

A sistematização proposta baseia-se na carta geológica de Portugal, Folha 34-B, de Loures, à escala 1/50.000 (Figura 3.1), tendo balizado o zonamento e parametrização geotécnica subsequente, sem pretensões de natureza académica, vislumbrando desde logo e muito objectivamente os propósitos do estudo.

A figura seguinte ilustra a cartografia geológica regional, indicando em específico, o ambiente geológico do local de estudo.

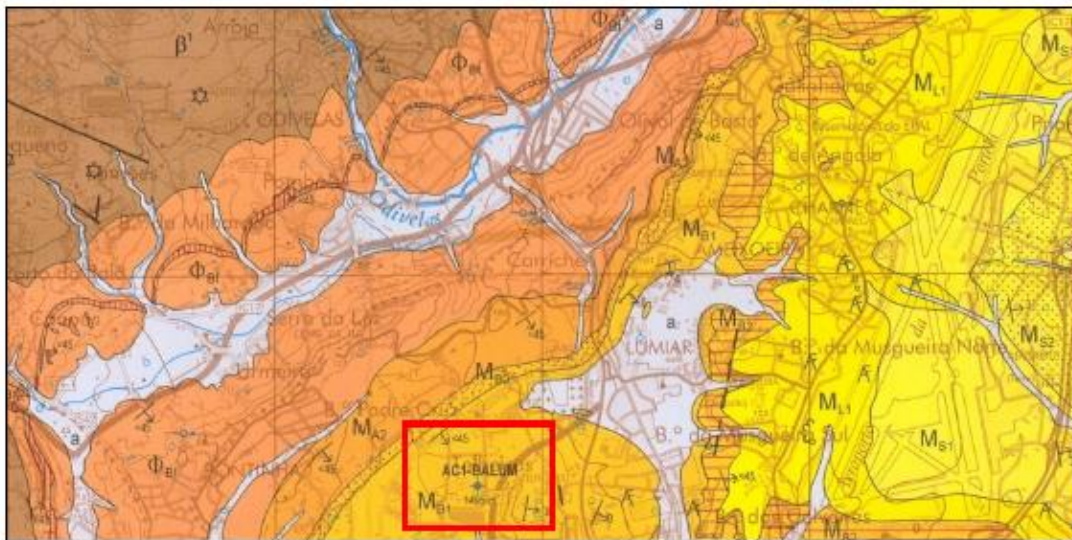


Figura 3.1 - Enquadramento geológico do local investigado; sem escala (excerto da Carta Geológica de Portugal Folha 34-C, Esc.: 1/50.000)

As diferentes unidades litoestratigráficas ocorrentes no perímetro em estudo, de acordo com a sistematização proposta, estão descritas no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Coluna Lito-Estratigráfica

ESTRATIGRAFIA		Símbolo	LITOLOGIA	
Recente	Aterro	At	Depósitos de Aterro	Siltos e areias argilosas, com fragmentos líticos e restos cerâmicos
				Siltos margosos e argilas silto-margosas
Burdigaliano	MIOCÉNICO	M <sub>FT</sub>	Argilas do Forno do Tijolo	Arenitos argilosos
				Calcarenitos coníferos e porosos (cascão)

Os trabalhos de reconhecimento geotécnico, permitiram assinalar a ocorrência de um dispositivo geológico constituído por um maciço sedimentar datado do Miocénico ( $M_{FT}$ ). Superficialmente ocorre cobertura de aterros (At), de génese recente.

Os depósitos de aterro referenciados estabelecem-se no topo da sequência litológica investigada, com espessura situada entre 0.8m e 2.0m. Tratam-se de aterros tanto argilosos como arenosos, englobando alguns fragmentos líticos de natureza diversa. Associam no global, desempenho geotécnico tipicamente condicionado, pouco resistente e muito deformável, em boa medida ilustrado pelo resultado do ensaio SPT obtido na sua dependência, igual a 8 pancadas.

O ambiente geológico prevalecente no perímetro investigado assinala a ocorrência de substrato geológico de natureza sedimentar atribuído ao Miocénico marinho da região de Lisboa, representado pela unidade litoestratigráfica designada como *Argilas do Forno do Tijolo* ( $M_{FT}$ ).

Reconheceu-se sequência sedimentar constituída por um horizonte superficial de siltes margosos rijos com espessura média da ordem de 1.5m, sobreposto a argilas siltosas, com passagens lenticulares de níveis com características de rocha branda, constituídos por cascões coníferos e/ou arenitos argilosos, sempre com espessuras inferiores a 0.7m.

O zonamento geotécnico vertical, estabelecido *in situ* mediante a realização sistemática de ensaios SPT, caracterizou terrenos miocénicos com comportamento geomecânico muito resistente, na transição de solo rijo ao rochoso branda, indicado por valores de  $58 \leq N_{SP} \leq 60$  do ensaio SPT.

Aquando da campanha de prospecção, realizada em Fevereiro de 2016, o dispositivo geológico mostrou-se hidrogeologicamente improdutivo (seco) até às profundidades investigadas.

#### 4. DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

A análise integrada e ponderada dos resultados da campanha de prospecção efectuada, permitiu avaliar o desempenho geotécnico associado aos terrenos geológicos ocorrentes no local investigado e ajuizar subsequentemente a respectiva capacidade de suporte, tendo em vista a definição das condições de fundação da estrutura a edificar.

Equacionam-se as incidências geotécnicas envolvidas pela construção de um passadiço em estrutura metálica, com cerca de 50m de vão, apoiado em ambas as extremidades em núcleos verticais metálicos treliçados.

Testemunhou-se a presença de substrato datado do Miocénico com comportamento geotécnico globalmente favorável, atestado por valores de  $N_{SPT}$  maioritariamente superiores a 60 pancadas, genericamente localizado abaixo da cobertura superficial de aterros que atingiu uma espessura máxima de 2m na sondagem S1.

Nestas condições, poder-se-ão praticar fundações directas a mobilizarem os terrenos do substrato miocénico com tensões de contacto da ordem dos 500 kPa, ocorrentes a partir de 1.5m de profundidade na dependência da sondagem S2 e a partir de 3m de profundidade em relação com a sondagem S1 (em relação à cota do terreno natural).

Deverá sempre ser garantido, o atravessamento de eventuais deposições de aterro mais espessas, não referenciadas pela informação inexoravelmente pontual das sondagens, de forma a garantir a mobilização inequívoca, em toda a área da construção, dos terrenos sedimentares miocénicos.

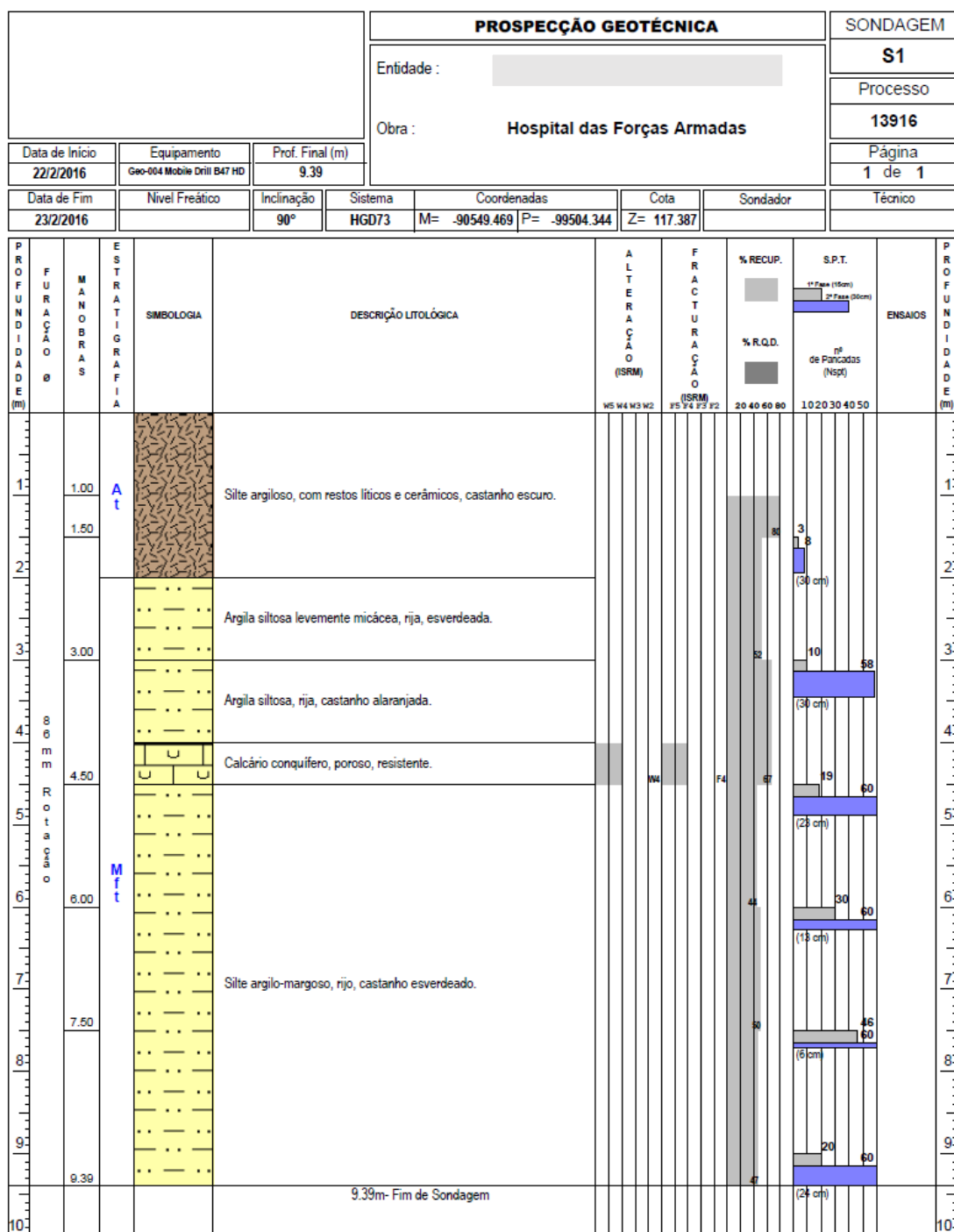
Para efeitos de dimensionamento de eventuais paredes enterradas, assim como para a hipótese de dimensionamento de fundações pelo método dos «coeficientes parciais», poderão ser adoptados os seguintes parâmetros mecânicos característicos, inferidos dos resultados dos ensaios SPT.

Quadro 4.1 - Parâmetros geotécnicos

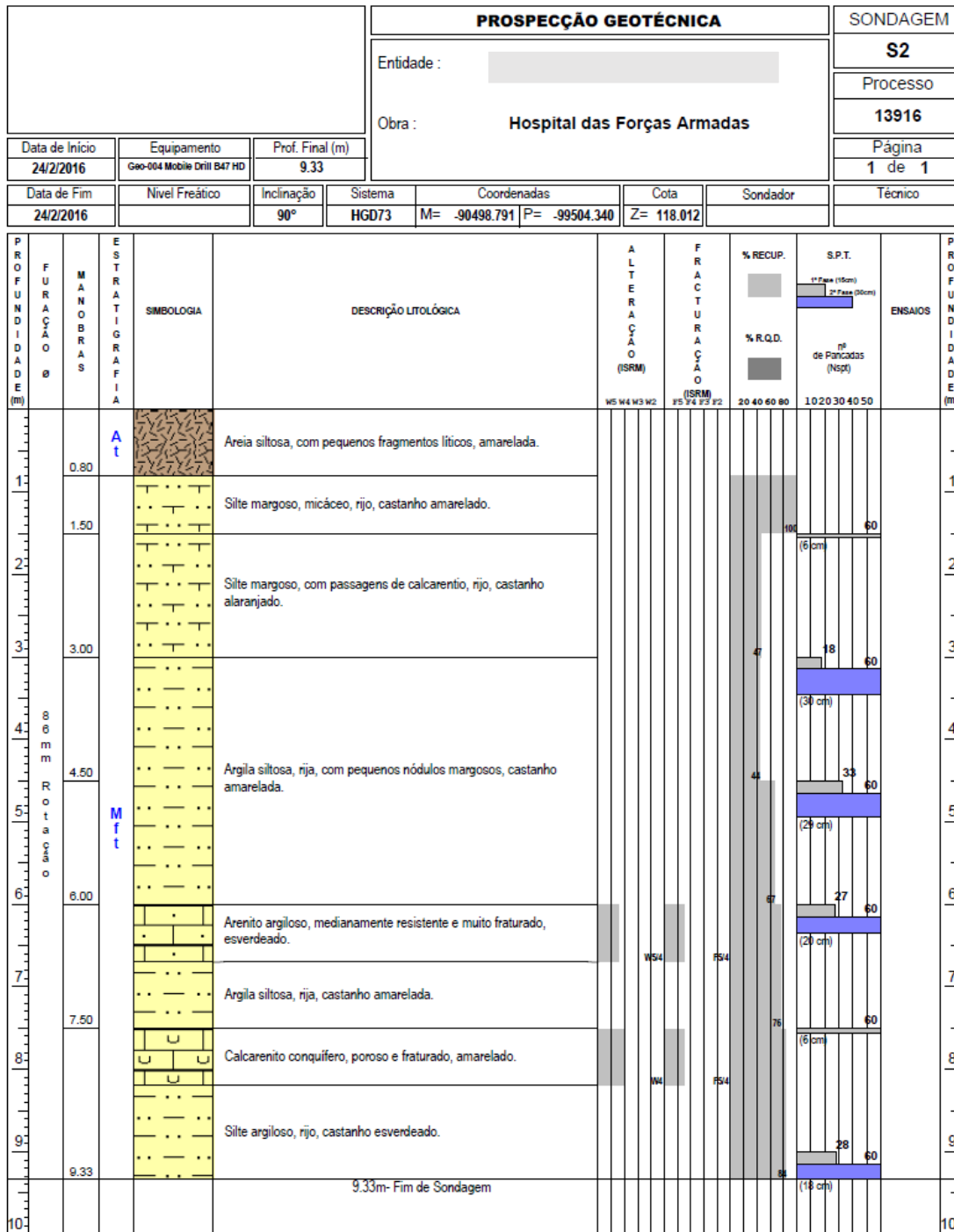
Tipo de terreno	$N_{SPT}$ característico	Peso volúmico $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	Ângulo de atrito interno $\phi$	Coesão C (KPa)	Módulo de deformabilidade E (MPa)
Aterros	8	19	25	0	5
Argilas siltosas e margosas	58 - 60	20	34	20	50
Arenitos e calcarenitos (cascão)	$\geq 60$	21	36	25	60

A adopção de orientações diversas, nomeadamente em relação às profundidades de fundação referida, pode resultar numa variação dos parâmetros representativos, uma vez que se trata sobretudo de parâmetros representativos dos materiais directamente solicitados.

