

A – PEÇAS ESCRITAS
III – CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

ÍNDICE DO TEXTO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	QUANTIFICAÇÕES DE AÇOES	3
2.1	Peso Próprio.....	3
2.2	Restantes Cargas Permanentes (RCP)	3
2.2.1	Madres da Cobertura	4
2.2.2	Madres dos Alçados	4
2.2.3	Platibandas.....	5
2.3	Sobrecargas na Cobertura (SC).....	6
2.4	Ação Térmica (T).....	6
2.5	Ação do Vento (W).....	7
2.5.1	Determinação do Coeficiente Estrutural	8
2.5.2	Pressões Dinâmica de Referência e de Pico	8
2.5.3	Coeficientes de Pressões Exteriores e Interiores nos Alçados e na Cobertura.....	9
2.5.3.1	Vento na Direção x	9
2.5.3.2	Vento na Direção y	12
2.5.4	Pressões Resultantes.....	14
2.5.5	Ações do Vento no Modelo.....	15
2.6	Ação Sísmica (E)	20
2.6.1	Combinações da Ação Sísmica	21
3	PRÉ-DIMENSIONAMENTO	25
3.1	Elementos Metálicos.....	25
3.1.1	Pilares e Travessa do Pórtico Central.....	25
3.1.2	Madres da Cobertura	29
3.1.3	Madres dos Alçados	32
3.1.4	Pré-dimensionamento das Platibandas, Pilares Secundários e Travamentos da Cobertura e dos Alçados.....	36
3.2	Elementos de Betão Armado	43
3.2.1	Plintos.....	43
3.2.2	Sapatas.....	43
3.2.3	Vigas de Fundação	45
4	DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA METÁLICA.....	47
4.1	Análise Estrutural	47
4.2	Dimensionamento do Pórtico Central do Pavilhão.....	50
4.2.1	Estados Limites Últimos	50
4.2.1.1	Pilares do Pórtico	51
4.2.1.2	Travessa do Pórtico Central	71
4.2.2	Estados Limites de Utilização	79
4.3	Dimensionamento dos Travamentos, Madres e Platibandas	81
4.3.2	Travamentos	81
4.3.2.1	Dimensionamento	81

4.3.3	Madres da Cobertura	84
4.3.3.1	Dimensionamento	84
4.3.4	Platibandas.....	87
4.3.4.1	Dimensionamento	87
4.3.5	Madres dos Alçados	92
4.3.5.1	Dimensionamento	92
4.4	Ligações Metálicas	99
4.4.2	Ligações Soldadas	99
4.4.3	Ligações Aparafusadas.....	100
4.4.3.1	Ligação de Pilar - Travessa.....	100
4.4.3.2	Ligação Travessa – Travessa	102
4.4.3.3	Ligação base do Pilar Rotulado	103
4.4.3.4	Ligação base do Pilar Encastrado	104
5	DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO.....	105
5.2	Dimensionamento dos Plintos	106
5.2.2	Estados Limites Últimos	107
5.2.2.1	Estado Limite Último de Resistência à Flexão Desviada com Esforço Axial	108
5.2.2.2	Estado Limite Último de Resistência ao Esforço Transverso dos Plintos dos grupos A, B, C e D.....	112
5.2.3	Estados Limites de Utilização	113
5.2.3.1	Estados Limites de Fendilhação.....	113
5.3	Dimensionamento das Vigas de Fundações.....	114
5.3.2	Estados Limites Últimos	115
5.3.2.1	Envoltentes Máximas dos Esforços de Cálculo	115
5.3.2.2	Estado Limite Último de Resistência à Flexão	116
5.3.2.3	Estado Limite de Resistência ao Esforço Transverso	118
5.3.3	Estados Limites de Utilização	120
5.3.3.1	Estado Limite de Deformação	120
5.3.3.2	Estado Limite de Fendilhação.....	122
5.4	Dimensionamento das Sapatas de Fundação	123
5.4.2	Estados Limites Últimos	123
5.4.2.1	Estado Limite Último de Resistência à Rotura por Corte.....	124
5.4.2.2	Cálculo das Armaduras	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Pavilhão - Esquema Extrudido e Unifilar	1
Figura 2.1 – Quadro de Materiais.....	3
Figura 2.2 – Identificação das Madres da Cobertura e Ações.....	4
Figura 2.3 – Identificação das Madres dos Alçados Ações.....	5
Figura 2.4 – Identificação das Platibandas e Ações	5
Figura 2.5 – Identificação das Madres da Cobertura e Ações.....	6
Figura 2.6 – Variações Uniformes de Temperatura: a) Máxima positiva; b) Máxima negativa	7
Figura 2.7 – Vista em planta do Pavilhão	7
Figura 2.8 – Vista do Alçado Lateral	8
Figura 2.9 – Vista do Alçado de Topo	8
Figura 2.10 – Coeficientes de Pressões Exteriores nos Alçados na Direção x	9
Figura 2.11 – Coeficientes de Pressões Exteriores na Cobertura na Direção x	10
Figura 2.12 – Coeficientes de Pressões Interiores nos Alçados e na Cobertura na Direção x .	10
Figura 2.13 – Coeficientes de Pressões Exteriores nos Alçados na Direção y	12
Figura 2.14 – Coeficientes de Pressões Exteriores na Cobertura na Direção y	12
Figura 2.15 – Coeficientes de Pressões Interiores nos Alçados e na Cobertura na Direção y .	13
Figura 2.16 – Identificação das Platibandas e Ação do vento na Direção W_x	16
Figura 2.17 – Identificação das Platibandas e Ação do vento na Direção W_{x1}	16
Figura 2.18 – Identificação das madres e Ação do vento na direção W_x	16
Figura 2.19 – Identificação das Madres e Ação do vento na direção W_{x1}	16
Figura 2.20 – Identificação das Madres da Cobertura e Ação do vento na Direção W_x	17
Figura 2.21 – Identificação das Madres da Cobertura e Ação do vento na Direção W_{x1}	17
Figura 2.22 – Identificação das Platibandas e Ação do vento na Direção W_y	18
Figura 2.23 – Identificação das Platibandas e Ação do vento na Direção W_{y1}	18
Figura 2.24 – Identificação das Madres e Ação do vento na Direção W_y	19
Figura 2.25 – Identificação das Madres e Ação do vento na Direção W_y	19
Figura 2.26 – Identificação da Madres e Ação do vento na Direção W_{y1}	20
Figura 2.27 – Espectros de Cálculo para Ação Sísmica do Tipo 1 e do Tipo 2.....	21
Figura 2.28 – Modo de vibração 1	23
Figura 2.29 – Modo de vibração 7	23
Figura 2.30 – Modo de vibração 12	24
Figura 2.31 – Modo de vibração 34	24
Figura 3.1 – Geometria do Pórtico Central	25
Figura 3.2 – Ações	25
Figura 3.3 – Abacos de pré-dimensionamento dos Pilares segundo a expressão 1	27
Figura 3.4 – Ábacos de pré-dimensionamento dos Pilares segundo a expressão 2	27
Figura 3.5 – Abacos de pré-dimensionamento da Travessa segundo a expressão 3.1	28
Figura 3.6 – Abacos de pré-dimensionamento da Travessa segundo a expressão 3.2.....	28
Figura 3.7 – Deslocamentos máximos nos Pilares e na Travessa	29
Figura 3.8 – Modelo das Madres da Cobertura.....	29

Figura 3.9 – Ábacos de Pré-dimensionamento/Dimensionamento dos Cordões das Madres da Cobertura.....	31
Figura 3.10 – Ábacos de Pré-dimensionamento/Dimensionamento das Diagonais das Madres da Cobertura.....	31
Figura 3.11 – Madres dos Alçados - Vista em 3D.....	32
Figura 3.12 – Vão das Madres dos Alçados - Vista em Planta.....	32
Figura 3.13 – Ábacos do pré-dimensionamento da resistência das seções transversais das Madres dos Alçados.....	34
Figura 3.14 – Flecha máxima de uma viga simplesmente apoiada.....	34
Figura 3.15 – Ábaco do pré-dimensionamento das Madres dos Alçados.....	35
Figura 3.16 – Ábacos do pré-dimensionamento das Madres dos Alçados.....	35
Figura 3.17 – Ábacos do pré-dimensionamento dos Cordões $N_{b,Rd,y}$	37
Figura 3.18 – Ábacos de Pré-dimensionamento dos Cordões $N_{bRd,z}$	37
Figura 3.19 – Ábacos do pré-dimensionamento dos Prumos $N_{b,Rd,y}$	38
Figura 3.20 – Ábacos de pré-dimensionamento dos prumos $N_{b,Rd,z}$	38
Figura 3.21 – Ábacos de pré-dimensionamento dos Diagonais $N_{b,Rd,u}$	39
Figura 3.22 – Ábacos de pré-dimensionamento dos Diagonais $N_{b,Rd,v}$	39
Figura 3.23 – Ábacos de pré-dimensionamento dos Pilares $N_{b,Rd,y}$	40
Figura 3.24 – Ábacos de pré-dimensionamento dos Pilares $N_{b,Rd,z}$	40
Figura 3.25 – Ábacos de pré-dimensionamento dos Pilares $N_{b,Rd,y}$	41
Figura 3.26 – Ábacos do Pré-dimensionamento dos pilares $N_{bRd,z}$	41
Figura 3.27 – Ábacos de Pré-dimensionamento dos perfis Tubulares quadrados $N_{bRd,y}$ e $N_{bRd,z}$	42
Figura 3.28 – Plinto Tipo de suporte de um dos Pilares metálicos do Pavilhão.....	43
Figura 3.29 – Definição da altura das sapatas rígidas.....	44
Figura 3.30 – Planta com as dimensões das Sapatas.....	44
Figura 4.1 – Pórtico do Pavilhão.....	50
Figura 4.2 – Identificação das Barras e Rácios.....	50
Figura 4.3 – Diagrama dos esforços de cálculo no pilar para a combinação de ações condicionante.....	51
Figura 4.4 – Folha de Dimensionamento para as seções e troços do Pilar (IPE270).....	53
Figura 4.5 – Comprimentos Críticos da Encurvadura.....	54
Figura 4.6 – Travamentos de Pilar no Plano zy.....	54
Figura 4.7 – Ações para a combinação condicionantes – $M_{yEd} + N_{Ed}$	54
Figura 4.8 – Folha de Dimensionamento do software "A3C" do Pilar para o Perfil IPE270, para a Combinação condicionantes ao E.L.U (cont.).....	56
Figura 4.9 – Folha de Dimensionamento do software "A3C" do Pilar para o Perfil IPE270, para a Combinação condicionantes ao E.L.U (cont.).....	57
Figura 4.10 – Folha de Dimensionamento do software "A3C" do Pilar para o Perfil IPE270, para a Combinação condicionantes ao E.L.U (cont.).....	58
Figura 4.11 – Diagrama dos esforços de cálculo para a combinação ELU_SC (Temp_ Wxx1).....	71