ANEXO I DO RELATÓRIO:



ANEXO X – RELATÓRIO GEOTÉCNICO







ANEXO XI

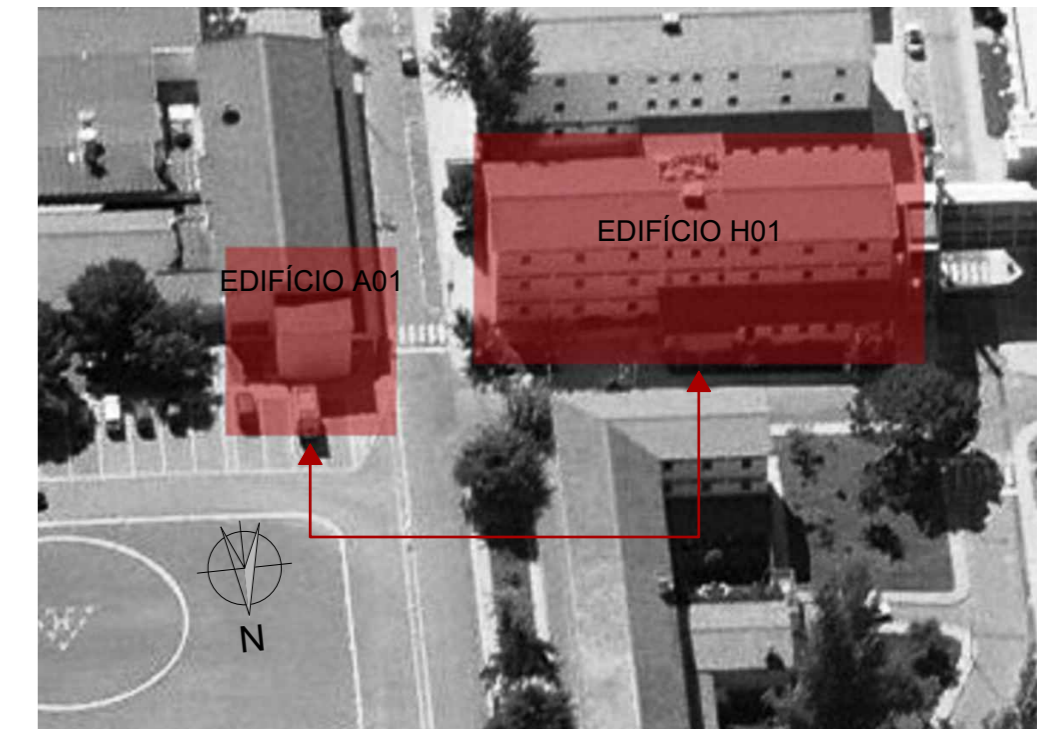
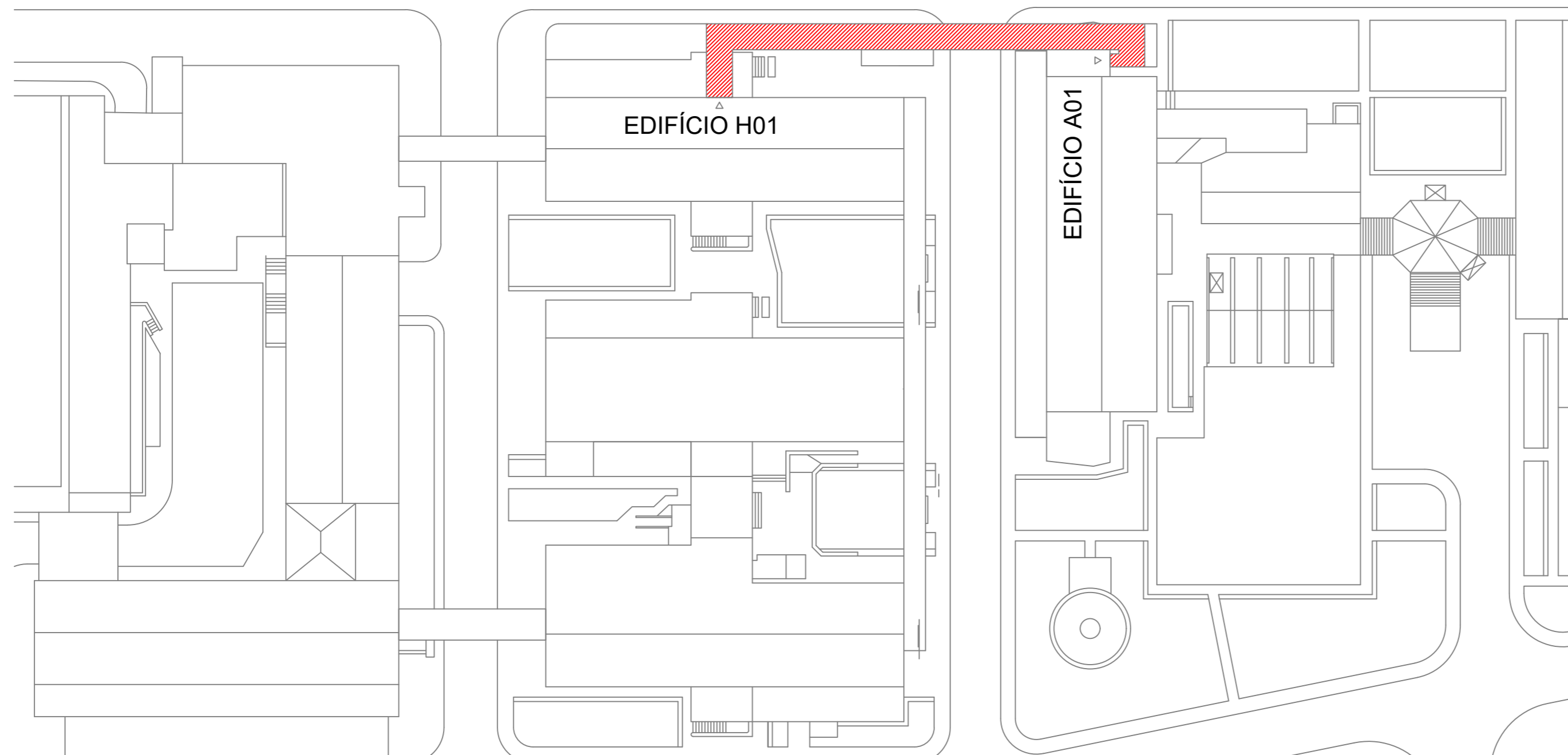
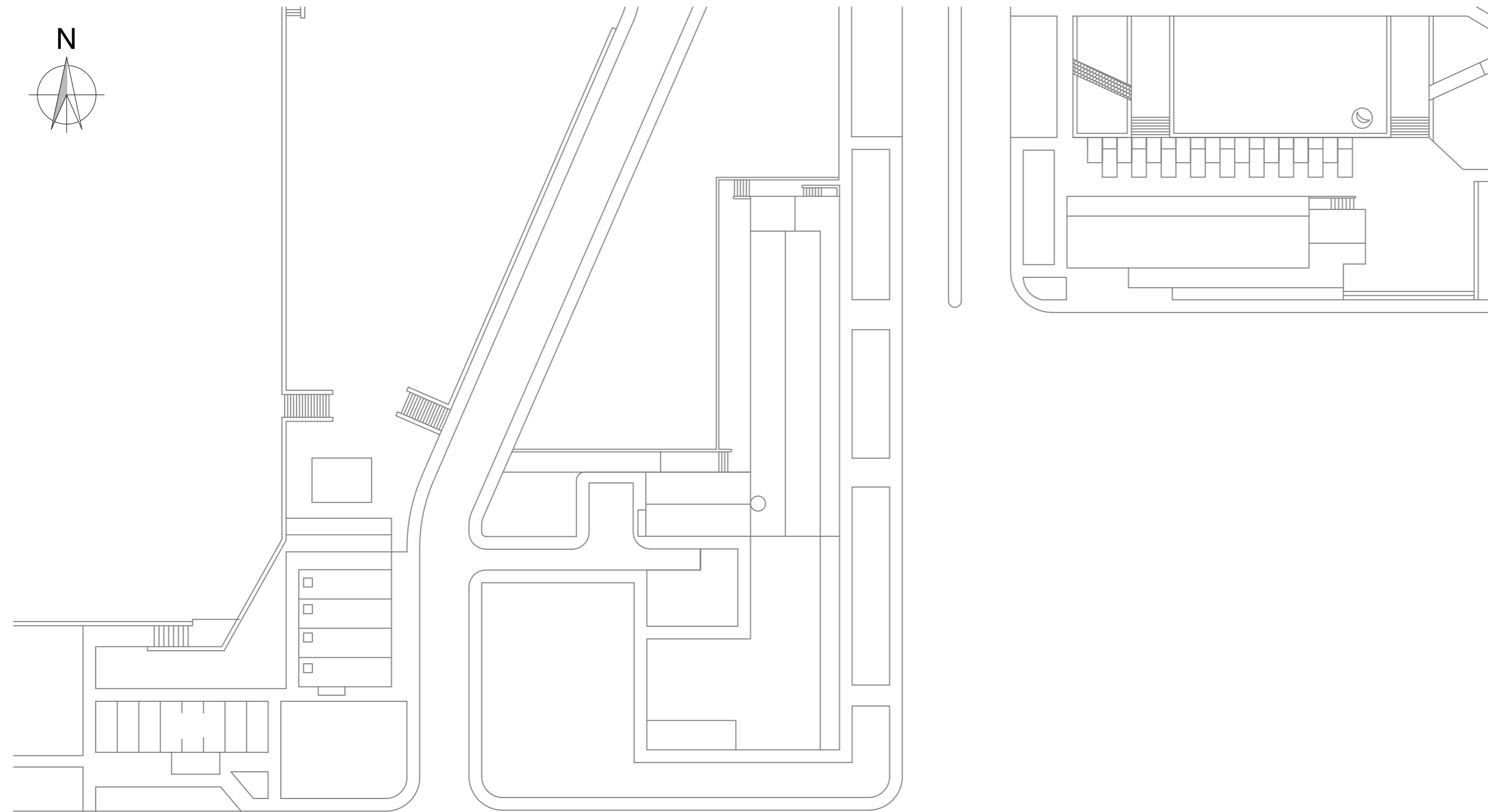
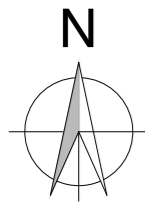
PEÇAS DESENHADAS






---

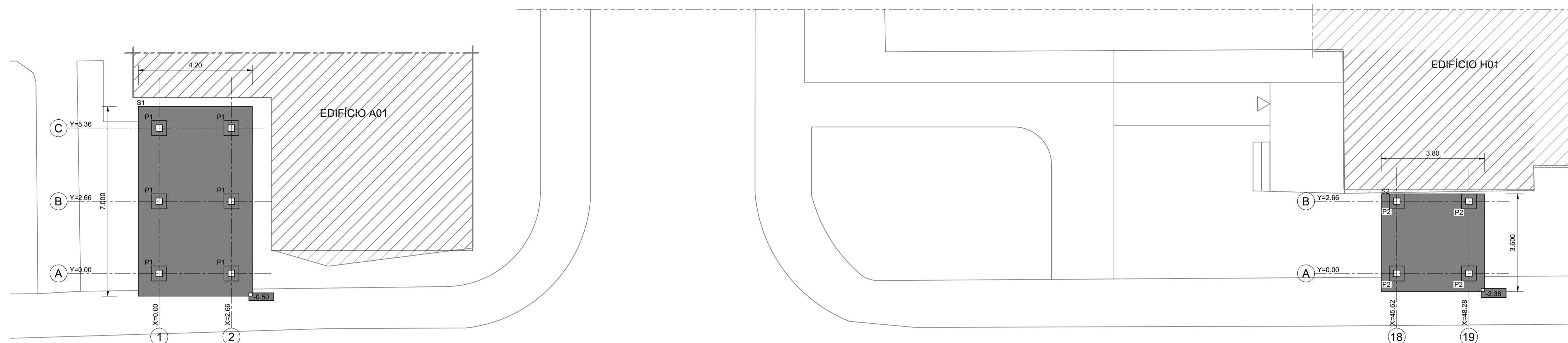
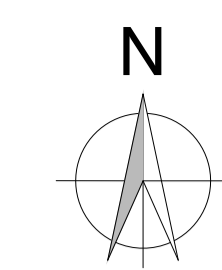
**LISTA DE PEÇAS DESENHADAS****PROJETO DE ESTABILIDADE**

<b>Nº DESENHO</b>	<b>LEGENDA</b>	<b>ESCALAS</b>
01.EM	PROJETO DE ESTABILIDADE - LOCALIZAÇÃO	1:500
02.EM	PLANTAS - FUNDAÇÕES, PISO E COBERTURA DIMENSIONAMENTO	1:100
03.EM	CORTES DIMENSIONAMENTO	1:100
04.EM	CORTE TRANSVERSAL TIPO ARQUITETURA	1:20
05.EM	FUNDAÇÕES DIMENSIONAMENTO E BETÃO ARMADO	1:50 1:20
06.EM	CAIXA DE ESCADA - PLANTAS E CORTES DIMENSIONAMENTO	1:50
07.EM	PORMENORES DAS LIGAÇÕES METÁLICAS	1:10 1:5

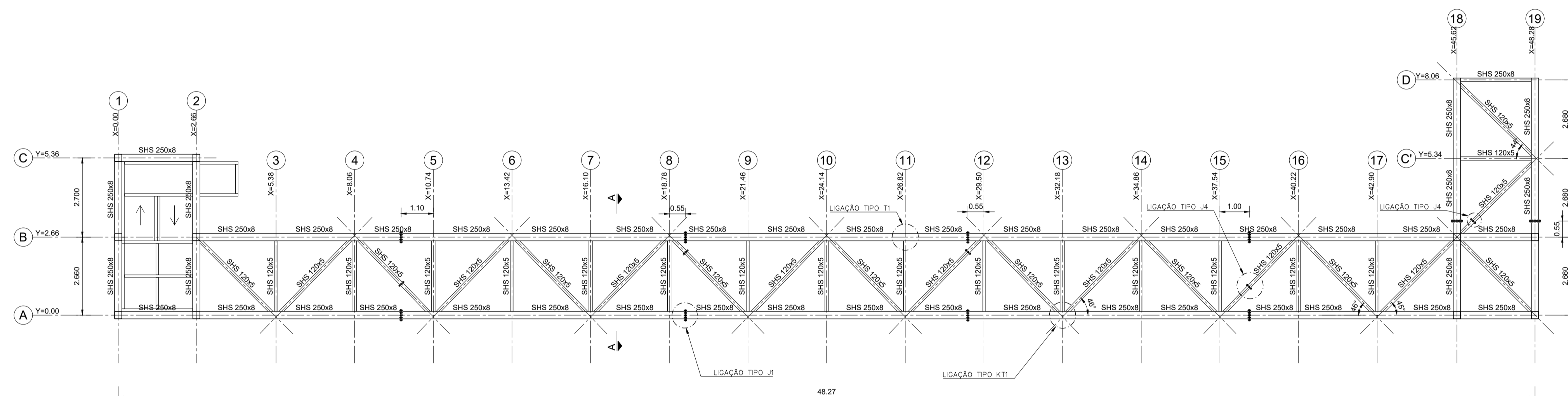


LEGENDA:  
 PONTE PEDONAL

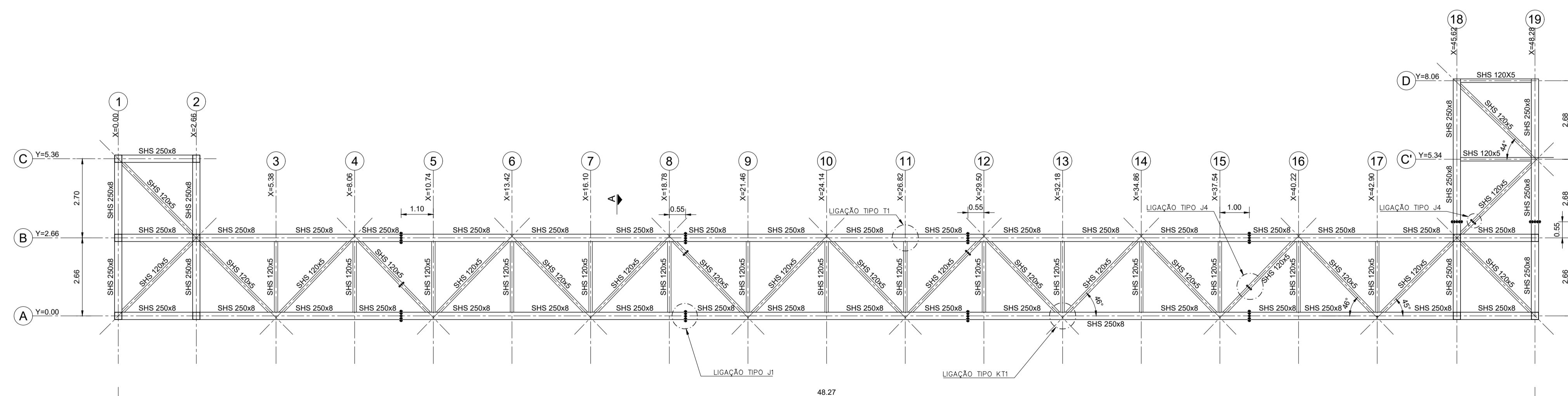
  <b>ANDRÉ DOMINGOS</b> PROJETOS DE ENGENHARIA E-mail: andredomingos89@gmail.com   tlm: (+351) 96 983 61 29	PROJECTO N.º   .   .   1   1   9
	DESENHO N.º   .   .   1   E   M
REQUERENTE: INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA LOCAL DA OBRA: LUMIAR, LISBOA	ESCALAS 1: 500
PROJETO DE ESTABILIDADE DE UM PASSADIÇO LOCALIZAÇÃO	
DESCRIÇÃO DA OBRA/OBS.: CONSTRUÇÃO DE UM PASSADIÇO DE LIGAÇÃO DE DOIS EDIFÍCIOS.	DATA NOVEMBRO/2019
O TÉCNICO ANDRÉ DOMINGOS N.º O.E.T.: 24814	



**PLANTA DE FUNDAÇÕES**  
Esc. 1:100



**PLANTA DO PAVIMENTO À COTA +6.88**  
Esc. 1:100



**PLANTA DA COBERTURA À COTA +9.54**  
Esc. 1:100

**QUADRO DE MATERIAIS E NOTAS TÉCNICAS**

**BETÃO (\*):**  
EM GERAL: C30/37 XC4 ClO.20 S3  
SAPATAS: C30/37 XC4 ClO.20 S3  
PLINTOS: C30/37 XC4 ClO.20 S3  
REGULARIZAÇÃO: C12/15 Cl1.00  
MÁXIMA DIMENSÃO DO INERTE MAIS GROSSO: D<sub>max</sub>=25 mm

**RECOBRIMENTOS:**  
EM GERAL: 5 cm

(\*): CLASSES DE EXPOSIÇÃO, TEOR DE CLORETO E CONSISTÊNCIA CONFORME NP EN 206-1

**AÇO (\*2):**  
ARMADURAS ORDINÁRIAS: A500 NRSD  
PERFIS, BARRAS E CHAPAS: S275 JR  
PARAFUSARIA: CLASSE 10.9

(\*2): CLASSE DE EXECUÇÃO: EXC2 CONFORME NP EN 1993-1-1:2010/A1

**TRATAMENTO ANTI-CORROSÃO DAS SUPERFÍCIES METÁLICAS:**

AS SUPERFÍCIES EXTERIORES DAS PEÇAS METÁLICAS SERÃO PROTEGIDAS CONTRA A CORROSÃO ATRAVÉS DA EXECUÇÃO DA SEQUÊNCIA DE TRABALHOS:  
- Decapagem mecânica por projeção ao grau SA 2 1/2.  
- Uma demão de primário de epoxy rico em pó de zinco (Zn>90%) com 60 micra de espessura.  
- Duas demãos de tinta de acabamento epoxídica com induto de poliâmida com 2x100 micra de espessura.

AS SUPERFÍCIES QUE FICAM EM CONTACTO COM O BETÃO APLICAR-SE-Á APENAS A DEMÃO DE PRIMÁRIO, APÓS A DECAPAGEM.

CASO SE VENHA A CONSTATAR A EXISTÊNCIA DE VÁRIAS SUPERFÍCIES DE PINTURA DANIFICADAS APÓS A CONCLUSÃO DA MONTAGEM SERÁ APLICADA UMA NOVA DEMÃO GERAL DE TINTA DE ACABAMENTO EM TODA A ESTRUTURA.

OS PARAFUSOS, PORCAS E ANILHAS SERÃO GALVANIZADOS.

**MOMENTOS DE APERTO DOS PARAFUSOS:**

- M12 - 8 kgf.m
- M16 - 19 kgf.m
- M20 - 37 kgf.m
- M24 - 65 kgf.m
- M27 - 93 kgf.m
- M30 - 121 kgf.m

**NOTAS COMPLEMENTARES:**

ANTES DE SE INICIAR O FABRICO DA ESTRUTURA O EMPREITEIRO DEVERÁ FAZER CONFIRMAR NO LOCAL AS MARCAS REFERENTES À POSIÇÃO FUTURA DOS PILARES DE SUPORTE DA PONTE PEDONAL DA RESPONSABILIDADE DO EMPREITEIRO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, E VERIFICAR SE EXISTEM ALGUNS PROBLEMAS QUE POSSAM POR EM CAUSA AS MONTAGENS FUTURAS DAS ESTRUTURAS METÁLICAS.

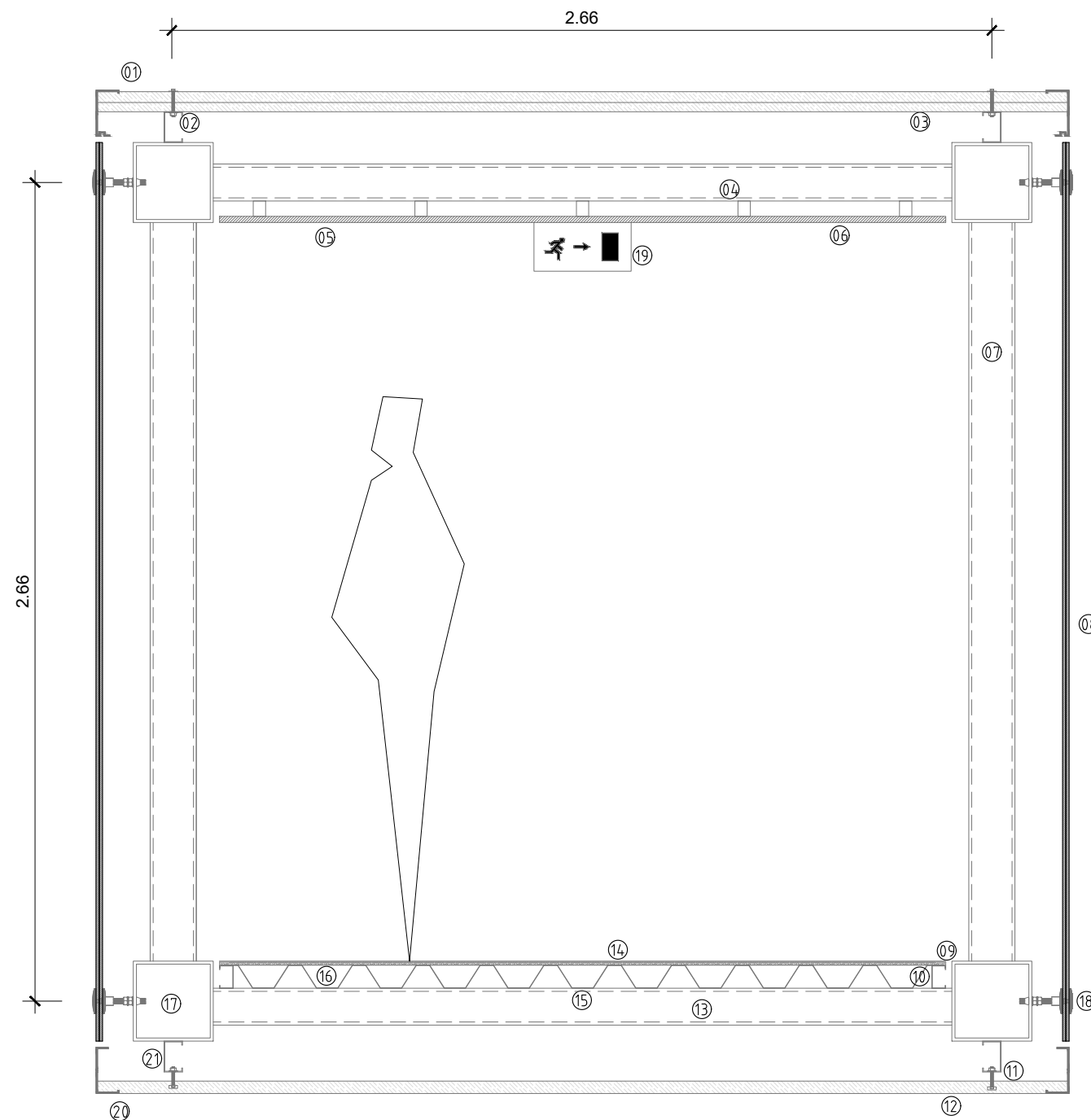
TODAS AS COTAS REFERENTES AS CONSTRUÇÕES EXISTENTES DEVERÃO SER CONFIRMADAS NO LOCAL.

TODOS OS MATERIAIS DEVEM SER VERIFICADOS E RETIFICADOS EM OBRA ANTES DA SUA EXECUÇÃO.

AS COTAS INDICADAS ESTÃO EM METROS.

<p><b>ANDRÉ DOMINGOS</b> PROJETOS DE ENGENHARIA E-mail: andredomingos9@gmail.com   tlm: (+351) 96 983 61 29</p>	PROJECTO Nº	1   1   9
	DESENHO Nº	1   2   E   M
<p><b>REQUERENTE:</b> INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA <b>LOCAL DA OBRA:</b> LUMIAR, LISBOA</p>	ESCALAS	1:100
<p><b>PROJETO DE ESTABILIDADE DE UM PASSADIÇO</b> PLANTAS - FUNDAÇÕES, PISO E COBERTURA   DIMENSIONAMENTO</p>	0 TECNICO	
<p>DESCRIÇÃO DA OBRA/OPES: CONSTRUÇÃO DE UM PASSADIÇO DE LIGAÇÃO DE DOIS EDIFÍCIOS.</p>	DATA	NOVEMBRO/2019
		ANDRÉ DOMINGOS Nº D.E.T.: 24814






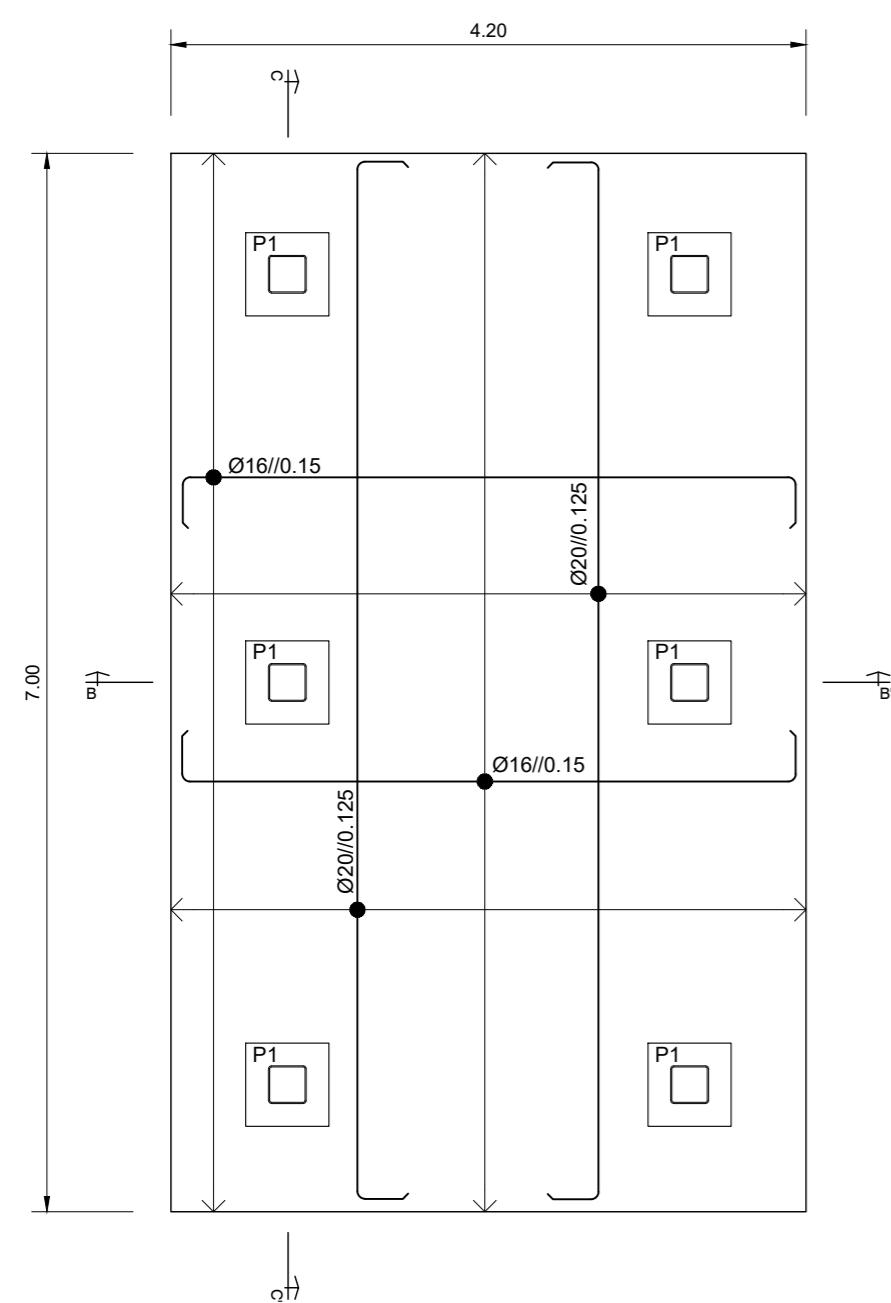
CORTE TRANSVERSAL TIPO  
Esc. 1:10

LEGENDA:

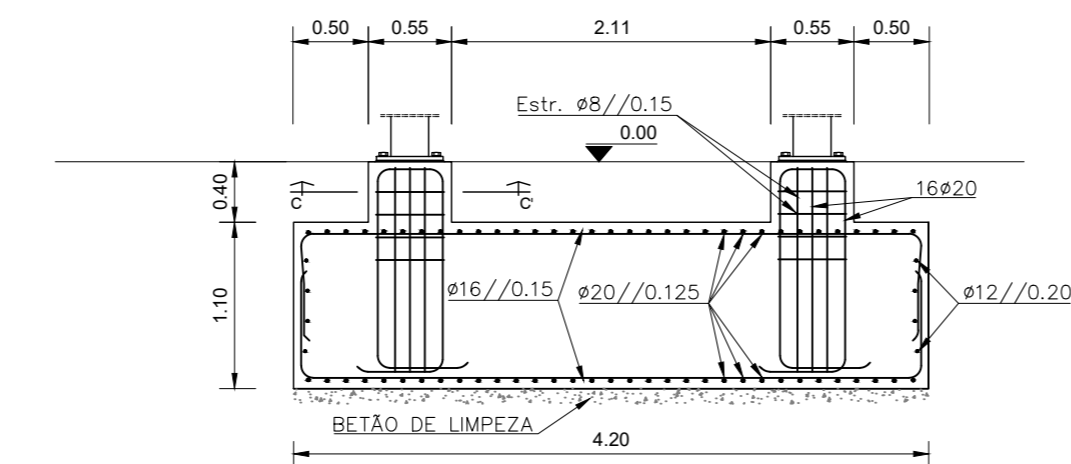
- 1 – Remate Superior "Perfitec" para Painél Sandwich (Cor:Cinza)
  - 2 – Perfil Metálico de Fixação para Cobertura
  - 3 – Painél Sandwich de Cobertura em Poliuretano "Perfitec rooftec 4 1000 – 40mm" c/ Fixação Oculta (Cor:Branco)
  - 4 – Fixação Metálica para Teto Falso
  - 5 – Teto Falso c/ Perfuração Aleatória em Gesso Cartonado Hidrófugo
  - 6 – Iluminação Led de Embutir (Ver Planta de Tetos)
  - 7 – Perfil Metálico SHS 140x5
  - 8\* – Vidro Laminado SGG STADIP 1010.1mm. Temperados SGG SECURIT c/ HST, base SGG PLANICLEAR. Laminados c/ intercalar SENTRYGLAS esp.:1,52mm. Dois furos para peças VEA nos bordos horizontais. Serigrafia 100% ONE AWAY (Exterior-Branco/Interior-Preto)
  - 9 – Perfil para Pavimento Vinílico em Alumínio Anodizado Mate "Profilitec Stairtec SC30"
  - 10 – Perfil metálico U75
  - 11 – Parafuso Metálico de Fixação para o Revestimento Inferior
  - 12 – Painél Sandwich de Fachada em Poliuretano "Mundiperfil" c/ Fixação Oculta (30mm)
  - 13 – Perfil Metálico SHS 120x5
  - 14 – Revestimento Vinílico "Forbo Eternal Material 13772 Brushed Aluminium"
  - 15 – Painel em chapa colaborante tipo "Perfitec TR650 – 1.2mm", ou equivalente, incluindo borrachas de apoio para eliminação de ruídos.
  - 16 – Chapa de OSB Hidrófugo (10mm)
  - 17 – Perfil Metálico SHS 250x8
  - 18 – Ponto de Fixação Articulado para o Vidro Tipo "Pauli + Sohn GmbH 751280VAM16"
  - 19 – Placa de Sinalização (Saida de Emergência) – Bandeira de Encastrar LED (Electrical)
  - 20 – Remate Inferior "Mundiperfil" para Painél Sandwich (Cor:Cinza)
  - 21 – Perfil Metálico C100
- \* Deve ser aplicada Mastic de Silicone Neutro Incolor (esp.: 10mm) entre vidros