Figura 4.12 – Diagrama dos esforços de cálculo para a combinação ELU_SC (Temp- _{Wxx1})	71
Figura 4.13 – Deformação dos Pórticos dos Alinhamentos I, II e III	79
Figura 4.14 – Deformação dos Pórticos dos Alçados Laterais	80
Figura 4.15 – Vista da Estrutura com a localização dos Travamentos	81
Figura 4.16 – Rácios das barras dos Travamentos	81
Figura 4.17 – Identificação das barras dos Travamentos dos Alçados das Empenas	82
Figura 4.18 – Identificação das barras dos Travamentos dos Alçados das Laterais	82
Figura 4.19 – Identificação das barras dos Travamentos da Cobertura	82
Figura 4.20 – Madres da Cobertura.....	84
Figura 4.21 – Geometria e identificação das barras das Madres de Cobertura.....	84
Figura 4.22 – Deslocamentos máximos nas Madres da Cobertura	86
Figura 4.23 – Platibandas	87
Figura 4.24 – Geometria e identificação das barras das Platibandas dos Alçados Laterais.....	87
Figura 4.25 – Geometria e identificação das barras das Platibandas dos Alçados das Empenas	87
Figura 4.26 – Deformação das Platibandas	91
Figura 4.27 – Madres dos Alçados.....	92
Figura 4.28 – Madres dos Alçados na zona dos Portões	92
Figura 4.29 – Madres dos Alçados na zona oposta aos Portões.....	92
Figura 4.30 – Madres dos Alçados das Empenas.....	93
Figura 4.31 – Deformação das Madres dos Alçados.....	98
Figura 4.32 – Dimensionamento de Cordões de Soldadura em Aço S235 JR.....	99
Figura 4.33 – Pormenor de ligação Pilar - Travessa	100
Figura 4.34 – Pormenor de ligação Travessa - Travessa.....	102
Figura 4.35 – Pormenor de ligação da base do pilar rotulado.....	103
Figura 4.36 – Pormenor de ligação da base do pilar Encastrado	104
Figura 5.1 – Planta de Fundações.....	105
Figura 5.2 – Identificação dos Plintos	106
Figura 5.3 – Características dos Materiais	107
Figura 5.4 – Ábacos de Flexão Desviada com Esforço Axial dos Plintos do Grupo A.....	108
Figura 5.5 – Ábacos de Flexão Desviada com Esforço Axial dos Plintos do Grupo B	109
Figura 5.6 – Ábacos de Flexão Desviada com Esforço Axial dos Plintos do Grupo C	110
Figura 5.7 – Ábacos de Flexão Desviada com Esforço Axial dos Plintos do Grupo D.....	111
Figura 5.8 – Identificação das Vigas de Fundação.....	114
Figura 5.9 – Envolvente dos diagramas Myy.....	115
Figura 5.10 – Envolvente dos diagramas Vzz.....	115
Figura 5.11 – Sapatas de Fundação	123

INDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Peso das Chapas e Acessórios de ligações	4
Tabela 2.2 – Peso das Chapas e Acessórios de ligações	4
Tabela 2.3 – Peso das Chapas e Acessórios nas Platibandas	5
Tabela 2.4 – Sobrecargas nas Madres da Cobertura	6
Tabela 2.5 – Variações Uniformes de Temperatura.....	6
Tabela 2.6 – Pressão Dinâmica de Referência	8
Tabela 2.7 – Pressão Dinâmica de Pico	9
Tabela 2.8 – Coeficientes de Pressões Exteriores e Interiores nos Alçados na Direção x.....	11
Tabela 2.9 – Coeficientes de Pressões Exteriores e Interiores no Cobertura na Direção x	11
Tabela 2.10 – Coeficientes de Pressões Exteriores e Interiores nos Alçados na Direção y.....	13
Tabela 2.11 – Coeficientes de Pressões Exteriores e Interiores na Cobertura na Direção y....	13
Tabela 2.12 – Pressões nos Alçados na Direção x	14
Tabela 2.13 – Pressões na Cobertura na Direção x	14
Tabela 2.14 – Pressões nos Alçados na Direção y	14
Tabela 2.15 – Pressões na Cobertura na Direção y	15
Tabela 2.16 – Ação do Vento W_x e W_{x1} nas Madres dos Alçados e nas Platibandas.....	15
Tabela 2.17 – Ação do Vento W_x e W_{x1} nas Madres da Cobertura	17
Tabela 2.18 – Ação do Vento W_y e W_{y1} nas Madres dos Alçados e nas Platibandas.....	18
Tabela 2.19 – Ação do Vento W_y e W_{y1} nas Madres da Cobertura	19
Tabela 2.20 – Parâmetros dos Espectros de Cálculo da Ação Sísmica Tipo 1 e Tipo 2.....	20
Tabela 2.21 – Parâmetros dos Espectros de Cálculo da Ação Sísmica Tipo 1 e Tipo 2.....	23
Tabela 2.22 – Somatório da participação Modal na Estrutura para 150 Modos de Vibração..	23
Tabela 3.1 – Esforços Máximos de Cálculo nos Pilares e na Travessa	26
Tabela 3.2 – Esforços Máximos de Cálculo nas Madres dos Alçados.....	32
Tabela 3.3 – Esqueleto Estrutural Secundário - Perfis.....	36
Tabela 3.4 – Dimensões dos Plintos.....	43
Tabela 3.5 – Pré-dimensionamento das sapatas	45
Tabela 3.6 – Pré-dimensionamento das Vigas de Fundação	45
Tabela 4.1 – Parâmetros " α_{cr} " do Pórtico Central	48
Tabela 4.2 – Parâmetros " α_{cr} " do Pórtico Central (cont.).....	49
Tabela 4.3 – Rácios das Barras do Pórtico Central	51
Tabela 4.4 – Esforços de Cálculo no Pilar para a combinação de ações condicionantes.....	52
Tabela 4.5 – Características Gerais	59
Tabela 4.6 – Características da Secção do Perfil	59
Tabela 4.7 – Esforços de Cálculo da Combinação Condicionante e Esforços Resistentes.....	59
Tabela 4.8 – Verificação da Secção Transversal mais solicitada M_{yEd} , M_{zEd} , V_{yEd} e V_{zEd} (Esforços isolados)	60
Tabela 4.9 – Verificação da Secção Transversal mais solicitada $M_{yEd}+V_{zEd}$ e $M_{zEd} + V_{yEd}$ (Esforços Combinados)	60
Tabela 4.10 – Verificação da Secção Transversal mais solicitada $N_{Ed} + M_{yEd}$ (Esforços combinados).....	61

Tabela 4.11 – Verificação da Secção Transversal mais solicitada $N_{Ed} + M_{zEd} + M_{zEd}$ (Esforços combinados)	61
Tabela 4.12 – Verificação da Secção mais solicitada $N_{Ed} + M_{yEd} + V_{zEd}$ (Esforços combinados)	62
Tabela 4.13 – Verificação da Secção mais solicitada $N_{Ed} + M_{zEd} + V_{yEd}$ (Esforços combinados)	62
Tabela 4.14 – Verificação da Encurvadura por Compressão $N_{bRd,y}$	63
Tabela 4.15 – Verificação da Encurvadura por Compressão $N_{bRd,z}$ (Troço 1).....	63
Tabela 4.16 – Verificação da Encurvadura por Compressão $N_{bRd,z}$ (Troço 2).....	63
Tabela 4.17 – Verificação da Encurvadura por Flexão $M_{bRd,y}$ (Troço 1).....	64
Tabela 4.18 – Verificação da Encurvadura por Flexão $M_{bRd,y}$ (Troço 2).....	64
Tabela 4.19 – Verificação à Flexão Composta com Compressão – Colunas-Viga.....	65
Tabela 4.20 – Verificação à Flexão Composta com Compressão – Colunas-Viga (Troço 1) .	65
Tabela 4.21 – Verificação à Flexão Composta com Compressão – Colunas-Viga (Troço 2) .	65
Tabela 4.22 – Verificação à Flexão Composta com Compressão – Colunas-Viga (Troço 1) .	66
Tabela 4.23 – Verificação à Flexão Composta com Compressão – Colunas-Viga (Troço 2) .	66
Tabela 4.24 – Comparação dos Rácios de dimensionamento das Seções.....	67
Tabela 4.25 – Comparação da Resistência à Encurvadura por Compressão	67
Tabela 4.26 – Rácios Comparativos da Resistência à Encurvadura por Compressão	68
Tabela 4.27 – Comparação dos coeficientes C1 e Momentos Críticos (Troços 1e 2)	68
Tabela 4.28 – Resistência da Encurvadura por Flexão (Troços 1 e 2).....	68
Tabela 4.29 – Rácios Comparativos da Resistência à Encurvadura por Flexão (Troço 1).....	69
Tabela 4.30 – Rácios Comparativos da Resistência à Encurvadura por Flexão (Troço 2).....	69
Tabela 4.31 – Coeficientes de Momentos Uniformes Equivalentes (Troço 1).....	69
Tabela 4.32 – Coeficientes de Momentos Uniformes Equivalentes (Troço 2).....	69
Tabela 4.33 – Comparação dos Fatores de Interação kij (Troço 1)	70
Tabela 4.34 – Comparação dos Fatores de Interação kij (Troço 2)	70
Tabela 4.35 – Comparação dos Rácios de Dimensionamento de Coluna-Viga (Troço 1).....	70
Tabela 4.36 – Comparação dos Rácios de Dimensionamento de Coluna-Viga (Troço 2).....	70
Tabela 4.37 – Esforços de Cálculo da Secção da Travessa mais solicitada.....	72
Tabela 4.38 – Rácios do "Sap".....	73
Tabela 4.39 – Características Gerais	75
Tabela 4.40 – Características da seção do Perfil.....	76
Tabela 4.41 – Esforços de Cálculo da Combinação condicionante e Esforços Resistentes.....	76
Tabela 4.42 – Verificação da Seção Transversal mais solicitada M_{yEd} , M_{zEd} , V_{yEd} e V_{zEd} (Esforço Isolados)	76
Tabela 4.43 – Verificação da Seção Transversal mais solicitada $M_{yEd} + V_{zEd}$ e $M_{zEd} + V_{yEd}$ (Esforço Isolados)	77
Tabela 4.44 – Verificação da Encurvadura por Flexão (Bambeamento).....	77
Tabela 4.45 – Rácios de dimensionamento das Seções mais solicitadas	78
Tabela 4.46 – Comparação dos Momentos Críticos na Travessa	78
Tabela 4.47 – Resistência da Encurvadura por Flexão no troço mais desfavorável	78
Tabela 4.48 – Rácios comparativos da Resistência à Encurvadura por Flexão	78

Tabela 4.49 – Deslocamentos Máximos dos Pórticos dos Alinhamentos I, II e III.....	79
Tabela 4.50 – Deslocamentos máximos dos Pórticos dos Alinhamentos A e C.....	80
Tabela 4.51 – Dimensionamento dos Travamentos dos Pórticos dos Alçados e da Cobertura	83
Tabela 4.52 – Dimensionamento das barras das Madres da Cobertura	85
Tabela 4.53 – Deslocamentos máximos nas Madres da Cobertura.....	86
Tabela 4.54 – Dimensionamento das Diagonais e Prumos das Platibandas dos Alçados Laterais e das Empenas	88
Tabela 4.55 – Dimensionamento dos Cordões Superiores e Inferiores das Platibandas dos Alçados Laterais e das Empenas	89
Tabela 4.56 – Dimensionamento dos Cordões Superiores e Inferiores das Platibandas dos Alçados Laterais e das Empenas (cont.).....	90
Tabela 4.57 – Deslocamentos máximos das Platibandas	91
Tabela 4.58 – Características Gerais das barras das Madres.....	93
Tabela 4.59 – Características Gerais das barras das Madres (cont.)	94
Tabela 4.60 – Características dos perfis das Madres	95
Tabela 4.61 – Esforços Atuantes e Resistentes de Cálculo e Verificação das Secções à Flexão Desviada (cont.)	96
Tabela 4.62 – Esforços Atuantes e Resistentes de Cálculo e Verificação das Secções à Flexão Desviada (cont.)	97
Tabela 4.63 – Deslocamentos Máximos das Madres dos Alçados	98
Tabela 5.1 – Geometria dos Plintos	106
Tabela 5.2 – Armaduras longitudinais dos Plintos do Grupo A.....	108
Tabela 5.3 – Armaduras Longitudinais dos Plintos do Grupo B	109
Tabela 5.4 – Armaduras longitudinais dos Plintos do Grupo C.....	110
Tabela 5.5 – Armaduras Longitudinais dos Plintos do Grupo D	111
Tabela 5.6 – Dimensionamento das Armaduras Transversais	112
Tabela 5.7 – Dimensionamento das Armaduras Transversais (cont.).....	112
Tabela 5.8 – Determinação das Armaduras Mínimas de Fendilhação dos Plintos	113
Tabela 5.9 – Controlo da Fendilhação pelo Método Indireto - $w_k = 0.3\text{mm}$	113
Tabela 5.10 – Dimensões das Seções Transversais das Vigas de Fundação.....	114
Tabela 5.11 – Armaduras de Flexão.....	116
Tabela 5.12 – Armaduras de Flexão (cont.)	117
Tabela 5.13 – Armaduras Mínimas e Máximas em Vigas	117
Tabela 5.14 – Armaduras de Esforço Transverso	118
Tabela 5.15 – Armaduras de Esforço Transverso (cont.).....	119
Tabela 5.16 – Verificação da Deformação (segundo a clausula 7.4.2 do EC2).....	120
Tabela 5.17 – Verificação da Deformação (segundo a clausula 7.4.2 do EC2) (cont.)	120
Tabela 5.18 – Verificação da Deformação (segundo a clausula 7.4.2 do EC2) (cont.)	121
Tabela 5.19 – Determinação das Armaduras Mínimas de Fendilhação	122
Tabela 5.20 – Controlo da Fendilhação pelo Método Indireto – $w_k = 0.3\text{mm}$	122
Tabela 5.21 – Dimensões das Sapatas de Fundação	123
Tabela 5.22 – Verificação da Segurança do Solo de Fundação	124
Tabela 5.23 – Verificação da Segurança do Solo de Fundação (cont.).....	125
Tabela 5.24 – Verificação da Segurança do Solo de Fundação (cont.).....	126

Tabela 5.25 – Armaduras das Sapatas nas direções x e y	127
Tabela 5.26 – Armaduras das Sapatas nas direções x e y (cont.).....	128
Tabela 5.27 – Armaduras das Sapatas nas direções x e y (cont.).....	129
Tabela 5.28 – Armaduras das Sapatas nas direções x e y (cont.).....	130

1 INTRODUÇÃO

Na presente Memória Justificativa apresentam-se os cálculos das estruturas metálicas e de betão armado, referentes ao dimensionamento do Pavilhão de Armazenagem de Paletes de Madeira, a construir em Coimbra.

O dimensionamento foi feito em relação aos estados limites últimos e de utilização, de acordo com os critérios de combinações das ações indicados na Memória Descritiva deste Projeto, tendo-se respeitado os eurocódigos estruturais nas verificações de segurança dos elementos metálicos e de betão armado.

A determinação dos esforços e deslocamentos para todas as combinações de ações foi realizada com recurso ao programa de cálculo automático "SAP2000".

Este *software* serviu também para o dimensionamento de alguns dos elementos estruturais que compõem o Pavilhão.

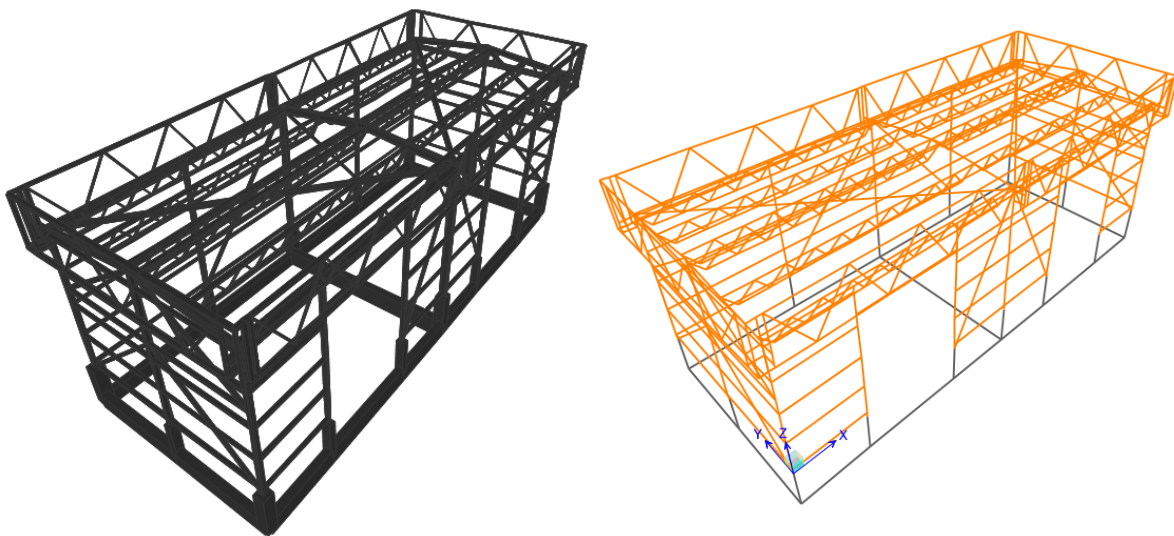


Figura 1.1 – Pavilhão - Esquema Extrudido e Unifilar

2 QUANTIFICAÇÕES DE AÇÕES

Neste capítulo apresentam-se todas as ações que foram consideradas nas estruturas do Pavilhão.

2.1 Peso Próprio

A quantificação do peso próprio dos elementos foi considerada de forma automática pelo programa de cálculo, introduzindo previamente, os pesos dos materiais que compõem os diferentes elementos da estrutura.

Na Figura 2.1 estão indicados os quadros de preenchimento que foram utilizados, com as características dos materiais, aço e betão armado, que constam dos ficheiros de dados do programa "SAP2000".

Property	Concrete (C25/30)	Steel (S235)
Material Name and Display Color	C25/30	S235
Material Type	Concrete	Steel
Weight per Unit Volume	25	78.5
Mass per Unit Volume	2.5493	8.0048
Modulus of Elasticity, E	31000000	2.100E+08
Poisson	0.2	0.3
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.000E-05	1.200E-04
Shear Modulus, G	12916667	80769231
Specified Concrete Compressive Strength, f _c	25000	-
Minimum Yield Stress, F _y	-	235000
Minimum Tensile Stress, F _u	-	360000
Effective Yield Stress, F _{ye}	-	235000
Effective Tensile Stress, F _{ue}	-	360000

Figura 2.1 – Quadro de Materiais

2.2 Restantes Cargas Permanentes (RCP)

As restantes cargas permanentes (RCP) incluem o peso dos elementos não estruturais, tais como as chapas de aço dos revestimentos exteriores dos alçados e da cobertura, os acessórios de ligação e os rufos.

Considerou-se para esta ação uma carga uniformemente distribuída de 0.10 kN/m^2 , que foi atribuída às madres que formam o esqueleto estrutural de suporte das chapas dos revestimentos exteriores do Pavilhão.

2.2.1 Madres da Cobertura

Na Tabela 2.1 e na Figura 2.2 indicam-se os valores das restantes cargas permanentes (RCP) consideradas nas madres da cobertura.

Tabela 2.1 – Peso das Chapas e Acessórios de ligações

Madres da Cobertura	Largura de Influência [m]	RCP [kN/m ²]	RCP [kN/m]
1	1.05	0.10	0.11
2	1.75	0.10	0.18
3	1.12	0.10	0.11
1	1.05	0.10	0.11
2	1.75	0.10	0.18
3	1.12	0.10	0.11

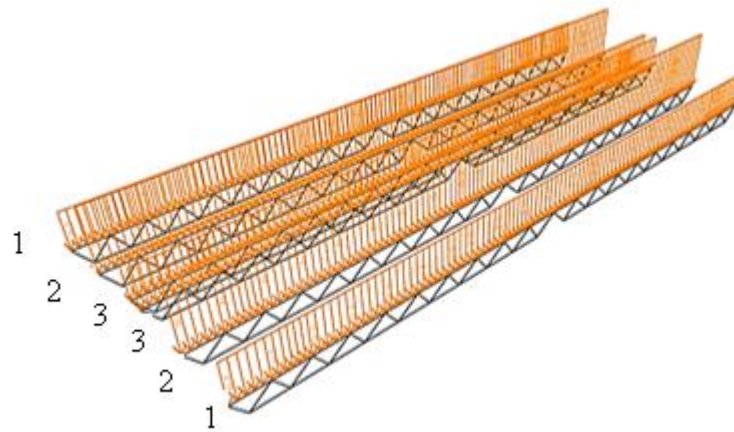


Figura 2.2 – Identificação das Madres da Cobertura e Ações

2.2.2 Madres dos Alçados

Na Tabela 2.2 e na Figura 2.3 indicam-se os valores das restantes cargas permanentes (RCP) nas madres dos alçados.

Tabela 2.2 – Peso das Chapas e Acessórios de ligações

Madres dos Alçados	Largura de Influência [m]	RCP [kN/m ²]	RCP [kN/m]
1	0.77	0.10	0.08
2	1.34	0.10	0.13
3	1.34	0.10	0.13
4	1.34	0.10	0.13
5	0.77	0.10	0.08

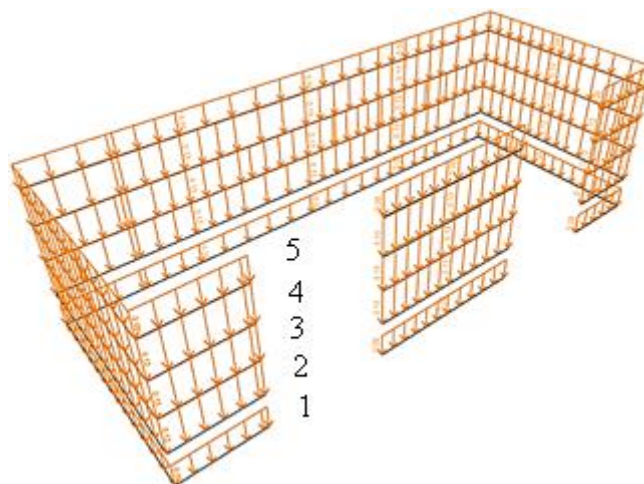


Figura 2.3 – Identificação das Madres dos Alçados Ações

2.2.3 Platibandas

Na Tabela 2.3 estão indicados os valores das restantes cargas permanentes (RCP) que foram considerados nas madres que formam as platibandas.

Tabela 2.3 – Peso das Chapas e Acessórios nas Platibandas

Platibandas	Largura de Influência [m]	RCP [kN/m ²]	RCP [kN/m]
1	0.94	0.10	0.09
2	0.94	0.10	0.09

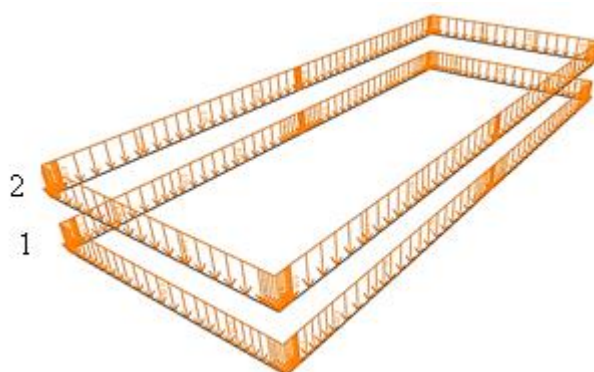


Figura 2.4 – Identificação das Platibandas e Ações

2.3 Sobrecargas na Cobertura (SC)

A sobrecarga considerada na cobertura foi de 1.0 kN/m² de acordo com as exigências impostas pelo Dono de Obra.