 <b>ANDRÉ DOMINGOS</b> PROJÉTOS DE ENGENHARIA E-mail: andredomingos89@gmail.com   tlm: (+351) 96 983 61 29	PROJECTO N° . . . 1   1   9
	DESENHO N° . . . 4   E   M
REQUERENTE: INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA LOCAL DA OBRA: LUMIAR, LISBOA	ESCALAS 1:20
<b>PROJETO DE ESTABILIDADE DE UM PASSADIÇO</b> <b>CORTE TRANSVERSAL TIPO   ARQUITETURA</b>	
DESCRIÇÃO DA OBRA/OBS.: CONSTRUÇÃO DE UM PASSADIÇO DE LIGAÇÃO DE DOIS EDIFÍCIOS.	DATA NOVEMBRO/2019
O TÉCNICO ANDRÉ DOMINGOS N° O.E.T.: 24814	

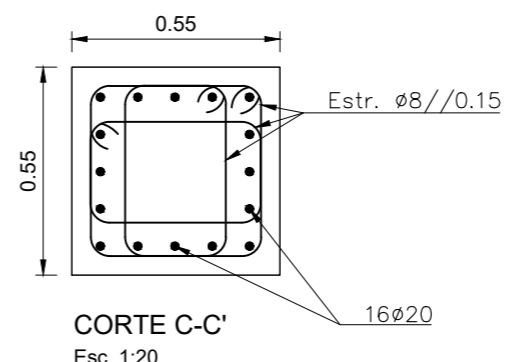
SAPATA TIPO S1 + PLINTO TIPO P1



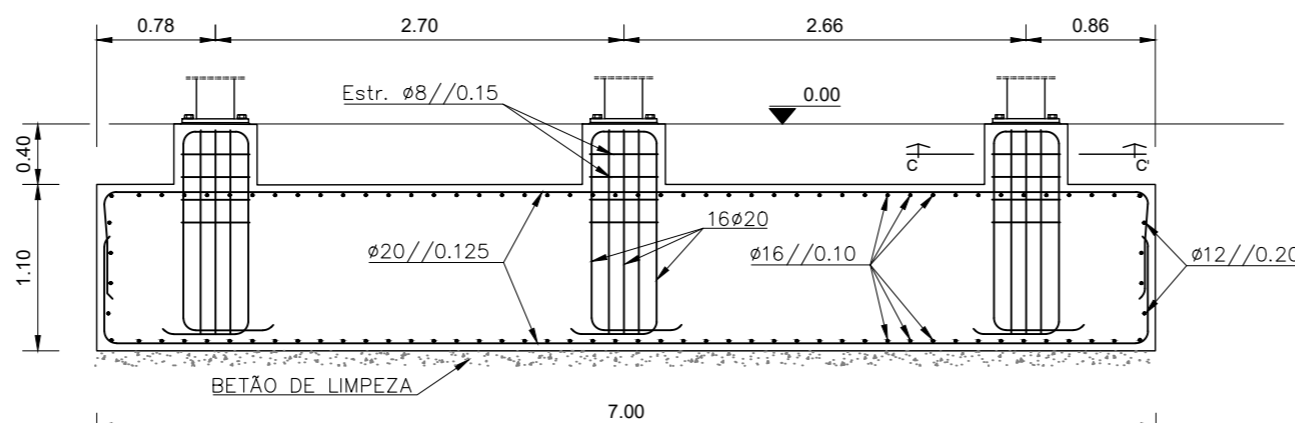
PLANTA  
Esc. 1:50



CORTE B-B'  
Esc. 1:50

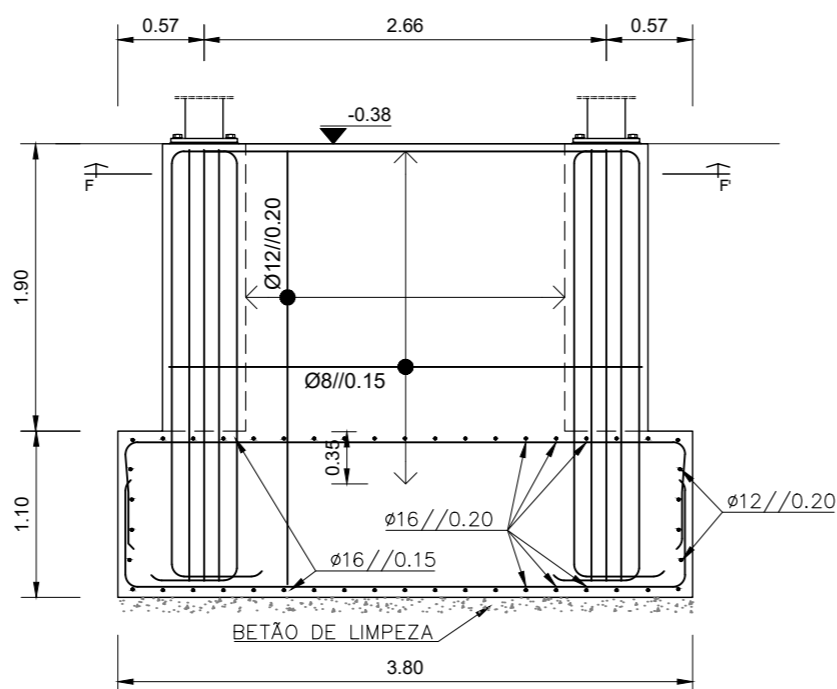
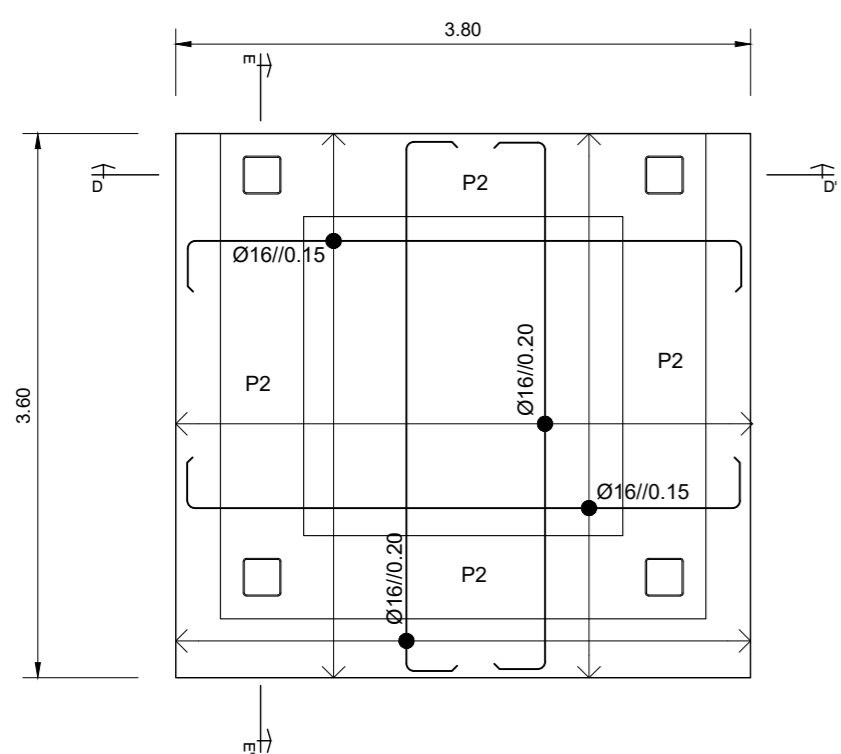


CORTE C-C'  
Esc. 1:20

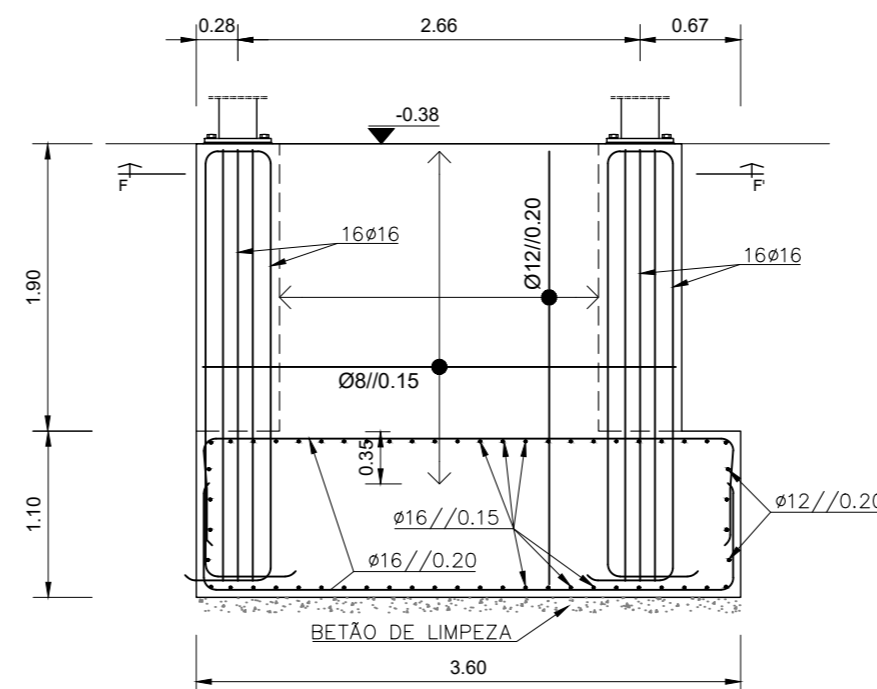


CORTE C-C'  
Esc. 1:50

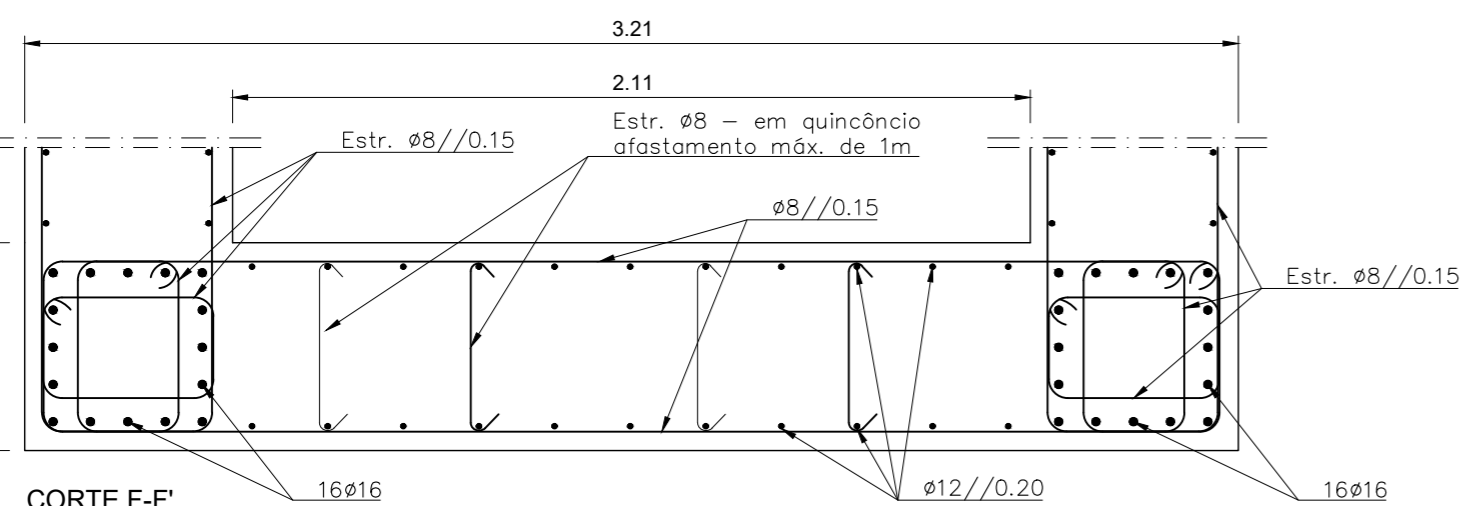
SAPATA TIPO S2 + PLINTO TIPO P2 (PAREDE RESISTENTE)



CORTE D-D'  
Esc. 1:50



CORTE E-E'  
Esc. 1:50



CORTE F-F'  
Esc. 1:20

COMPRIMENTOS DE SOBREPOSIÇÃO E

AMARRAÇÃO :

	Diâmetros	6	8	10	12	16	20	25	32
Fundações	$L_{b,0.05}$	0.35	0.45	0.55	0.65	0.90	1.10	1.35	1.75
	$L_{b,0.25}$	0.35	0.45	0.55	0.65	0.90	1.10	1.35	1.75
Pilares e Paredes	$L_{b,0.05}$	0.25	0.30	0.40	0.45	0.60	0.75	0.90	1.15
	$L_{b,0.25}$	0.25	0.30	0.40	0.45	0.60	0.75	0.90	1.15
Longitudinal	$L_{l,0.05}$	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.13	0.16
	$L_{l,0.25}$	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20	0.25	0.32
Transversal	$L_{t,0.05}$	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.13	0.16
	$L_{t,0.25}$	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.13	0.16

QUADRO DE MATERIAIS E NOTAS TÉCNICAS

BETÃO (\*1):

EM GERAL:	C30/37	XC2	Ci0.20	S3
SAPATAS:	C30/37	XC2	Ci0.20	S3
PLINTOS:	C30/37	XC2	Ci0.20	S3
REGULARIZAÇÃO:			C12/15	Ci1.00
MÁXIMA DIMENSÃO DO INERTE MAIS GROSSO:				Dmax=25 mm

RECOBRIMENTOS:

EM GERAL:	5 cm
-----------	------

(\*1) CLASSES DE EXPOSIÇÃO, TEOR DE CLORETOS E CONSISTÊNCIA CONFORME NP EN 206-1

NOTAS COMPLEMENTARES:

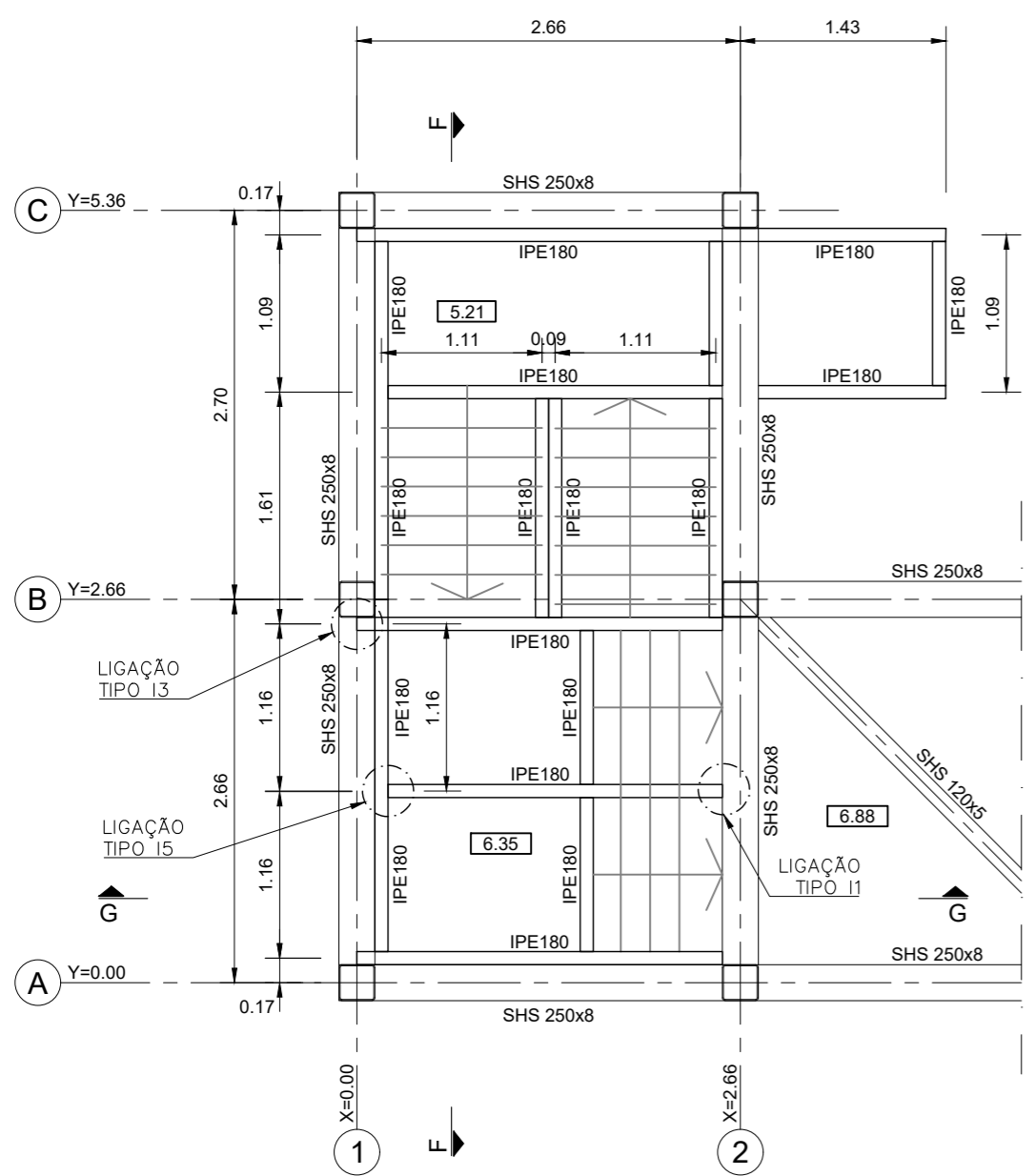
ANTES DE SE INICIAR O FABRICO DAS ESTRUTURAS METÁLICAS O EMPREITEIRO DEVERÁ FAZER CONFIRMAR NO LOCAL AS MARCAS REFERENTES À POSIÇÃO FUTURA DOS PILARES DE SUPORTE DA PONTE PEDONAL DA RESPONSABILIDADE DO EMPREITEIRO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, E VERIFICAR SE EXISTEM ALGUNS PROBLEMAS QUE POSSAM POR EM CAUSA AS MONTAGENS FUTURAS DAS ESTRUTURAS METÁLICAS.

TODAS AS COTAS REFERENTES AS CONSTRUÇÕES EXISTENTES DEVERÃO SER CONFIRMADAS NO LOCAL.

TODOS OS MATERIAIS DEVERM SER VERIFICADOS E RETIFICADOS EM OBRA ANTES DA SUA EXECUÇÃO.

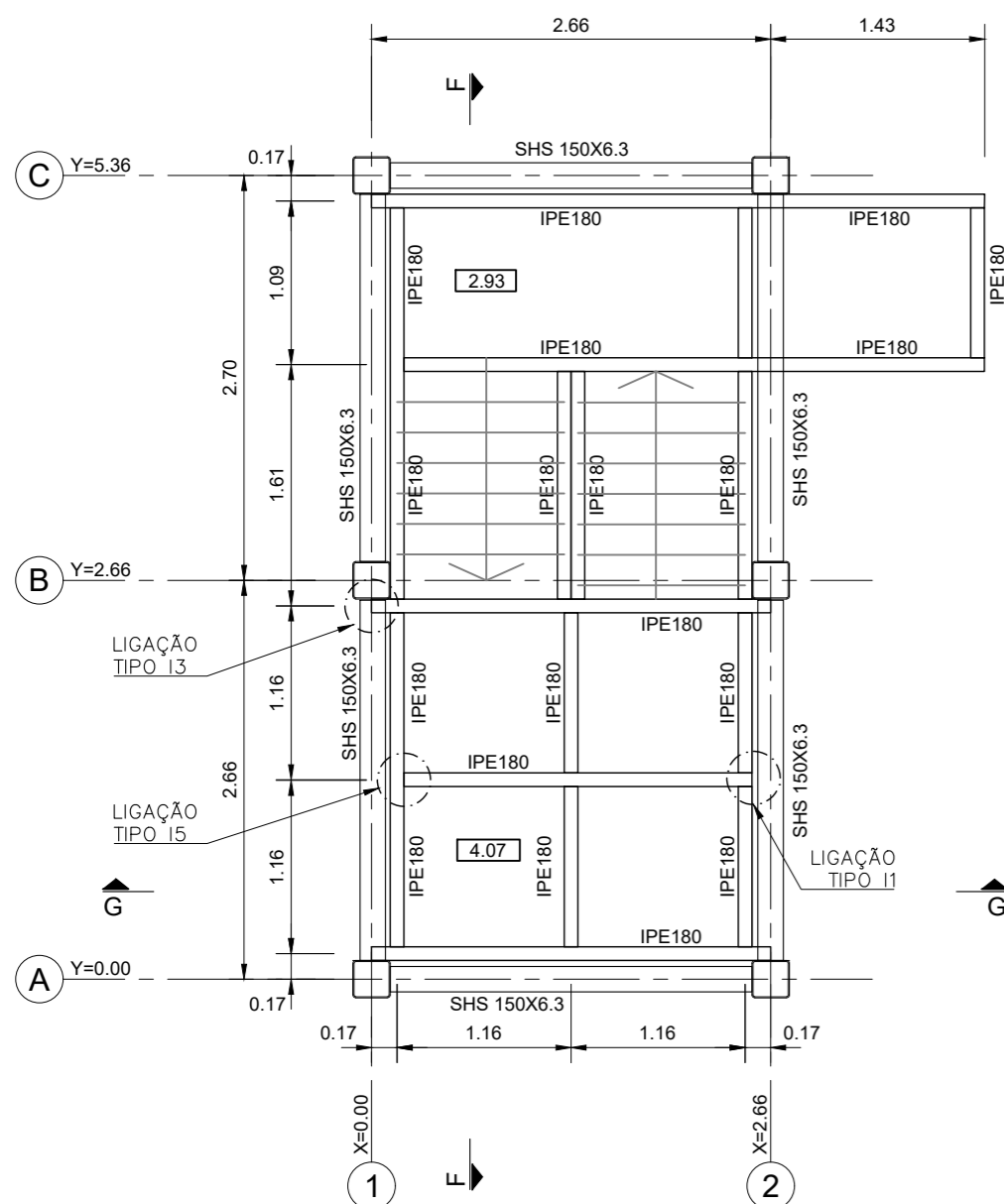
AS COTAS INDICADAS ESTÃO EM METROS.

<p><b>ANDRÉ DOMINGOS</b> PROJETOS DE ENGENHARIA E-mail: andredomingos89@gmail.com   tlm: (+351) 96 983 61 29</p>	PROJECTO N.º	1.01   1.19
	DESENHO N.º	1.05   E.M.
<p>REQUERENTE: INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA LOCAL DA OBRA: LUMIAR, LISBOA</p>	ESCALAS	1:50 1:20
<p>PROJETO DE ESTABILIDADE DE UM PASSADIÇO FUNDAÇÕES   DIMENSIONAMENTO E BETÃO ARMADO</p>	O TÉCNICO	ANDRÉ DOMINGOS N.º O.E.T.: 24814
<p>DESCRIÇÃO DA OBRA/OBS: CONSTRUÇÃO DE UM PASSADIÇO DE LIGAÇÃO DE DOIS EDIFÍCIOS.</p>	DATA	NOVEMBRO/2019



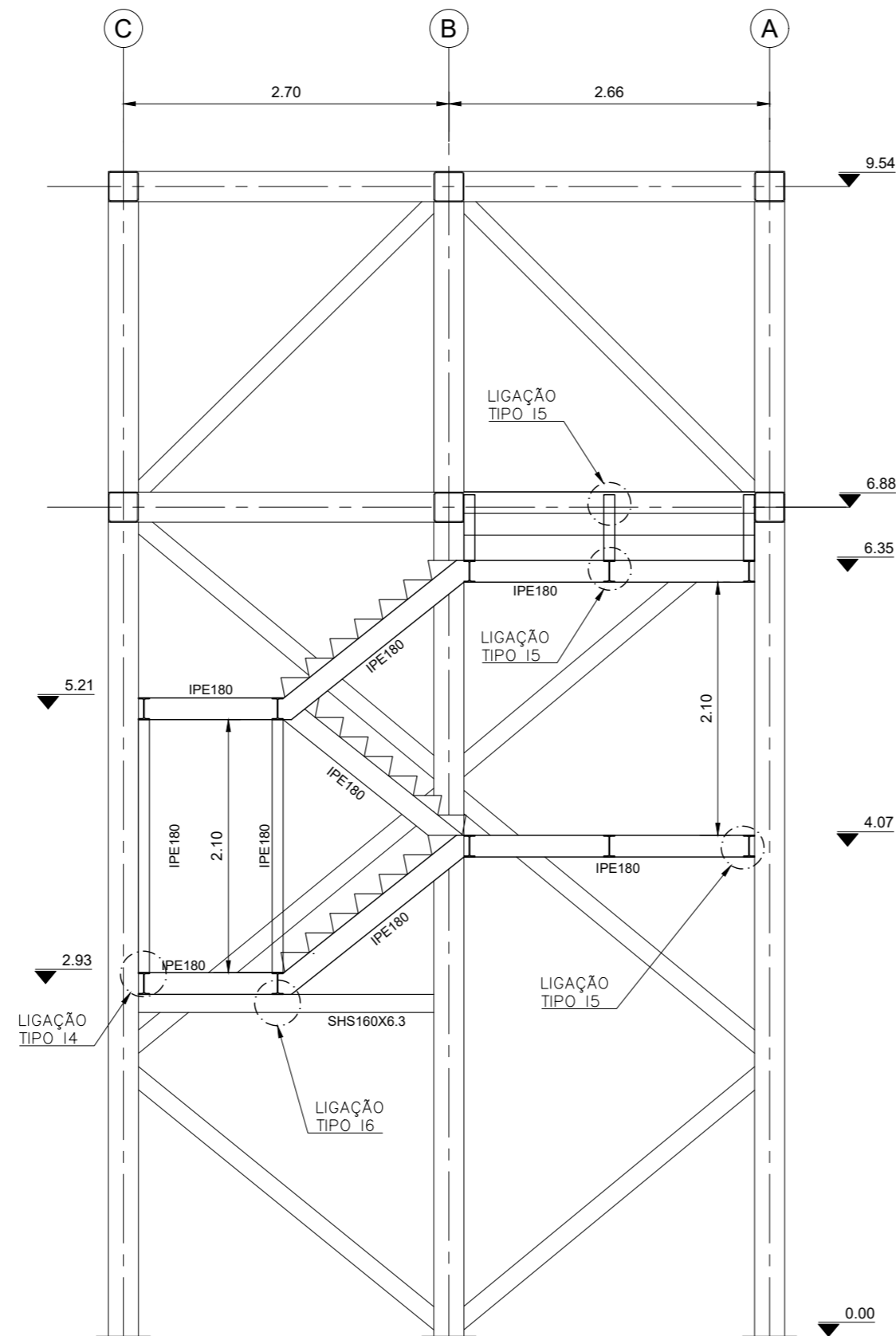
PLANTA ÀS COTAS +5.21, +6.35 E +6.88

Esc. 1:50



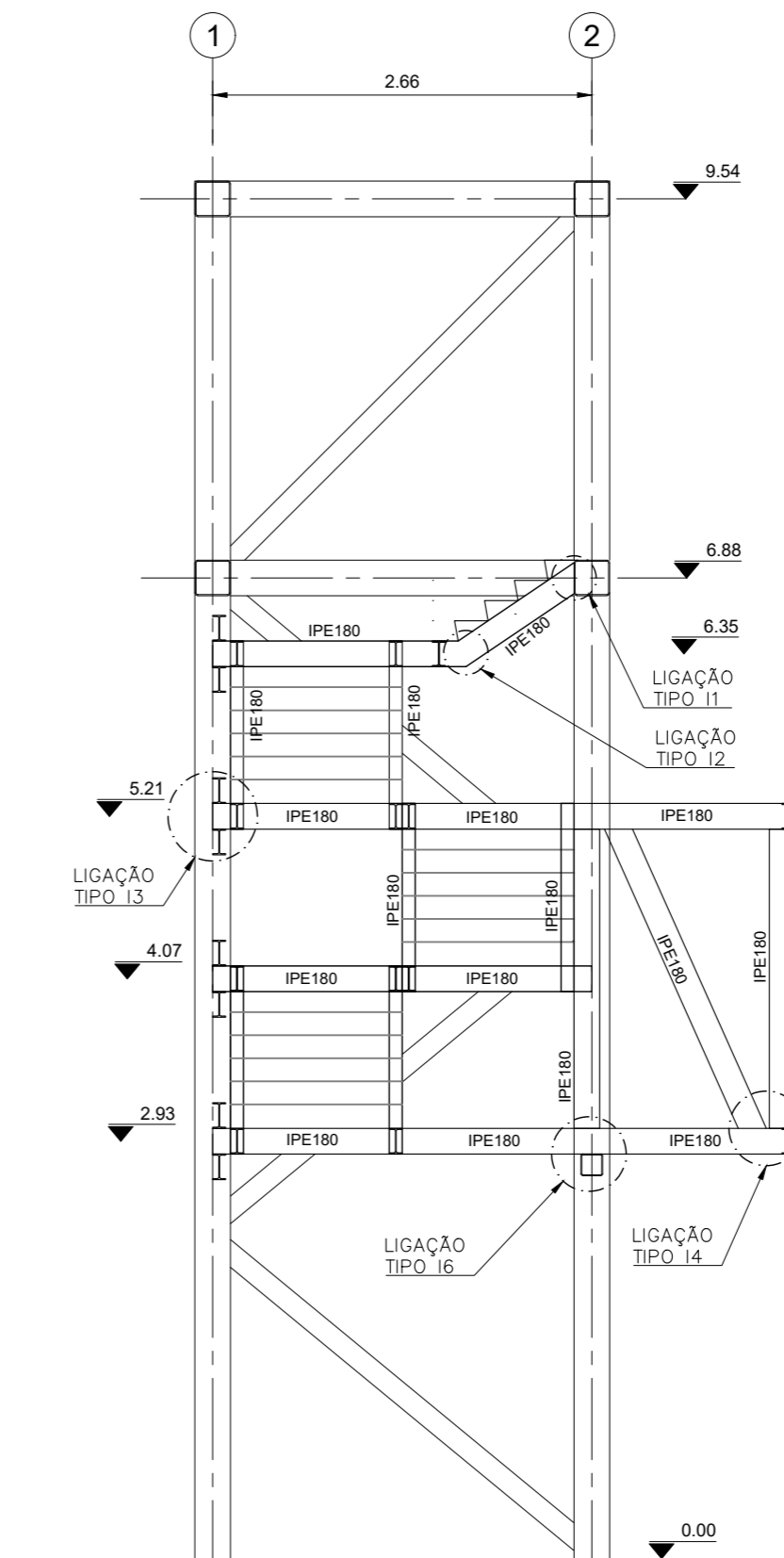
PLANTA ÀS COTA +2.93 E +4.07

Esc. 1:50



CORTE F-F'

Esc. 1:50



CORTE G-G'

Esc. 1:50

QUADRO DE MATERIAIS E NOTAS TÉCNICAS

AÇO (\*):

PERFIS, BARRAS E CHAPAS:  
PARAFUSARIA:

S275 JR  
CLASSE 10.9

(\*): CLASSE DE EXECUÇÃO: EXC2 CONFORME NP EN 1993-1-1:2010/A1

TRATAMENTO ANTI-CORROSÃO DAS SUPERFÍCIES METÁLICAS:

AS SUPERFÍCIES EXTERIORES DAS PEÇAS METÁLICAS SERÃO PROTEGIDAS CONTRA A CORROSÃO ATRAVÉS DA EXECUÇÃO DA SEQUÊNCIA DE TRABALHOS:

- Decapagem mecânica por projeção ao grau SA 2 1/2.
- Uma demão de primário de epoxy rico em pó de zinco (Zn>90%) com 60 micra de espessura.
- Duas demãos de tinta de acabamento epoxídica com induto de poliamida com 2x100 micra de espessura.