Na Tabela 2.4 estão indicados os valores da Sobrecarga (SC) considerados nas madres da cobertura.

Tabela 2.4 – Sobrecargas nas Madres da Cobertura

Madres da Cobertura	Largura de Influência [m]	SC [kN/m ²]	SC [kN/m]
1	1.05	1.00	1.05
2	1.75	1.00	1.75
3	1.12	1.00	1.12
1	1.05	1.00	1.05
2	1.75	1.00	1.75
3	1.12	1.00	1.12

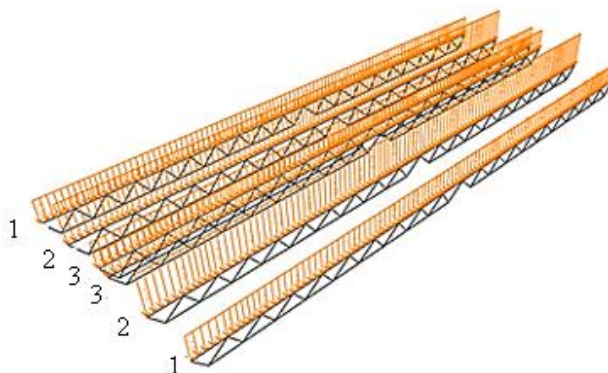


Figura 2.5 – Identificação das Madres da Cobertura e Ações

2.4 Ação Térmica (T)

Na Tabela 2.5 indicam-se de acordo com o EC1-5 os valores dos parâmetros para a quantificação das variações uniformes de temperatura, para as condições de inverno e de verão, tendo em conta a localização da estrutura.

Tabela 2.5 – Variações Uniformes de Temperatura

Condições de inverno		Condições de verão	
Zona	A	Zona	B
T _{min}	0°	T _{min}	40°
T _{in}	18°	T _{in}	25°
T _{out}	0°	T _{out}	45°
T	9°	T	35°
T ₀	15°	T ₀	15°
ΔT _u ⁻	-8.75°	ΔT _u ⁺	19.5°

Na Figura 2.6 representam-se as variações uniformes de temperaturas consideradas no modelo estudado.

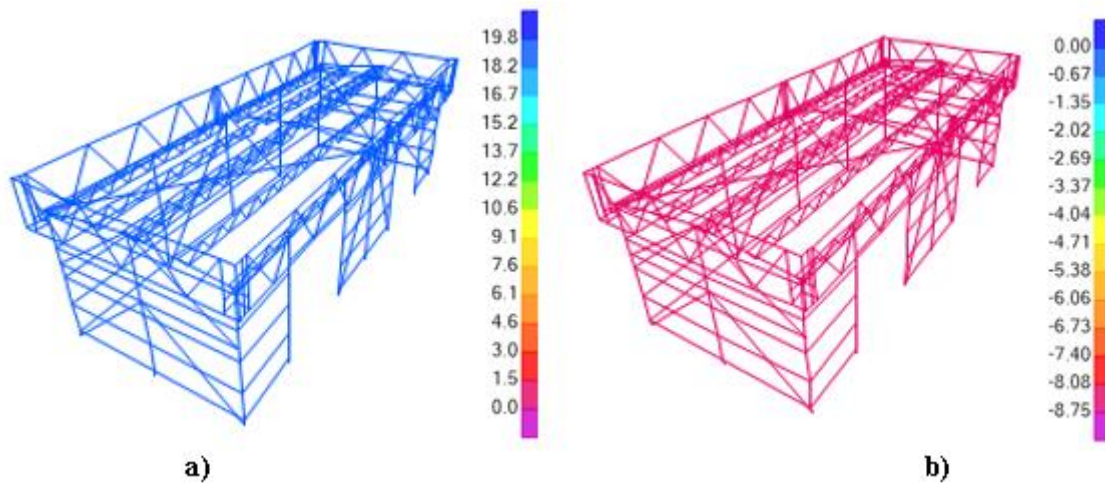


Figura 2.6 – Variações Uniformes de Temperatura: a) Máxima positiva; b) Máxima negativa

2.5 Ação do Vento (W)

Conforme já foi indicado na Memória Descritiva, a ação do vento gera forças perpendiculares às superfícies do Pavilhão nas seguintes direções:

- $W_x (90^\circ)$ – Vento segundo x no sentido positivo;
- $W_{xx} (90^\circ)$ – Vento segundo x no sentido negativo;
- $W_y (0^\circ)$ – Vento segundo y no sentido positivo;
- $W_{yy} (0^\circ)$ – Vento segundo y no sentido negativo.

Nas figuras 2.7, 2.8 e 2.9 está indicado a geometria do Pavilhão, que serviu para a determinação de alguns dos parâmetros necessários para o estudo da ação do vento.

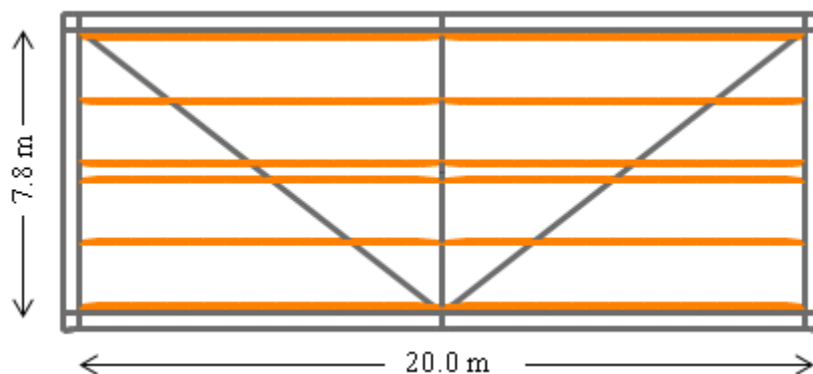


Figura 2.7 – Vista em planta do Pavilhão

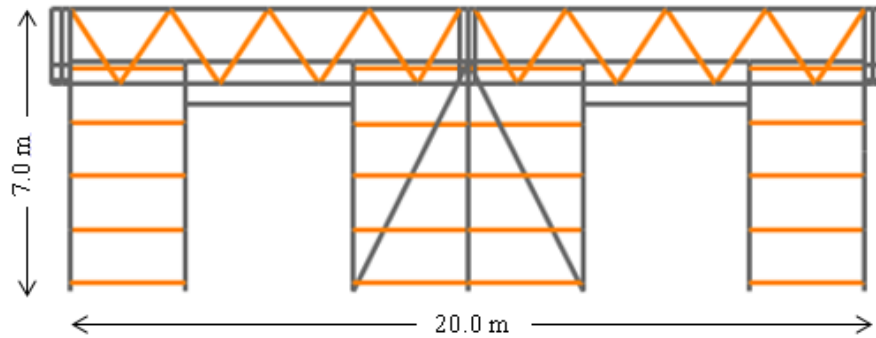


Figura 2.8 – Vista do Alçado Lateral

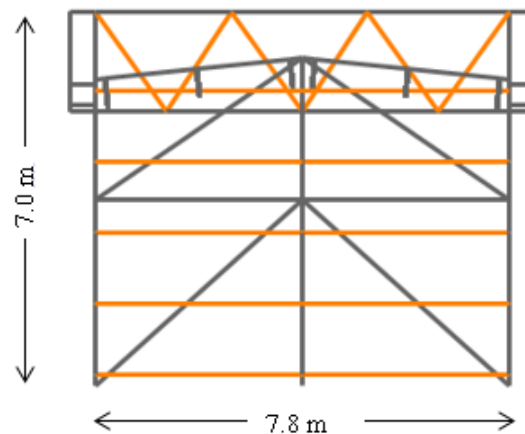


Figura 2.9 – Vista do Alçado de Topo

2.5.1 Determinação do Coeficiente Estrutural

Uma vez que o Pavilhão tem altura inferior a 15 m considerou-se para o coeficiente estrutural o valor de 1.0.

2.5.2 Pressões Dinâmica de Referência e de Pico

O Pavilhão está localizado em Coimbra, pertence à zona A, tendo-se considerado para o valor básico de velocidade de referência 27 m/s.

Nas Tabelas 2.6 e 2.7 indicam-se todos os parâmetros utilizados na determinação das pressões dinâmicas de referência e de pico.

Tabela 2.6 – Pressão Dinâmica de Referência

$v_{b,0}$ [m/s]	27
c_{dir}	0.05
c_{season}	1.5
v_b [m/s]	27
ρ [kg/m ³]	1.25
q_b [kN/m ²]	0.46

Tabela 2.7 – Pressão Dinâmica de Pico

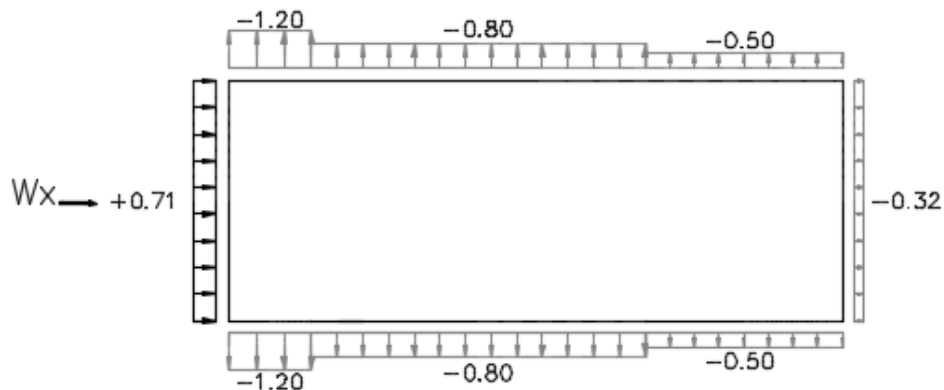
Z [m]	7
Categoria do terreno	IV
Z ₀ [m]	0.05
Z _{min} [m]	15
Z _{max} [m]	200
k _r (Z _{min})	0.23
K _I [m]	1
σ _v	6.32
c _r (min) [m]	0.63
c ₀	1
v _m (Z _{min}) [m/s]	17
I _v (Z _{min}) [kN/m ²]	0.37
q _p [kN/m ²]	0.66

2.5.3 Coeficientes de Pressões Exteriores e Interiores nos Alçados e na Cobertura

O processo para a determinação dos coeficientes de pressões exteriores e interiores já foi explicado na Memória Descritiva.

2.5.3.1 Vento na Direção x

Nas Figuras 2.10 e 2.11 estão representados os coeficientes de pressões exteriores, considerados nos alçados e na cobertura, quando o vento atua na direção x.

**Figura 2.10** – Coeficientes de Pressões Exteriores nos Alçados na Direção x

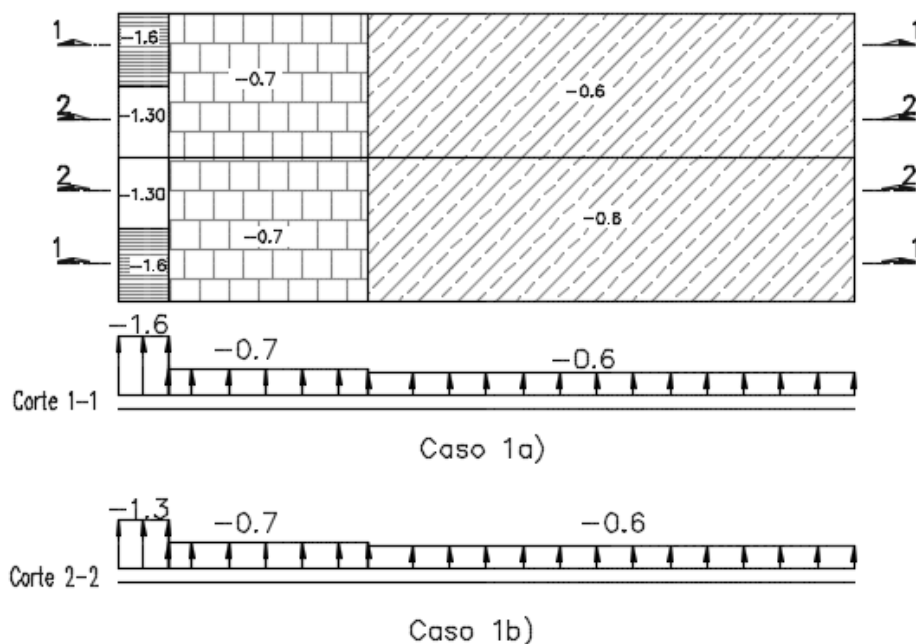


Figura 2.11 – Coeficientes de Pressões Exteriores na Cobertura na Direção x

Na Figura 2.12 representam-se os coeficientes de pressões interiores nos alçados e na cobertura (pressão e sucção).

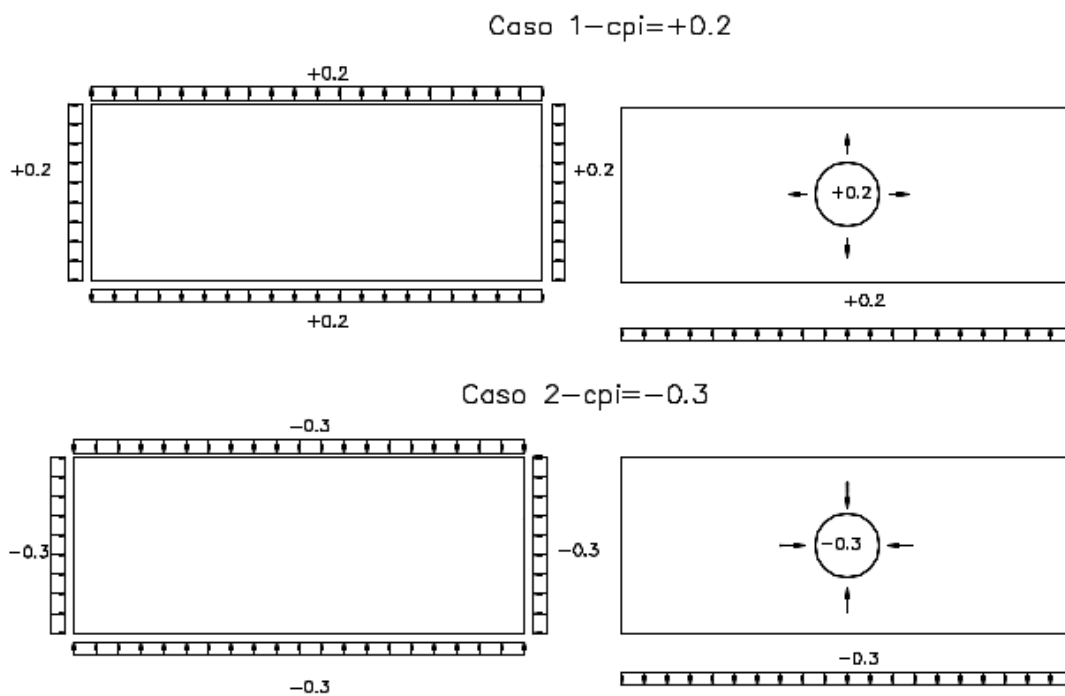


Figura 2.12 – Coeficientes de Pressões Interiores nos Alçados e na Cobertura na Direção x

Nota: Quando o vento atua na direção contrária, ou seja no sentido W_{xx} , os coeficientes de pressões exteriores nos alçados laterais e na cobertura são iguais mas de sentido contrário.

Nas Tabelas 2.8 e 2.9 resumem-se os valores dos coeficientes de pressões exteriores e interiores, para os casos mais relevantes considerados no dimensionamento do Pavilhão.

Tabela 2.8 – Coeficientes de Pressões Exteriores e Interiores nos Alçados na Direção x

Coeficientes de Pressões		Zonas				
		A	B	C	D	E
Caso a	c_{pe}	-1.2	-0.8	-0.5	0.7	-0.32
	c_{pi}	0.2				
	$c_{pe} + c_{pi}$	-1.4	-1	-0.7	0.5	-0.52
Caso b	c_{pe}	-1.2	-0.8	-0.5	0.7	-0.32
	c_{pi}	0.3				
	$c_{pe} + c_{pi}$	-0.9	-0.5	-0.2	1	-0.02
		-1.4	-1		0.5	-0.52

Tabela 2.9 – Coeficientes de Pressões Exteriores e Interiores no Cobertura na Direção x

Coeficientes de Pressões		Zonas			
		F	G	H	I
Caso a	c_{pe}	-1.6	-1.6	-0.7	-0.7
	c_{pi}	0.2			
	$c_{pe} + c_{pi}$	-1.8		-0.9	
Caso b	c_{pe}	-1.3	-1.6	-0.7	-0.7
	c_{pi}	0.3			
	$c_{pe} + c_{pi}$	-1.0		-0.4	

Notas:

- 1 – O caso a representa a resultante das pressões exteriores e interiores positivas na direção x;
- 2 – O caso b representa a resultante das pressões exteriores e interiores negativas na direção x;
- 3 – Pela análise da Tabela 2.9 pode-se concluir-se que as Zonas F e G têm coeficientes da mesma ordem de grandeza, e o mesmo se passa para as Zonas H e I.

Sendo assim, consideraram-se coeficientes iguais para as zonas F e G sendo o mesmo princípio seguido para as Zonas H e I.

2.5.3.2 Vento na Direção y

Nas Figuras 2.13 e 2.14 estão indicados os coeficientes de pressões exteriores nos alçados e na cobertura quando o vento atua na direção y.

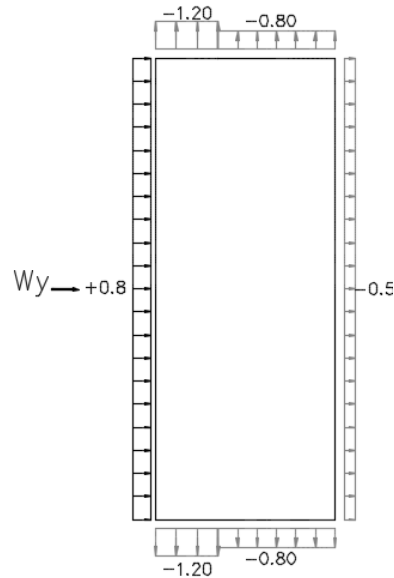


Figura 2.13 – Coeficientes de Pressões Exteriores nos Alçados na Direção y

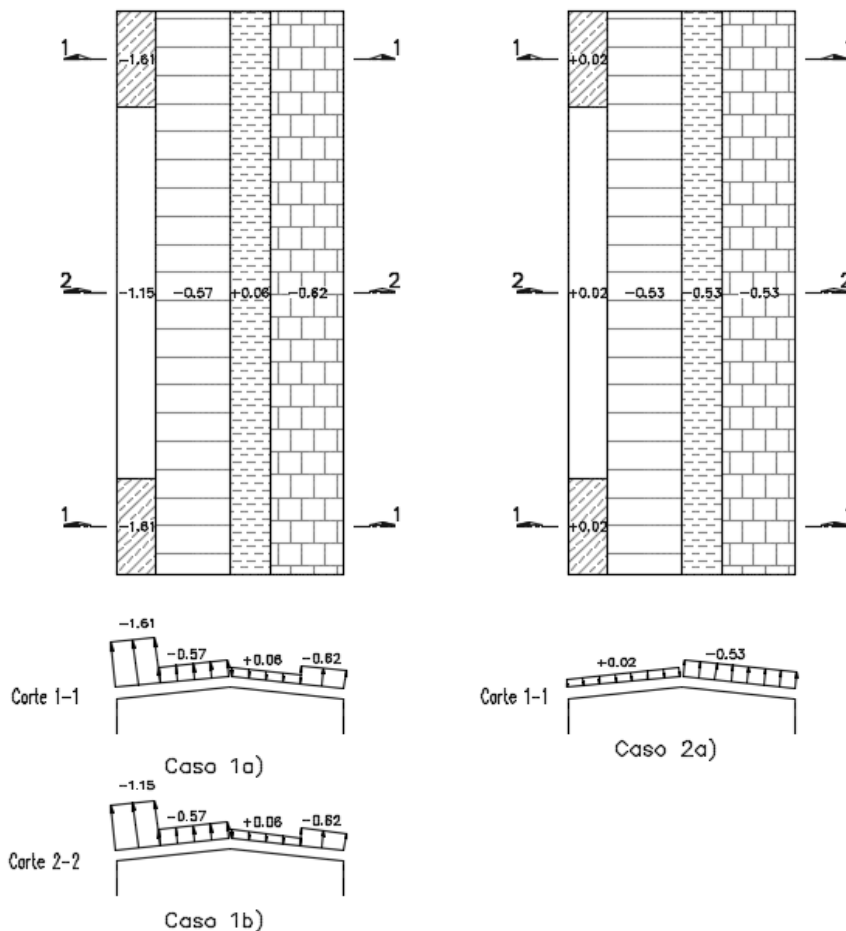


Figura 2.14 – Coeficientes de Pressões Exteriores na Cobertura na Direção y

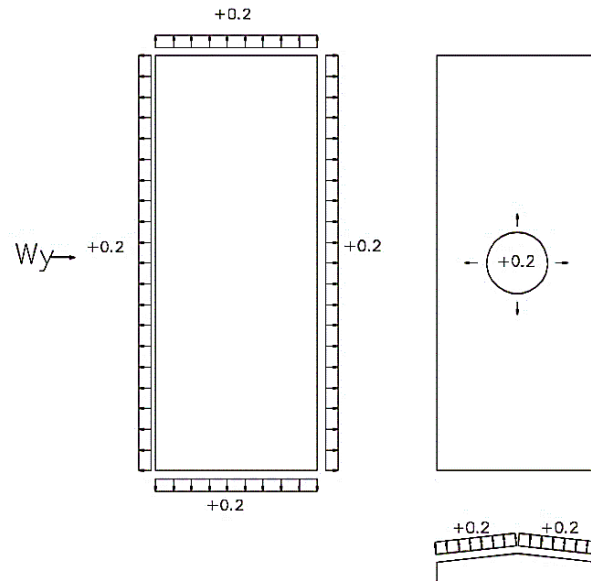


Figura 2.15 – Coeficientes de Pressões Interiores nos Alçados e na Cobertura na Direção y

Nas Tabelas 2.10 e 2.11 resumem-se todos os valores dos coeficientes de pressão exteriores e interiores atribuídos aos alçados e à cobertura no Pavilhão.