AS SUPERFÍCIES QUE FICAM EM CONTACTO COM O BETÃO APLICAR-SE-Á APENAS A DEMÃO DE PRIMÁRIO, APÓS A DECAPAGEM.

CASO SE VENHA A CONSTATAR A EXISTÊNCIA DE VÁRIAS SUPERFÍCIES DE PINTURA DANIFICADAS APÓS A CONCLUSÃO DA MONTAGEM SERÁ APLICADA UMA NOVA DEMÃO GERAL DE TINTA DE ACABAMENTO EM TODA A ESTRUTURA.

OS PARAFUSOS, PORCAS E ANILHAS SERÃO GALVANIZADOS.

MOMENTOS DE APERTO DOS PARAFUSOS:

- M12 - 8 kgf.m
- M16 - 19 kgf.m
- M20 - 37 kgf.m
- M24 - 65 kgf.m
- M27 - 93 kgf.m
- M30 - 121 kgf.m

NOTAS COMPLEMENTARES:

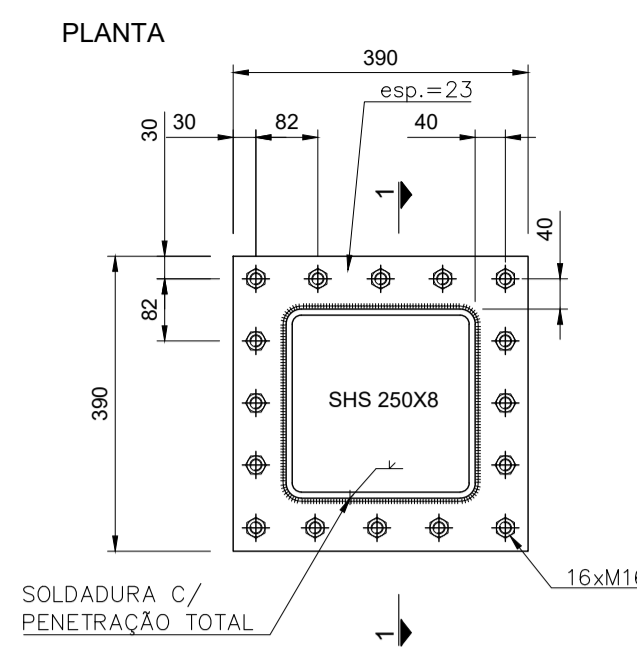
ANTES DE SE INICIAR O FABRICO DAS ESTRUTURAS METÁLICAS O EMPREITEIRO DEVERÁ FAZER CONFIRMAR NO LOCAL AS MARCAS REFERENTES À POSIÇÃO FUTURA DOS PILARES DE SUPORTE DA PONTE PEDONAL DA RESPONSABILIDADE DO EMPREITEIRO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, E VERIFICAR SE EXISTEM ALGUNS PROBLEMAS QUE POSSAM POR EM CAUSA AS MONTAGENS FUTURAS DAS ESTRUTURAS METÁLICAS.

TODAS AS COTAS REFERENTES ÀS CONSTRUÇÕES EXISTENTES DEVERÃO SER CONFIRMADAS NO LOCAL.

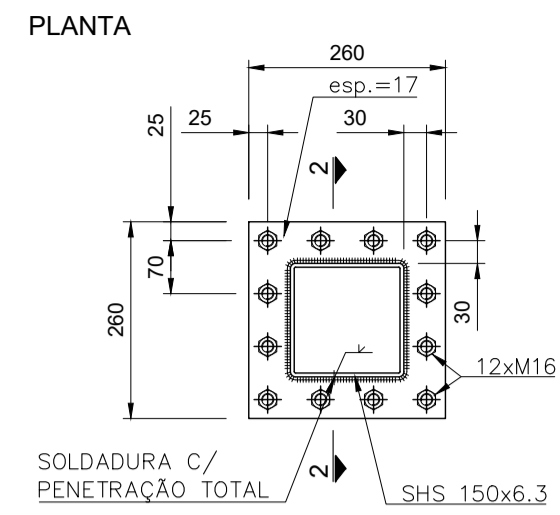
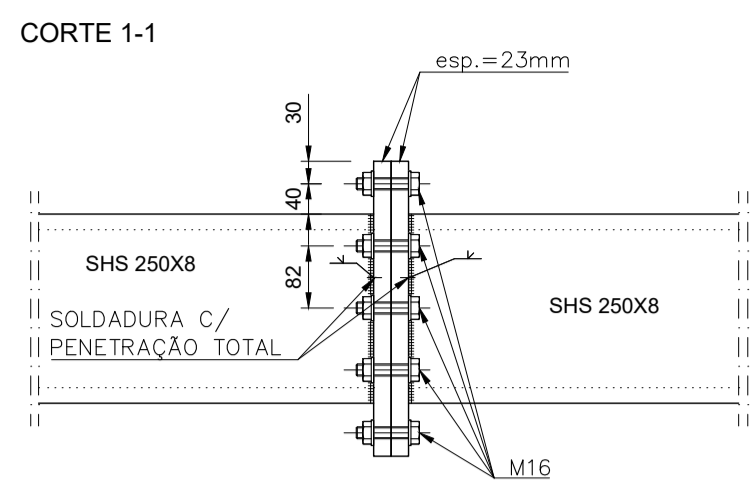
TODOS OS MATERIAIS DEVEM SER VERIFICADOS E RETIFICADOS EM OBRA ANTES DA SUA EXECUÇÃO.

AS COTAS INDICADAS ESTÃO EM METROS.

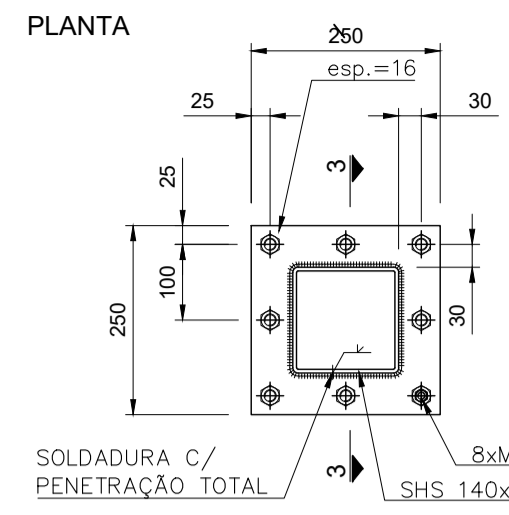
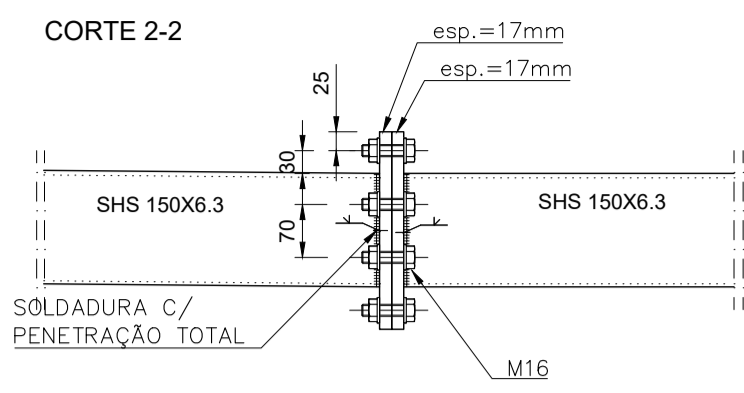
<p><b>ANDRÉ DOMINGOS</b> PROJETOS DE ENGENHARIA E-mail: andredomingos89@gmail.com   tlm: (+351) 96 983 61 29</p>	<p>PROJECTO Nº 1   19</p>
	<p>DESENHO Nº 1   6   E   M</p>
<p>REQUERENTE: INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA LOCAL DA OBRA: LUMIAR, LISBOA</p>	
<p>PROJETO DE ESTABILIDADE DE UM PASSADIÇO CAIXA DE ESCADA - PLANTA E CORTES   DIMENSIONAMENTO</p>	
<p>DESCRIÇÃO DA OBRA/OBS: CONSTRUÇÃO DE UM PASSADIÇO DE LIGAÇÃO DE DOIS EDIFÍCIOS.</p>	<p>DATA NOVEMBRO/2019</p>
<p>ANDRÉ DOMINGOS Nº O.E.T.: 24814</p>	



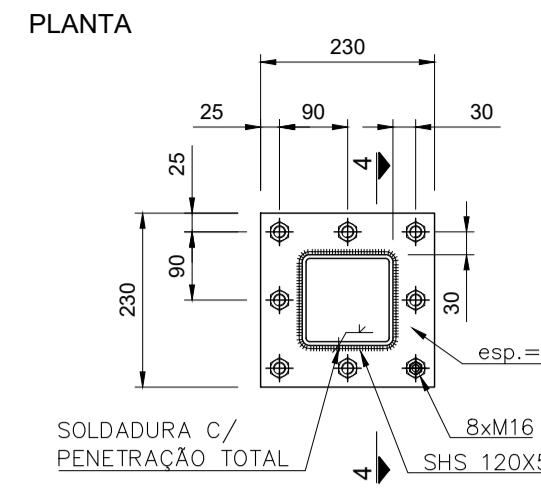
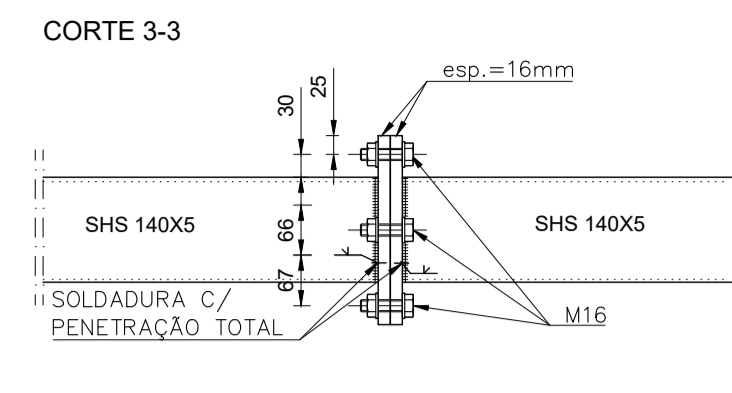
LIGAÇÃO TIPO J1  
Esc. 1:10



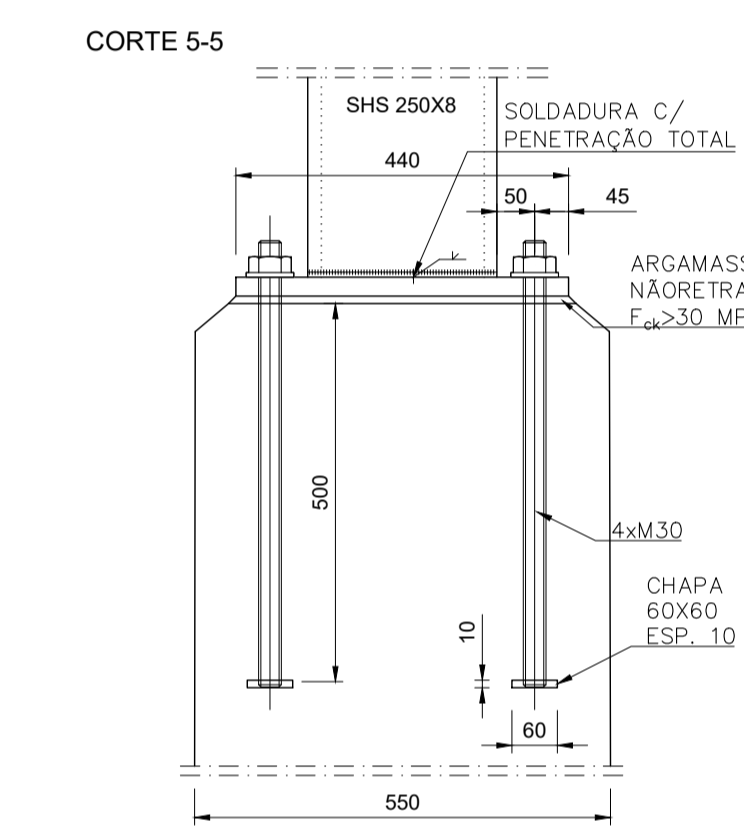
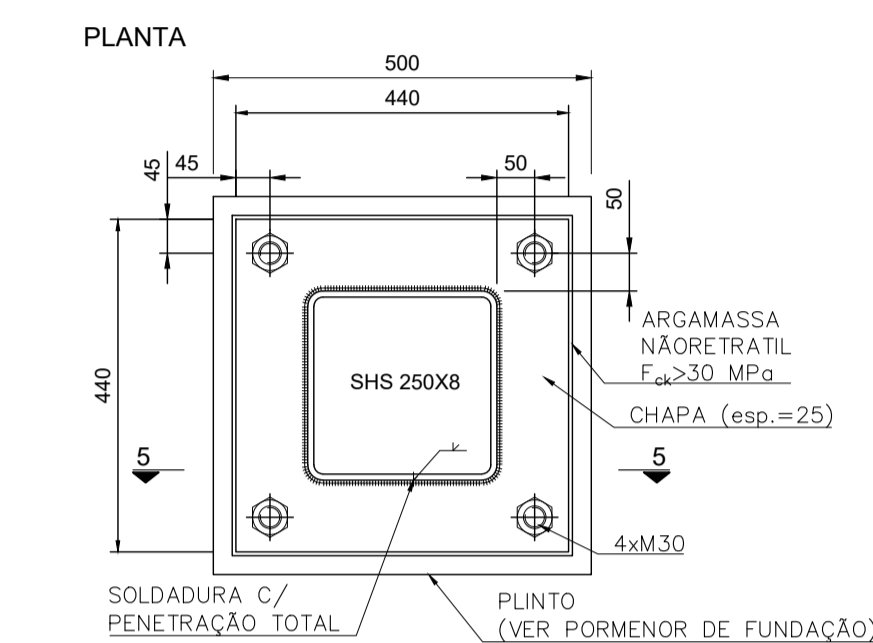
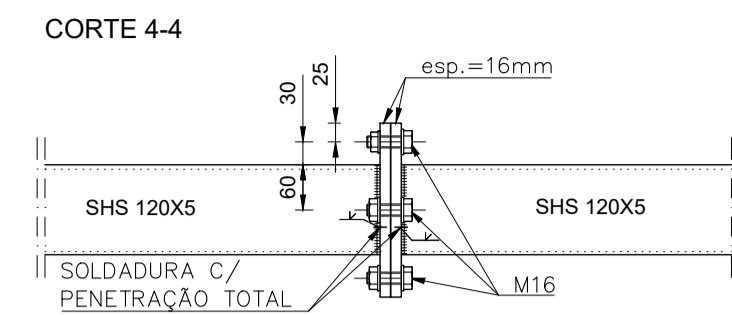
LIGAÇÃO TIPO J2  
Esc. 1:10