Tabela 2.10 – Coeficientes de Pressões Exteriores e Interiores nos Alçados na Direção y

Coeficientes de Pressões		Zonas			
		A	B	D	E
Caso a	c_{pe}	-1.2	-0.8	0.8	-0.5
	c_{pi}	0.2			
	$c_{pe} + c_{pi}$	-1.4	-1	0.6	-0.7
Caso b	c_{pe}	-1.2	-0.8	0.8	-0.5
	c_{pi}	0.3			
	$c_{pe} + c_{pi}$	-0.9	-0.5	1.1	-0.2

Tabela 2.11 – Coeficientes de Pressões Exteriores e Interiores na Cobertura na Direção y

Coeficientes de Pressões		Zonas				
		F	G	H	J	I
Caso a	c_{pe}	-1.60	-1.50	-0.57	-0.53	-0.62
	c_{pi}	0.2				
	$c_{pe} + c_{pi}$	-1.6	-1.500	-0.6	-0.5	-0.6
		-1.8		-0.8		
Caso b	c_{pe}	-1.60	-1.50	-0.57	-0.53	-0.62
	c_{pi}	0.3				
	$c_{pe} + c_{pi}$	-1.30	-1.20	-0.27	-0.23	-0.32
		-1.3		-0.3		

Notas:

- 1 – O Caso a representa a resultante das pressões exteriores e interiores positivas na direção y;
- 2 – O Caso b representa a resultante das pressões exteriores e interiores negativas na direção y;

3 – Pela análise da Tabela 2.11 pode-se concluir-se que as Zonas F e G tem coeficientes da mesma ordem de grandeza, e o mesmo se passa para as Zonas H, J e I.

Consideraram-se pois coeficientes iguais para as zonas F e G, e o mesmo princípio foi seguido para as Zonas H, J e I.

2.5.4 Pressões Resultantes

As pressões resultantes foram obtidas pela expressão 2.1.

$$F_w = c_{pe} + c_{pi} \times q_p(z_e) \quad (2.1)$$

Nas Tabelas 2.12, 2.13, 2.14 e 2.15 estão indicados todos os valores calculados para as pressões resultantes nos alçados e na cobertura nas direções x e y.

Tabela 2.12 – Pressões nos Alçados na Direção x

Pressão Resultante	Caso a – Wx					Caso b – Wx1				
	Zonas					Zonas				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
$(c_{pe} + c_{pi})$	-1.4	-1		0.5	-0.52	-0.9	-0.5		1	-0.02
q_p [kN/m ²]	0.66					0.66				
$c_s c_d$	1					1				
F_w [kN/m ²]	-0.92	-0.66		0.33	-0.34	-0.59	-0.33		0.66	-0.01

Tabela 2.13 – Pressões na Cobertura na Direção x

Pressão Resultante	Caso a – Wx				Caso b – Wx1			
	Zona				Zona			
	F	G	H	I	F	G	H	I
$(c_{pe} + c_{pi})$	-1.8		-0.9		-1.3		-0.4	
q_p [kN/m ²]	0.66				0.66			
$c_s c_d$	1				1			
F_w [kN/m ²]	-1.20		-0.59		-0.86		-0.26	

Tabela 2.14 – Pressões nos Alçados na Direção y

Pressão Resultante	Caso a – Wy				Caso b – Wy1			
	Zona				Zona			
	A	B	D	E	A	B	D	E
$(c_{pe} + c_{pi})$	-1.4	-1	0.6	-0.7	-0.9	-0.5	1.1	-0.2
q_p [kN/m ²]	0.66				0.66			
$c_s c_d$	1				1			
F_w [kN/m ²]	-0.92	-0.66	0.39	-0.46	-0.59	-0.33	0.72	-0.13

Tabela 2.15 – Pressões na Cobertura na Direção y

Pressão Resultante	Caso a - Wy					Caso b - Wy1				
	Zona					Zona				
	F	G	H	J	I	F	G	H	J	I
$(C_{pe} + C_{pi})$	-1.8		-0.8			-1.3		-0.3		
q_p [kN/m ²]	0.66					0.66				
$c_s c_d$	1					1				
F_w [kN/m ²]	-1.18		-0.53			-0.86		-0.2		

Nota:

- 1 – Para cada um destes casos nas direções x e y, é necessário considerar também o sentido contrário do vento segundo W_{xx} , W_{xx1} , W_{yy} e W_{yy1} .
- 2 – Em resumo foram considerados 8 casos para a ação do vento.

2.5.5 Ações do Vento no Modelo

As pressões do vento no Edifício foram aplicadas nas madres dos alçados e da cobertura.

Nas Tabelas 2.16, 2.17, 2.18 e 2.19 indicam-se todas as ações do vento segundo as direções x, y e z, aplicadas em todas as madres dos alçados, da cobertura e das platibandas.

De modo a entender-se mais facilmente como é que estas ações estão aplicadas, juntam-se um conjunto de figuras, onde se identificam as madres bem como os valores destas ações.

2.5.5.1 Ação do Vento na Direção x**Tabela 2.16** – Ação do Vento W_x e W_{x1} nas Madres dos Alçados e nas Platibandas

Ação do Vento nos Alçados – Direção x							
Elementos	Direções	Madres	h_{inf} [m]	F_{wk} [kN/m]			
				Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
Platibandas	W_x	1	0.94	-0.90	-0.61	0.31	-0.32
		2	0.94	-0.90	-0.61	-0.43	-0.43
	W_{x1}	1	0.94	-0.60	-0.31	0.61	-0.01
		2	0.94	-0.60	-0.55	-0.55	-0.55
Alçados	W_x	1	0.77	-0.71	-0.51	0.25	-0.26
		2	1.34	-1.23	-0.88	0.44	-0.46
		3	1.34	-1.23	-0.88	0.44	-0.46
		4	1.34	-1.23	-0.88	0.44	-0.46
		5	0.87	-0.8	-0.57	0.29	-0.3
	W_{x1}	1	0.77	-0.46	-0.25	0.51	0
		2	1.34	-0.79	-0.44	0.88	0
		3	1.34	-0.79	-0.44	0.88	0
		4	1.34	-0.79	-0.44	0.88	0
		5	0.79	-0.47	-0.26	0.52	0

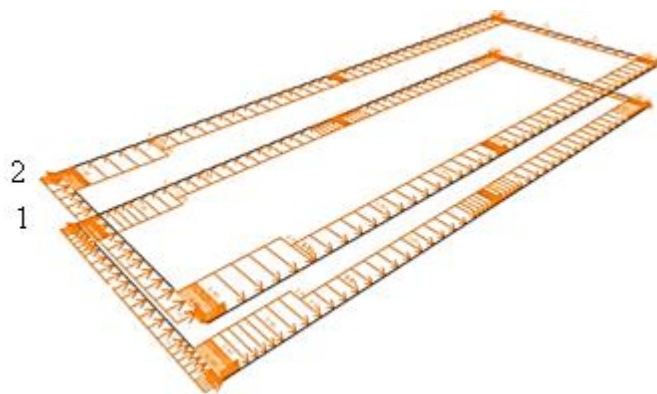


Figura 2.16 – Identificação das Platibandas e Ação do vento na Direção W_x

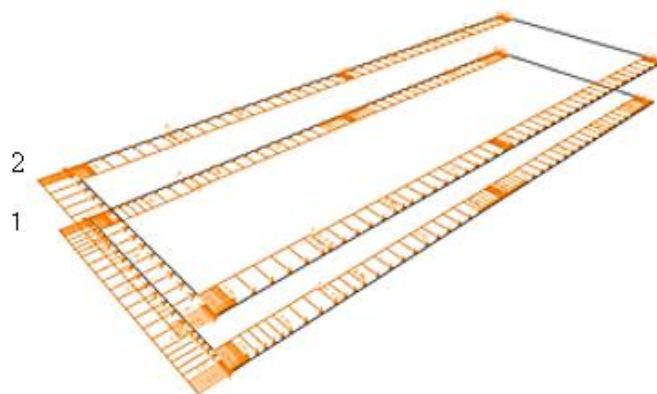


Figura 2.17 – Identificação das Platibandas e Ação do vento na Direção W_{x1}

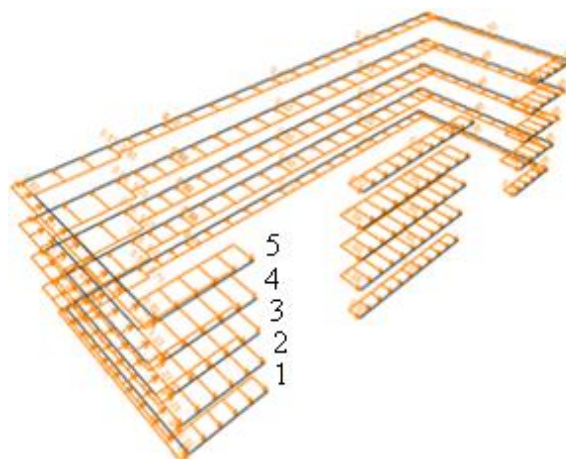


Figura 2.18 – Identificação das madres e Ação do vento na direção W_x

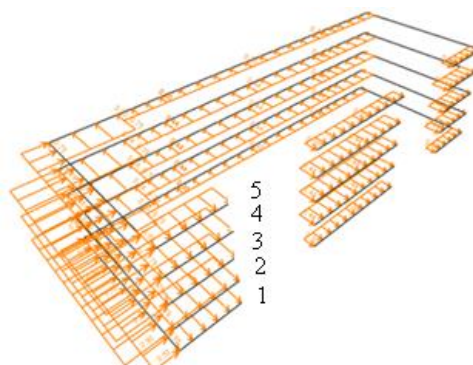


Figura 2.19 – Identificação das Madres e Ação do vento na direção W_{x1}

Tabela 2.17 – Ação do Vento W_x e W_{x1} nas Madres da Cobertura

Ação do Vento na Cobertura - Direção x							
Elemento	Direções	Madres	h_{inf} [m]	F_{wk} [kN/m]			
				Zona F	Zona G	Zona H	Zona I
Cobertura	W_x	1	0.76	-0.9		-0.45	
		2	0.71	-0.84		-0.42	
		3	0.71	-0.84		-0.42	
		1	0.76	-0.9		-0.45	
		2	0.71	-0.84		-0.42	
		3	0.71	-0.84		-0.42	
	W_{x1}	1	0.76	-0.65		-0.2	
		2	0.71	-0.6		-0.19	
		3	0.71	-0.6		-0.19	
		1	0.76	-0.65		-0.2	
		2	0.71	-0.6		-0.19	
		3	0.71	-0.6		-0.19	

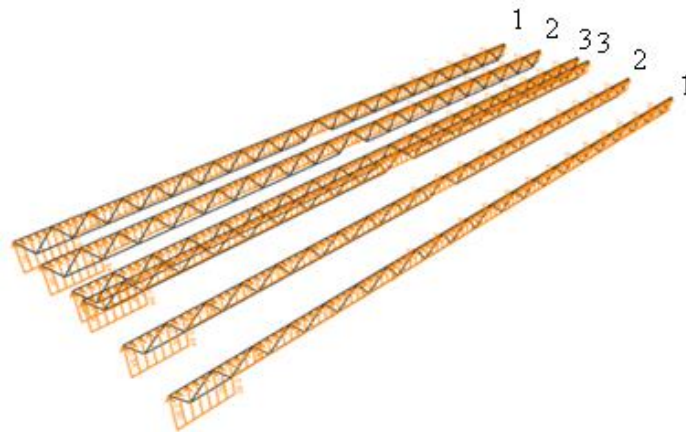


Figura 2.20 – Identificação das Madres da Cobertura e Ação do vento na Direção W_x

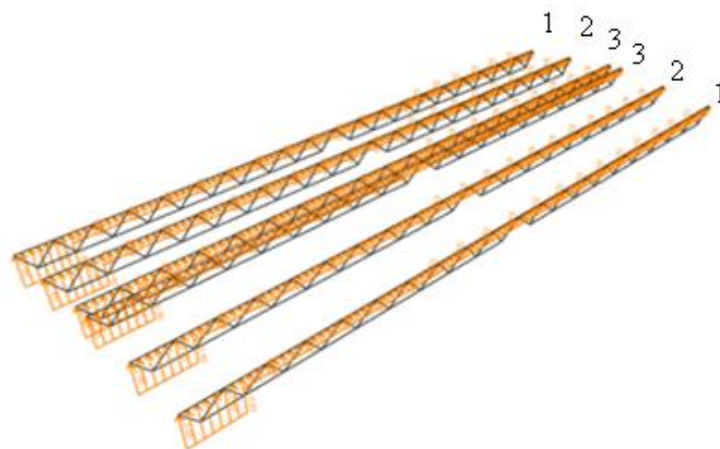
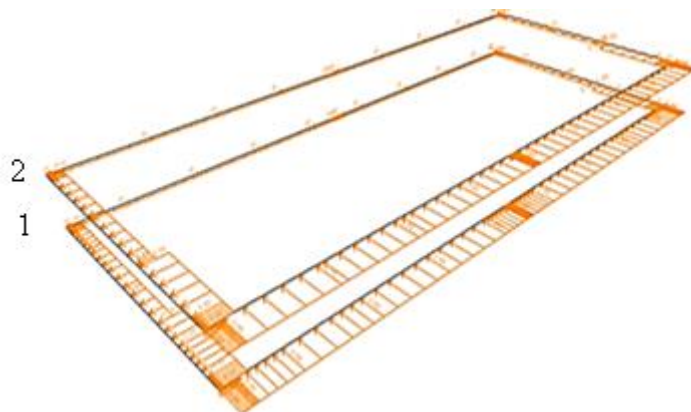


Figura 2.21 – Identificação das Madres da Cobertura e Ação do vento na Direção W_{x1}

2.5.5.2 Ação do Vento na Direção y

Tabela 2.18 – Ação do Vento W_y e W_{y1} nas Madres dos Alçados e nas Platibandas

Ação do Vento nos Alçados e nas Platibandas - Direção y							
Elementos	Direções	Madres	h_{inf} [m]	F_w [kN/m]			
				Zona A	Zona B	Zona D	Zona E
Platibandas	W_y	1	0.94	-0.86	-0.61	0.37	-0.43
		2	0.94	-0.86	-0.61	0.37	-0.43
	W_{y1}	1	0.94	-0.55	-0.31	0.68	-0.12
		2	0.94	-0.55	-0.31	0.68	-0.12
Alçados	W_y	1	0.77	-0.71	-0.51	0.3	-0.36
		2	1.34	-1.23	-0.88	0.53	-0.62
		3	1.34	-1.23	-0.88	0.53	-0.62
		4	1.34	-1.23	-0.88	0.53	-0.62
		5	0.79	-0.73	-0.52	0.31	-0.36
	W_{y1}	1	0.77	-0.46	-0.25	0.56	-0.1
		2	1.34	-0.79	-0.44	0.97	-0.18
		3	1.34	-0.79	-0.44	0.97	-0.18
		4	1.34	-0.79	-0.44	0.97	-0.18
		5	0.79	-0.47	-0.26	0.57	-0.1

Figura 2.22 – Identificação das Platibandas e Ação do vento na Direção W_y Figura 2.23 – Identificação das Platibandas e Ação do vento na Direção W_{y1}

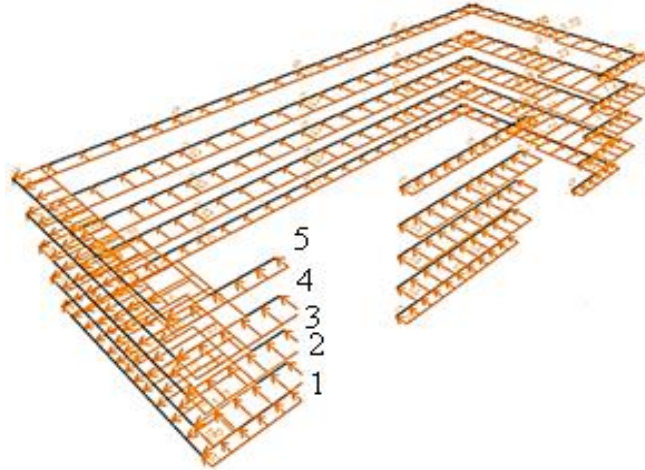


Figura 2.24 – Identificação das Madres e Ação do vento na Direção Wy

Tabela 2.19 – Ação do Vento Wy e Wy1 nas Madres da Cobertura

Ação do Vento na Cobertura - Direção y									
Elementos	Direções	Madres	h [m]	h _{inf} [m]	F _{wk} [kN/m]				
					Zona F	Zona G	Zona H	Zona J	Zona I
Cobertura	Wy	1	0.18	0.76	-0.9			-	
		2	1.18	0.71	-			-0.37	
		3	0.24	0.71	-			-0.37	
		1	0.18	0.76	-			-0.4	
		2	1.18	0.71	-			-0.37	
		3	0.24	0.71	-			-0.37	
	Wy1	1	0.18	0.76	-0.65			-	
		2	1.18	0.71	-			-0.14	
		3	0.24	0.71	-			-0.14	
		1	0.18	0.76	-			-0.15	
		2	1.18	0.71	-			-0.14	
		3	0.24	0.71	-			-0.14	

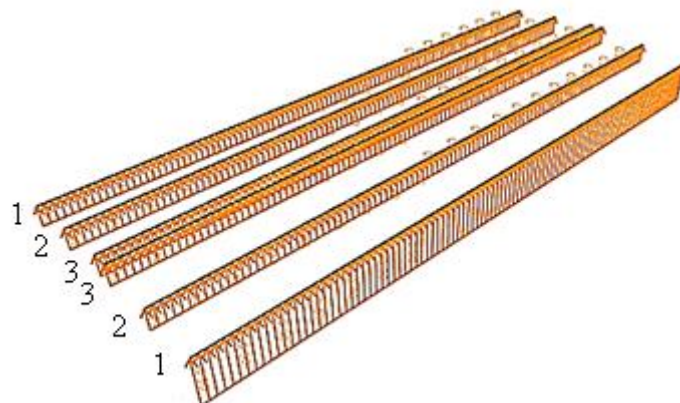


Figura 2.25 – Identificação das Madres e Ação do vento na Direção Wy

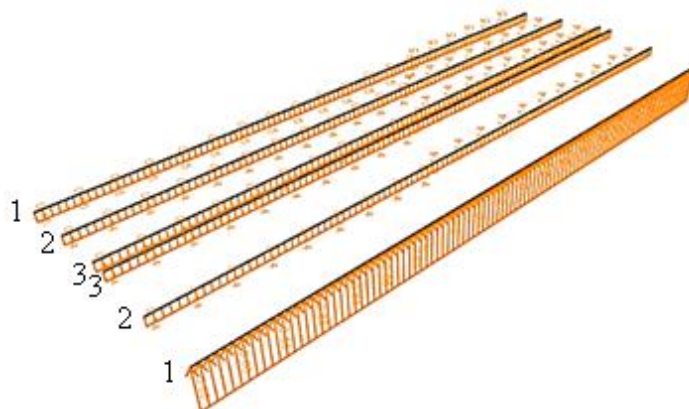


Figura 2.26 – Identificação da Madres e Ação do vento na Direção W_{y1}

2.6 Ação Sísmica (E)

Como foi referido na Memória Descritiva, a quantificação da ação sísmica depende de vários fatores, tais como:

- A localização da estrutura;
- O tipo de terreno;
- A classe de importância;
- O coeficiente de comportamento.

Na Tabela 2.20 estão indicados os valores de alguns parâmetros que foram necessários considerar para a definição dos espectros de cálculo sísmicos.

Tabela 2.20 – Parâmetros dos Espectros de Cálculo da Ação Sísmica Tipo 1 e Tipo 2

Parâmetros	Ação Sísmica Tipo 1	Ação Sísmica Tipo 2
Zona sísmica	1.6	2.4
Tipo de terreno	E	E
Classe de importância	I	I
S_{max}	1.6	1.6
T_B [s]	0.1	0.1
T_C [s]	0.6	0.25
T_D [s]	2	2
γ_I	0.65	0.75
a_{gR} [m/s^2]	0.35	1.1
a_g [m/s^2]	0.23	0.83
S	1.6	1.86
ξ	0.05	0.05
q	1.5	1.5
β	0.2	0.2

Para a determinação dos espectros de resposta de cálculo utilizaram-se as expressões definidas no EC8-1:

$$S_d(T) = \begin{cases} a_g \times S \times \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \times \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{2} \right) \right], & 0 \leq T \leq T_B \\ a_g \times S \times \frac{2.5}{q}, & T_B \leq T \leq T_C \\ a_g \times S \times \frac{2.5}{q} \times \left[\frac{T_C}{T} \right] \geq \beta \times a_g, & T_C \leq T \leq T_D \\ a_g \times S \times \frac{2.5}{q} \times \left[\frac{T_C \times T_C}{T^2} \right] \geq \beta \times a_g, & T_D \leq T \end{cases} \quad (2.2)$$

Para a análise sísmica do Pavilhão foram utilizados os espectros de cálculo representados na Figura 2.27, que foram incluídos nos ficheiros de dados do programa de cálculo automático.

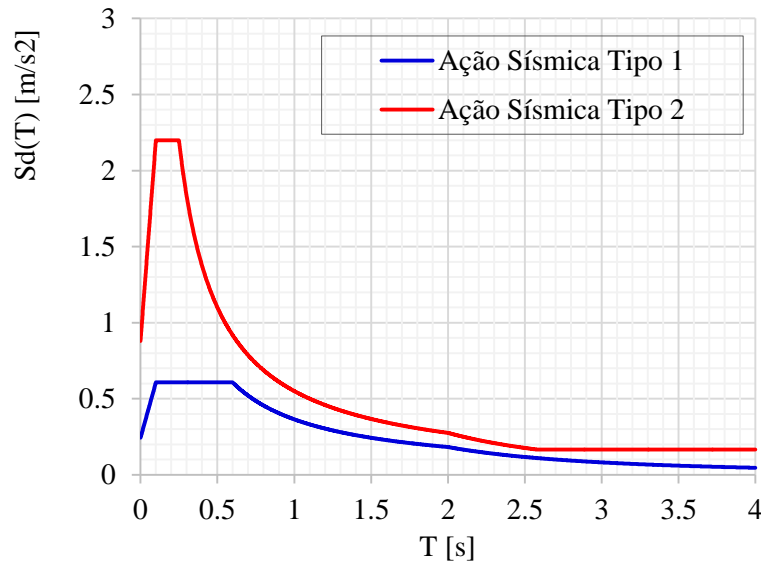


Figura 2.27 – Espectros de Cálculo para Ação Sísmica do Tipo 1 e do Tipo 2

2.6.1 Combinações da Ação Sísmica

Segundo a cláusula 4.3.3.5.1 do EC8-1 as componentes horizontais da ação sísmica dos Tipos 1 e 2 atuam simultaneamente de acordo com as seguintes combinações:

$$E_{Ed} = \text{máx} \begin{cases} E_{Edx} "+" 0.30E_{Edy} \\ 0.30E_{Edx} "+" E_{Edy} \end{cases} \quad (2.3)$$

em que:

"+" – Significa "a combinar com";

E_{Edx} – Efeito da ação sísmica na direção x;

E_{Edy} – Efeito da ação sísmica na direção y.