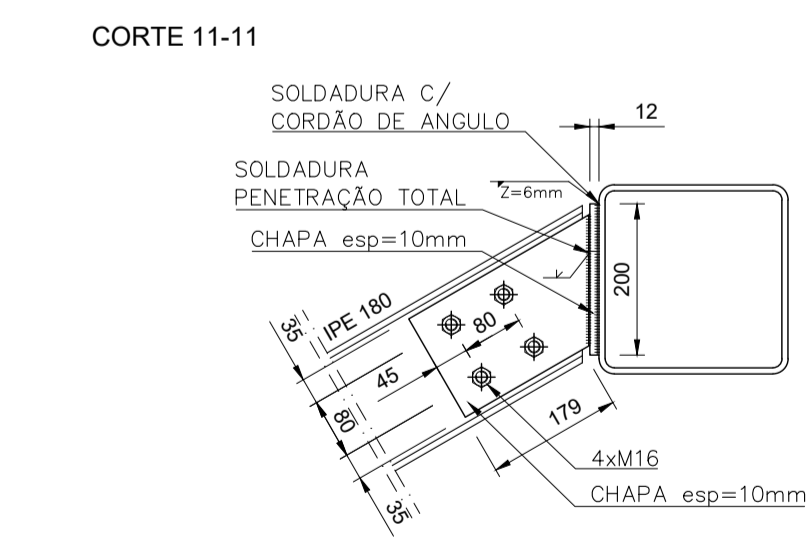
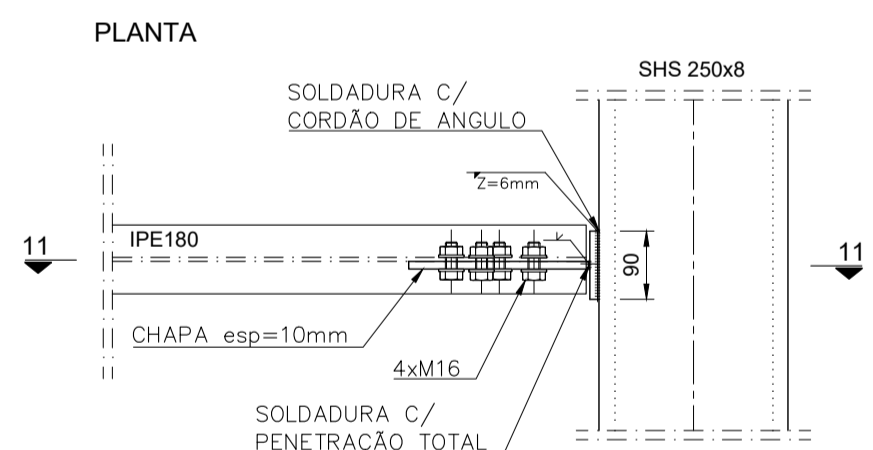
LIGAÇÃO TIPO J3  
Esc. 1:10



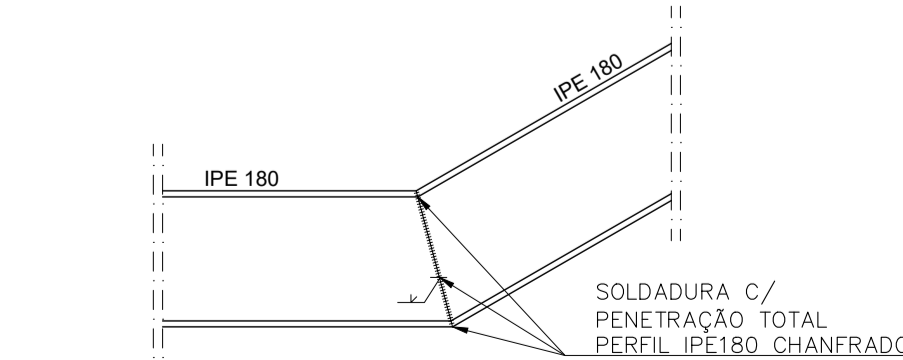
LIGAÇÃO TIPO J4  
Esc. 1:10



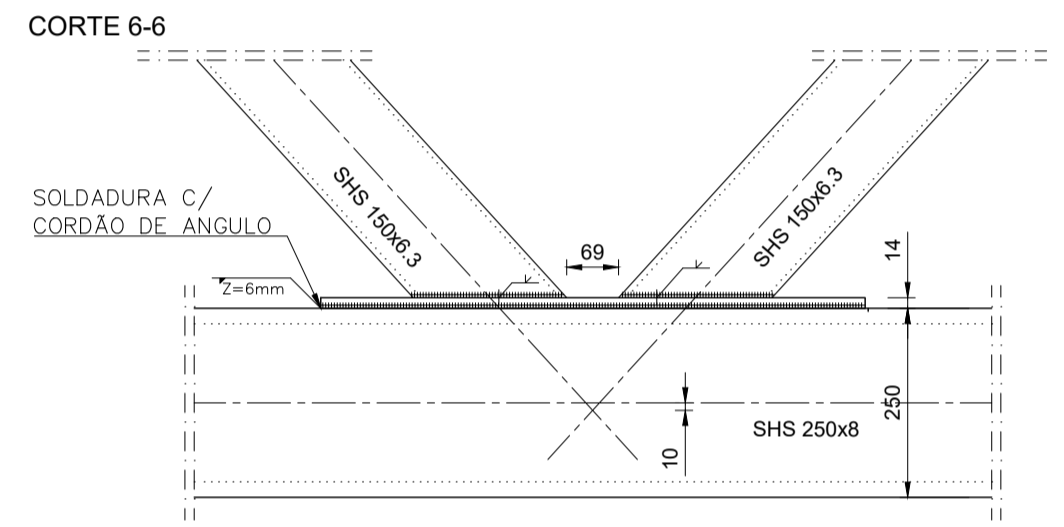
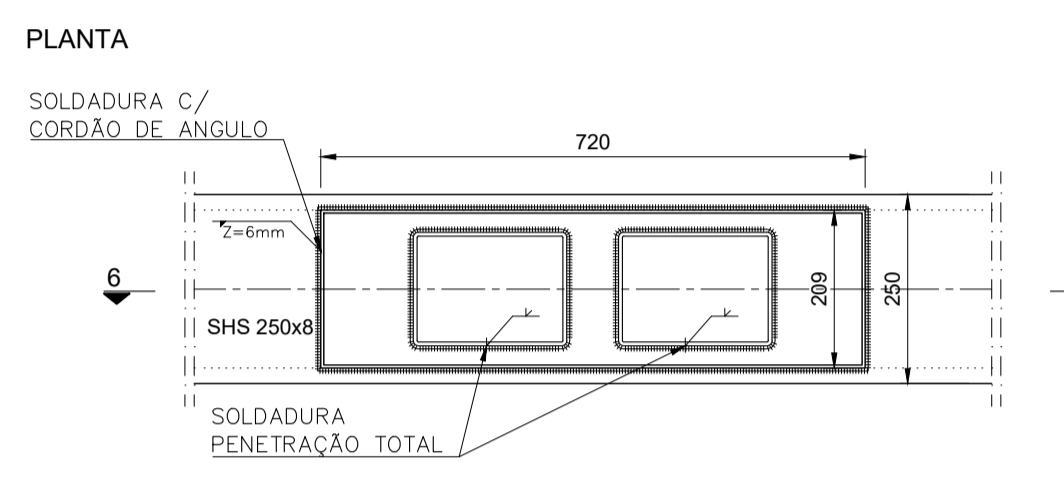
LIGAÇÃO TIPO C-S1 E C-S2  
Esc. 1:10



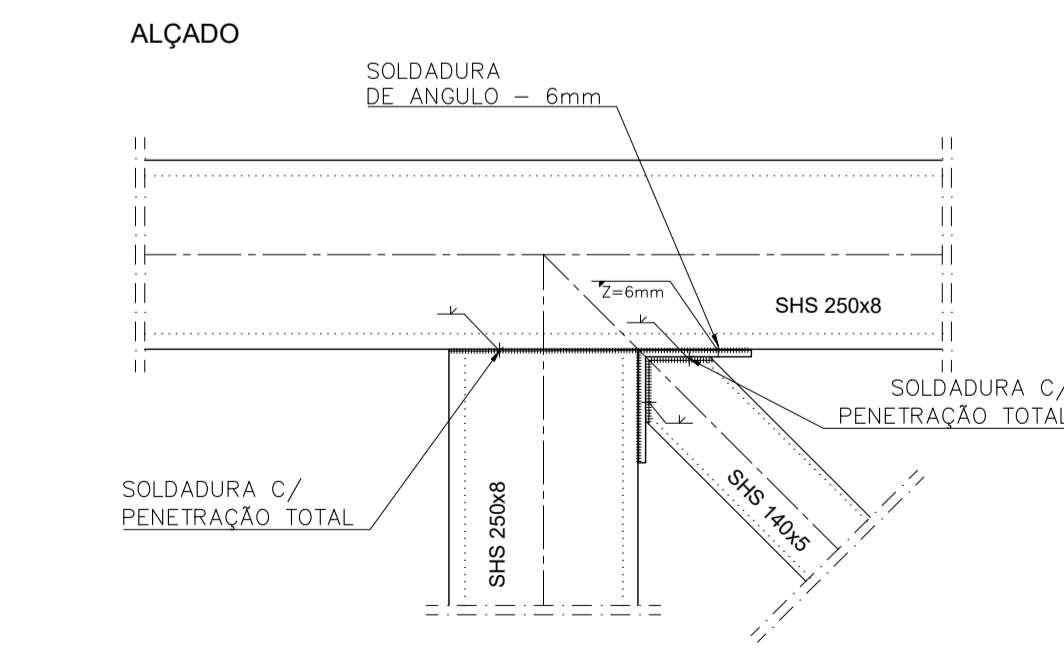
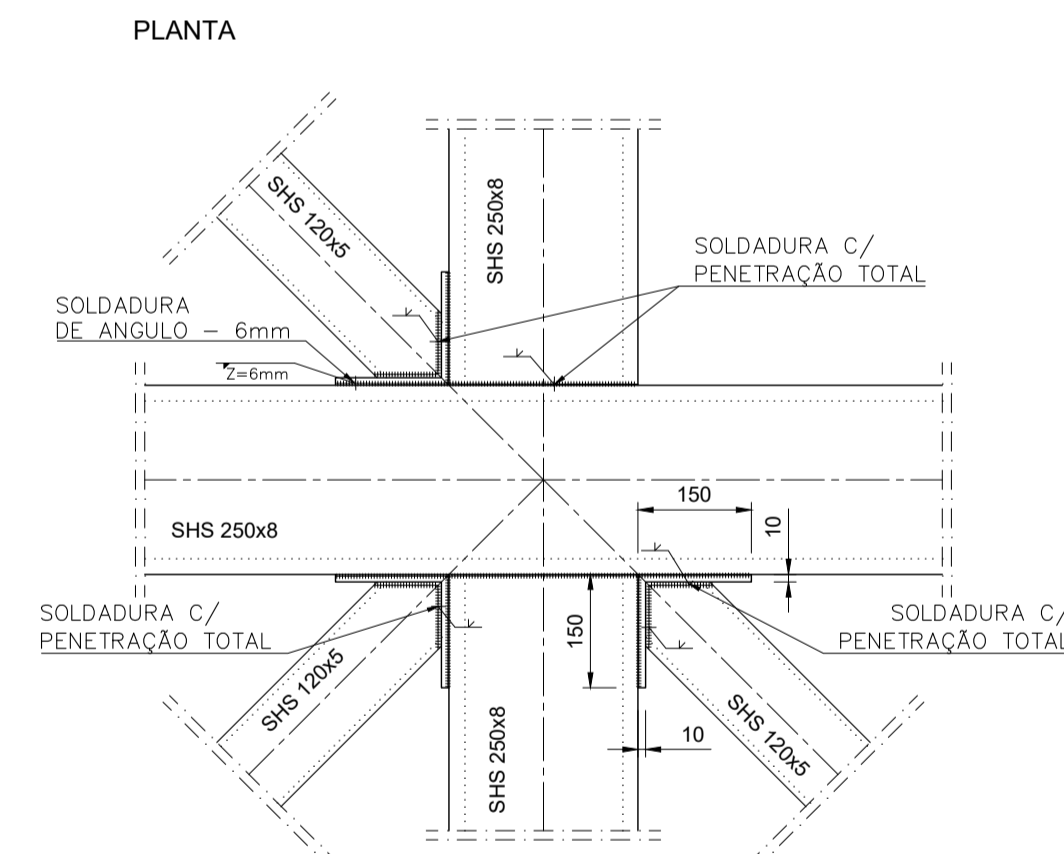
LIGAÇÃO TIPO I1  
Esc. 1:10



LIGAÇÃO TIPO I2  
Esc. 1:10

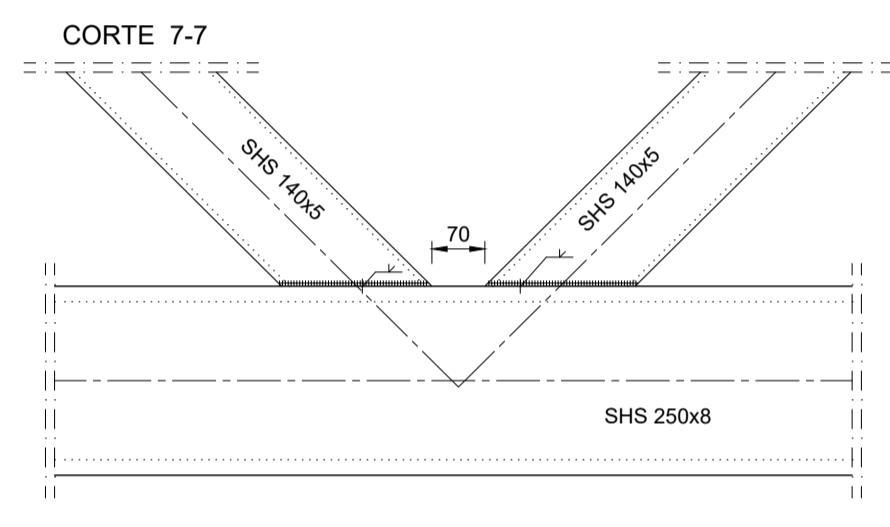
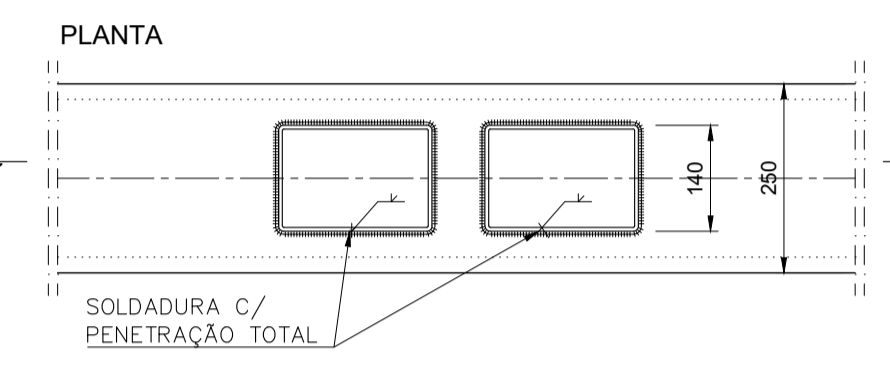


LIGAÇÃO TIPO K1  
Esc. 1:10

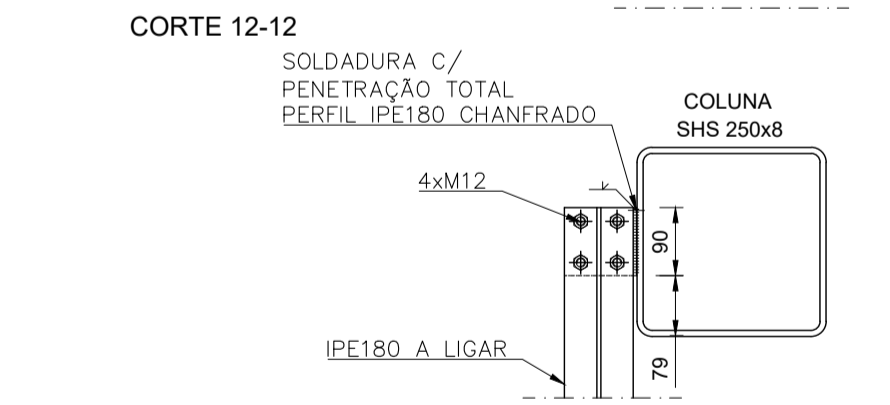
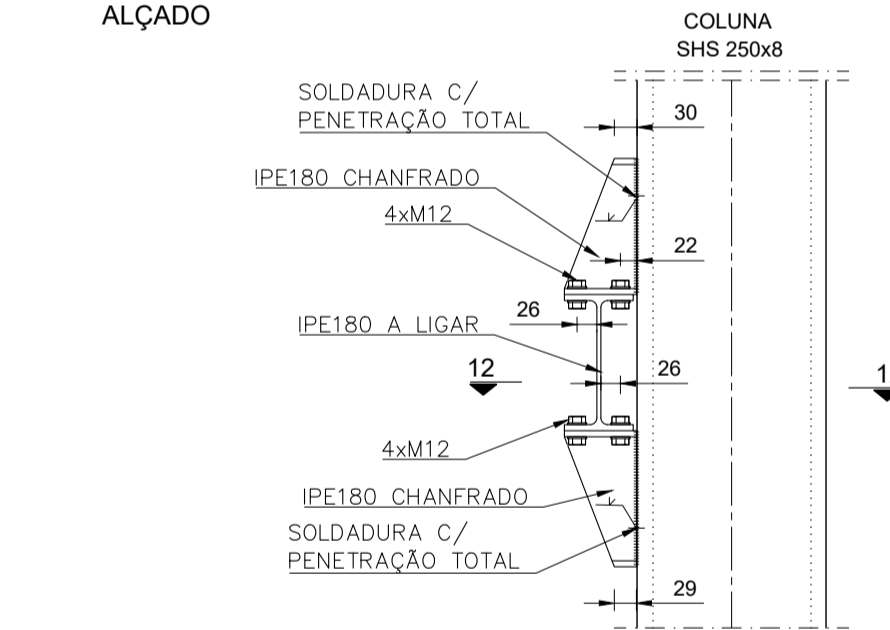


LIGAÇÃO TIPO N1  
Esc. 1:10

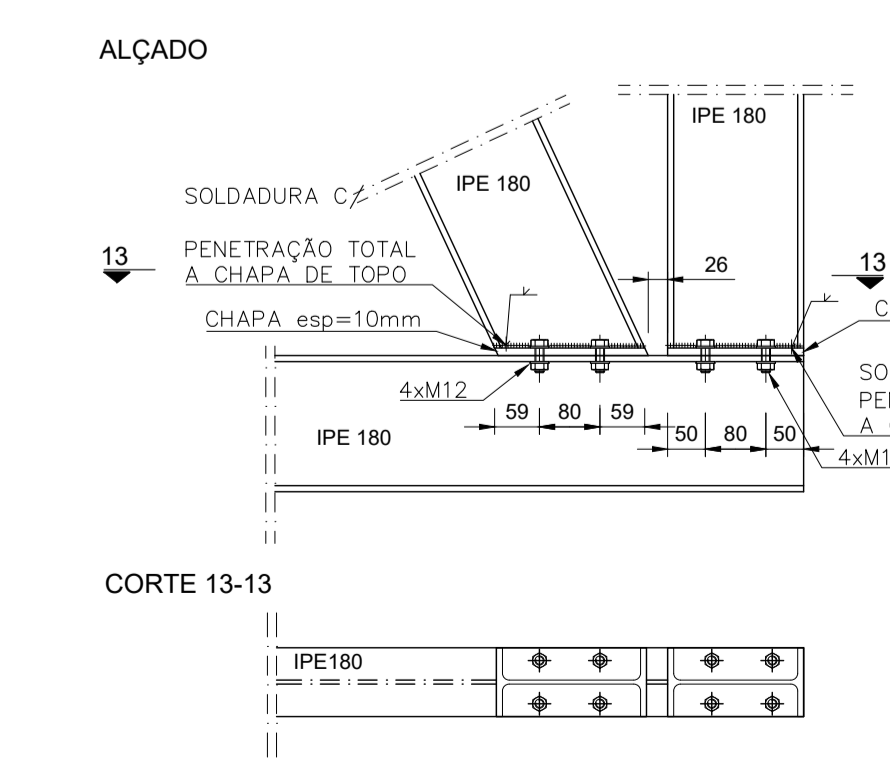
NOTA:  
TODAS AS LIGAÇÕES EM QUE INCLUÍAM PERFIS SHS250x8, SÃO CONSIDERADAS LIGAÇÕES TIPO N1. TODAS AS DIAGONAIS QUE SE INTERSETEM Nesses NÓS DEVEM SER REFORÇADAS COM CHAPA DE 10 mm CONFORME O PORMENOR TIPO.



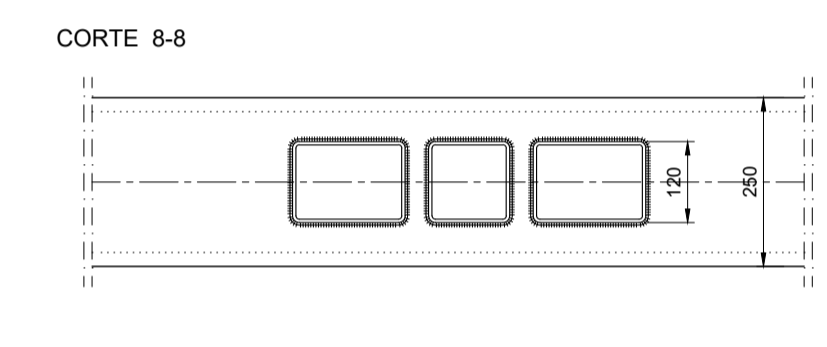
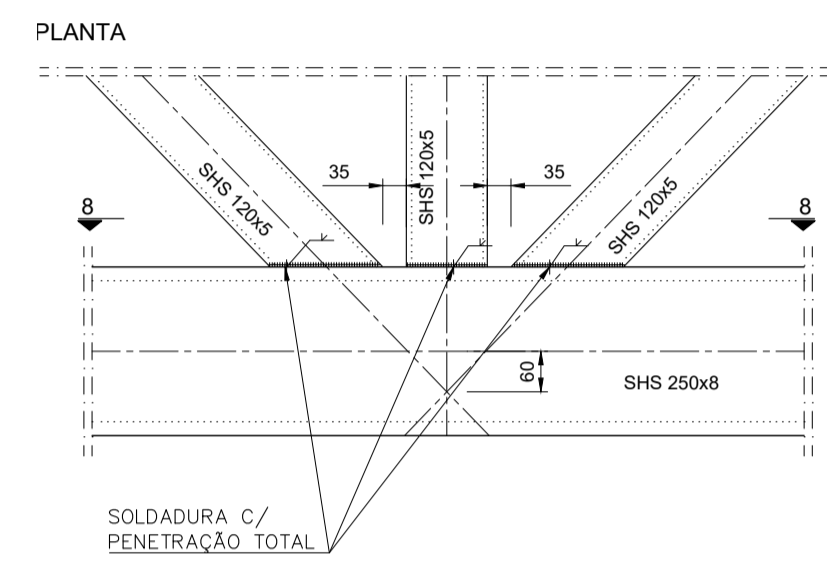
LIGAÇÃO TIPO K2  
Esc. 1:10



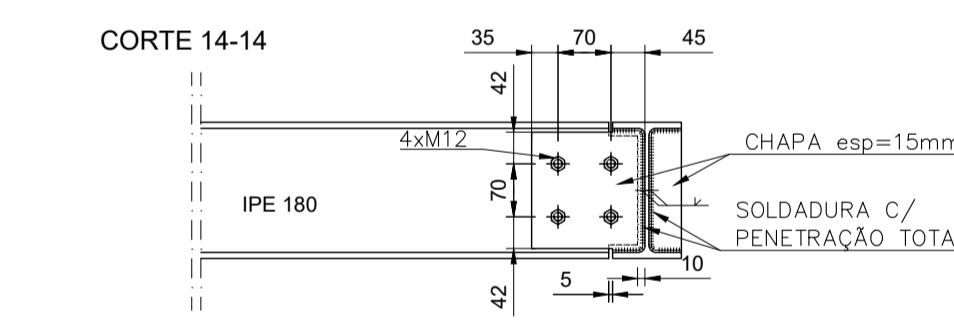
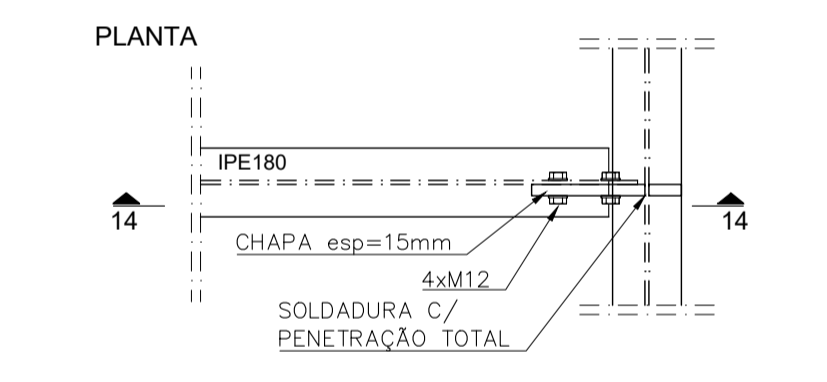
LIGAÇÃO TIPO I3  
Esc. 1:10



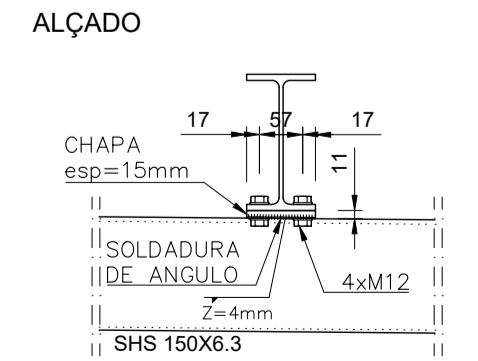
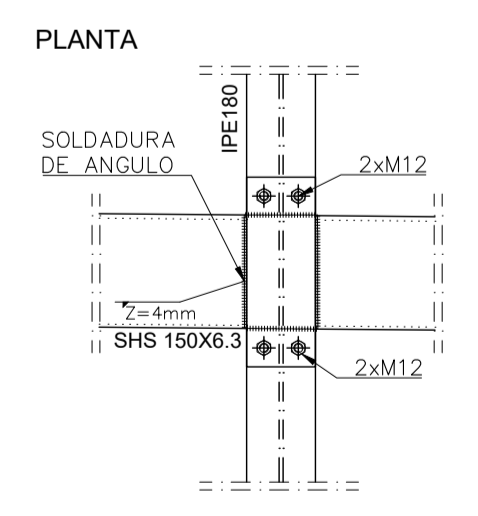
LIGAÇÃO TIPO I4  
Esc. 1:10



LIGAÇÃO TIPO KT1  
Esc. 1:10



LIGAÇÃO TIPO I5  
Esc. 1:10



LIGAÇÃO TIPO I6  
Esc. 1:10

SOLDADURAS			
SIMBOLOGIA	PORMENOR	SIMBOLOGIA	PORMENOR

VERIFICAÇÃO DAS SOLDADURAS: RX por raio "X" / US por ultra-sons

SOLDADURAS EM GERAL: Z = 0.7 da menor espessura das peças a ligar

PREPARAÇÃO E EXECUÇÃO DAS SOLDADURAS SEGUNDO NORMA EM VIGOR

QUADRO DE MATERIAIS E NOTAS TÉCNICAS

AÇO (\*):  
PERFIS, BARRAS E CHAPAS: S275 JR  
PARAFUSARIA: CLASSE 10.9

(\*): CLASSE DE EXECUÇÃO: EXC2 CONFORME NP EN 1090-1:2010/A1

TREATAMENTO ANTI-CORROSÃO DAS SUPERFÍCIES METÁLICAS:

AS SUPERFÍCIES EXTERIORES DAS PEÇAS METÁLICAS SERÃO PROTEGIDAS CONTRA A CORROSÃO ATRAVÉS DA EXECUÇÃO DA SEQUÊNCIA DE TRABALHOS:  
- Decapagem mecânica por projeção ao grau SA 2 1/2.  
- Uma demão de primário de epoxy rico em pó de zinco (Zn>90%) com 60 micra de espessura.  
- Duas demões de tinta de acabamento epoxídica com induto de poliamida com 2x100 micra de espessura.

AS SUPERFÍCIES QUE FICAM EM CONTACTO COM O BETÃO APLICAR-SE-Á APENAS A DEMÃO DE PRIMÁRIO, APÓS A DECAPAGEM.

CASO SE VENHA A CONSTATAR A EXISTÊNCIA DE VÁRIAS SUPERFÍCIES DE PINTURA DANIFICADAS APÓS A CONCLUSÃO DA MONTAGEM SERÁ APLICADA UMA NOVA DEMÃO GERAL DE TINTA DE ACABAMENTO EM TODA A ESTRUTURA.

OS PARAFUSOS, PORCAS E ANILHAS SERÃO GALVANIZADOS.

MOMENTOS DE APERTO DOS PARAFUSOS:

- M12 - 8 kgf.m
- M16 - 19 kgf.m
- M20 - 37 kgf.m
- M24 - 65 kgf.m
- M27 - 93 kgf.m
- M30 - 121 kgf.m

NOTAS COMPLEMENTARES:

ANTES DE SE INICIAR O FABRICO DAS ESTRUTURAS METÁLICAS O EMPREITEIRO DEVERÁ FAZER CONFIRMAR NO LOCAL AS MARCAS REFERENTES À POSIÇÃO FUTURA DOS PILARES DE SUPORTE DA PONTE PEDONAL DA RESPONSABILIDADE DO EMPREITEIRO DE CONSTRUÇÃO CIVIL E VERIFICAR SE EXISTEM ALGUNS PROBLEMAS QUE POSSAM POR EM CAUSA AS MONTAGENS FUTURAS DAS ESTRUTURAS METÁLICAS.

TODAS AS COTAS REFERENTES ÀS CONSTRUÇÕES EXISTENTES DEVERÃO SER CONFIRMADAS NO LOCAL.

TODOS OS MATERIAIS DEVEM SER VERIFICADOS E RETIFICADOS EM OBRA ANTES DA SUA EXECUÇÃO.

AS COTAS INDICADAS ESTÃO EM MILÍMETROS.

	<b>ANDRÉ DOMINGOS</b> PROJETOS DE ENGENHARIA E-mail: andredomingos89@gmail.com   tlm: (+351) 96 983 61 29	PROJECTO Nº 1   1   19
	REQUERENTE: INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA LOCAL DA OBRA: LUMIAR, LISBOA	DESENHO Nº 1   1   7   E   M
PROJETO DE ESTABILIDADE DE UM PASSADIÇO PORMENORES DE LIGAÇÕES METÁLICAS		ESCALAS 1:10 1:5
DESCRIÇÃO DA OBRA/OPERAÇÃO: CONSTRUÇÃO DE UM PASSADIÇO DE LIGAÇÃO DE DOIS EDIFÍCIOS.		DATA NOVEMBRO/2019
ANDRÉ DOMINGOS Nº D.E.T.: 24814		O TÉCNICO