Na análise sísmica do Pavilhão foram consideradas as seguintes combinações:

▪ **Ação Sísmica Tipo 1-ET1**

$$ET1X \rightarrow \begin{cases} 1 \times U1 + 0.3 \times U2 \\ 0.3 \times U1 + 1 \times U2 \end{cases} \quad (2.4)$$

$$ET1Y \rightarrow \begin{cases} 0.3 \times U1 + 1 \times U2 \\ U1 + 0.3 \times U2 \end{cases} \quad (2.5)$$

▪ **Ação Sísmica Tipo 2-ET2**

$$ET2X \rightarrow \begin{cases} 1 \times U1 + 0.3 \times U2 \\ 0.3 \times U1 + 1 \times U2 \end{cases} \quad (2.6)$$

$$ET2Y \rightarrow \begin{cases} 0.3 \times U1 + 1 \times U2 \\ U1 + 0.3 \times U2 \end{cases} \quad (2.7)$$

A análise sísmica foi feita através de uma análise modal, por espectros de resposta em modelo espacial, de acordo com EC8-1.

Segundo esta norma, a análise das ações sísmicas deve ser avaliada tendo presente todas as massas associadas a todas as "forças gravíticas", através da seguinte combinação de ações:

$$\sum G_{K,j} + \sum \Psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.8)$$

em que:

G – Ação permanente;

Q – Ação variável;

$\Psi_{E,i}$ – Coeficientes de combinação para a ação variável.

com:
$$\Psi_{E,i} = \varphi \times \Psi_{2,i} \quad (2.9)$$

No Pavilhão o coeficiente, $\Psi_{2,i}$, para ação variável é zero, tendo sido apenas contabilizadas as massas devidas ao peso próprio e às restantes cargas permanentes, através da função "massa source" do "SAP2000".

De modo a assegurar-se que as respostas dos diferentes modos de vibração contribuem significativamente para a resposta global da estrutura de edifício, foram tidos em consideração os seguintes pontos definidos na cl.4.3.3.3.1 do EC8-1:

- A soma total das massas modais para os modos considerados na análise não devem ser inferiores a 90% da massa do edifício;

– Todos os modos cuja massa efetiva seja superior a 5% da massa total devem considerados.

Na análise dinâmica realizada neste projeto foram necessários 150 modos de vibração por forma a obter-se 90% da massa participada nas duas direções.

Na Tabela 2.21 indica-se o período, a frequência e o fator da participação modal para os modos de vibração mais relevantes.

Tabela 2.21 – Modos de vibração

Modo	Período [s]	Freq. [Hz]	U _x [%]	U _y [%]	∑U _x [%]	∑U _y [%]
1	0.930	1.070	35.3%	0.0%	35.3%	0.0%
7	0.230	4.355	0.0%	15.1%	41.5%	37.2%
12	0.210	4.767	0.0%	10.1%	51.9%	47.4%
34	0.166	6.041	25.4%	0.0%	77.6%	56.5%

Tabela 2.22 – Somatório da participação Modal na Estrutura para 150 Modos de Vibração

Análise	Direção	Participação Modal [%]	
		Estática	Dinâmica
Modal	U _x	99.91	90.38
	U _y	99.93	95.21

Nas Figuras 2.28 a 2.31 representam-se as deformadas dos modos indicados na Tabela 2.21.

Modo de vibração 1

Participação Modal (x – x): 35.3%

f = 1.07 Hz, T=0.93 s

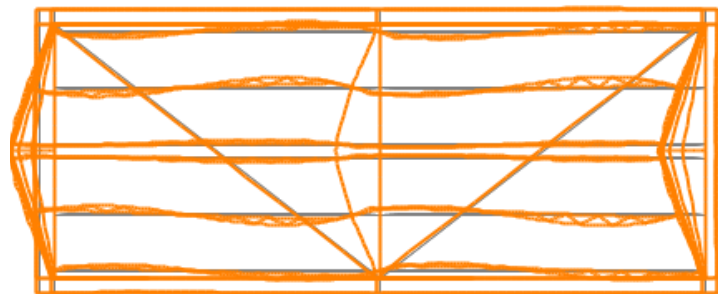


Figura 2.28 – Modo de vibração 1

Modo de vibração 7

Participação Modal (y – y): 15.1%

f = 4.36 Hz, T=0.23 s

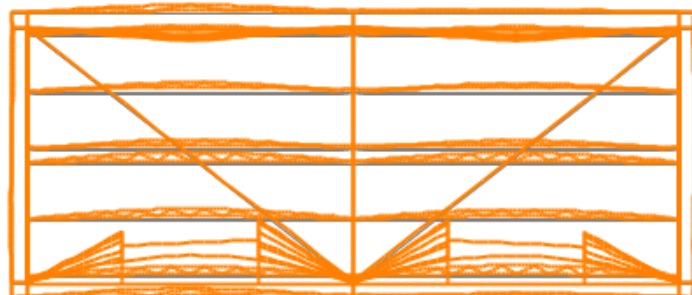


Figura 2.29 – Modo de vibração 7

Modo de vibração 12
Participação Modal (y – y): 10.1%
 $f = 4.77 \text{ Hz}$, $T=0.21 \text{ s}$

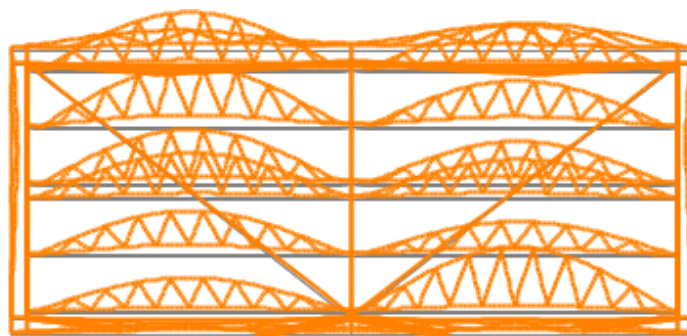


Figura 2.30 – Modo de vibração 12

Modo de vibração 34
Participação Modal (x – x): 25.4%
 $f = 6.04 \text{ Hz}$, $T=0.17\text{s}$

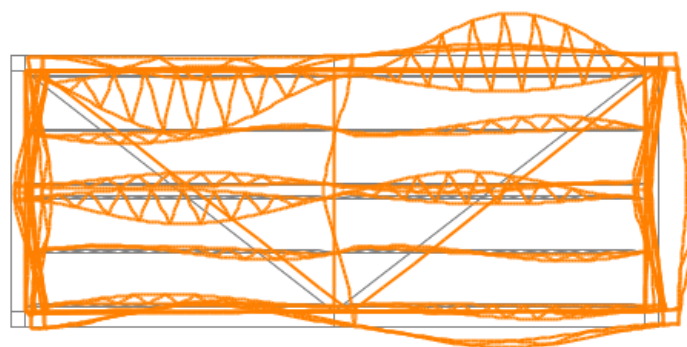


Figura 2.31 – Modo de vibração 34

3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Neste capítulo explica-se como é que foi realizado o pré-dimensionamento dos elementos da estrutura que incluem o pórtico central, as madres da cobertura e dos alçados.

3.1 Elementos Metálicos

3.1.1 Pilares e Travessa do Pórtico Central

O pórtico central do Pavilhão foi pré-dimensionado a partir das seguintes premissas:

a) Características Elásticas e Geométricas

Consideraram-se as mesmas seções para os perfis dos pilares e da travessa.

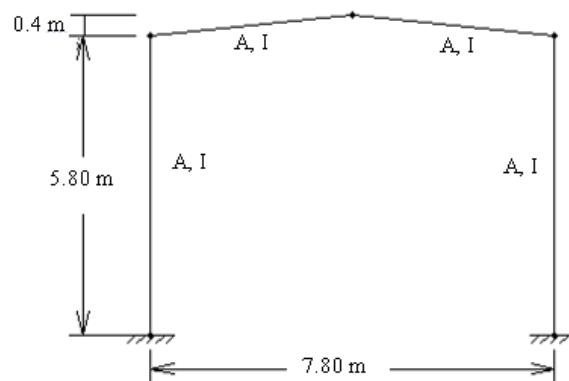


Figura 3.1 – Geometria do Pórtico Central

b) Ações

- Restantes cargas permanentes (RCP) -----1.6 kN/m;
- Sobrecarga (SC)-----15 kN/m;
- Vento (W) -----3.5 kN/m e 5 kN/m.

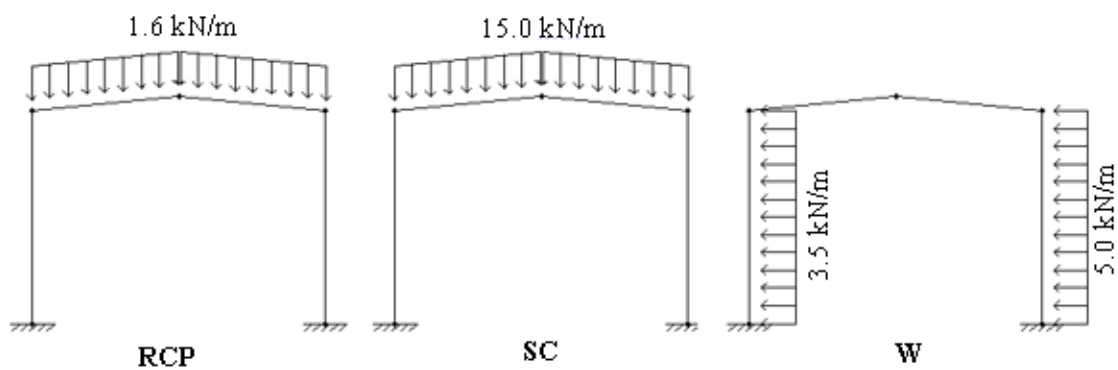


Figura 3.2 – Ações

Com base nas premissas anteriores estudou-se este pórtico, de modo a determinarem-se os esforços e as deformações mais desfavoráveis.

Conclui-se que os esforços máximos de cálculo obtidos nos pilares e na travessa para as combinações mais desfavoráveis, são os indicados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Esforços Máximos de Cálculo nos Pilares e na Travessa

Elementos	$N_{Ed, \max}$ [kN]	$M_{y,Ed, \max}$ [kN.m]
Pilares	-101	109
Travessa	37	109

c) Pré-dimensionamento

– Estados Limites Últimos

O pré-dimensionamento da travessa e dos pilares foi realizado em relação aos estados limites últimos, a partir das expressões 3.1 e 3.2 para elementos sujeitos a flexão composta com compressão, considerando que as secções transversais são da classe 2.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk}} + k_{yy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{y,Rk}} \leq 1.0 \quad (3.1)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times N_{Rk}} + k_{zy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{y,Rk}} \leq 1.0 \quad (3.2)$$

em que:

- $N_{Ed}, M_{y,Ed}$ – Valores de cálculo máximos do esforço de compressão e do momento em relação ao eixo y-y;
- $N_{Rk}, M_{y,Rk}$ – Valores característicos da resistência à compressão e da resistência à flexão em y no elemento;
- χ_y – Coeficiente de redução devido à encurvadura por flexão em relação ao eixo y-y;
- χ_z – Coeficiente de redução devido à encurvadura por flexão em relação ao eixo z-z;
- χ_{LT} – Coeficiente de redução devido à encurvadura lateral (considerou-se o valor unitário);
- K_{yy} – Fator de interação;
- K_{zy} – Fator de interação.

Notas:

- 1 – Para os fatores de interação, K_{yy} e K_{zy} , consideraram-se por segurança os valores de 2 e 1 respetivamente;
- 2 – Uma vez que as madres dos alçados e da cobertura impedem a encurvadura lateral dos pilares e da travessa, considerou-se para χ_{LT} o valor de 1.

3 – Procedeu-se então à elaboração de um conjunto de ábacos da família dos IPE's, que constam das Figuras 3.3 e 3.4 que permitiram proceder ao pré-dimensionamento, com base nas expressões 3.1 e 3.2, tendo em conta os pontos anteriores.

▪ **Ábacos de Pré-dimensionamento dos Pilares**

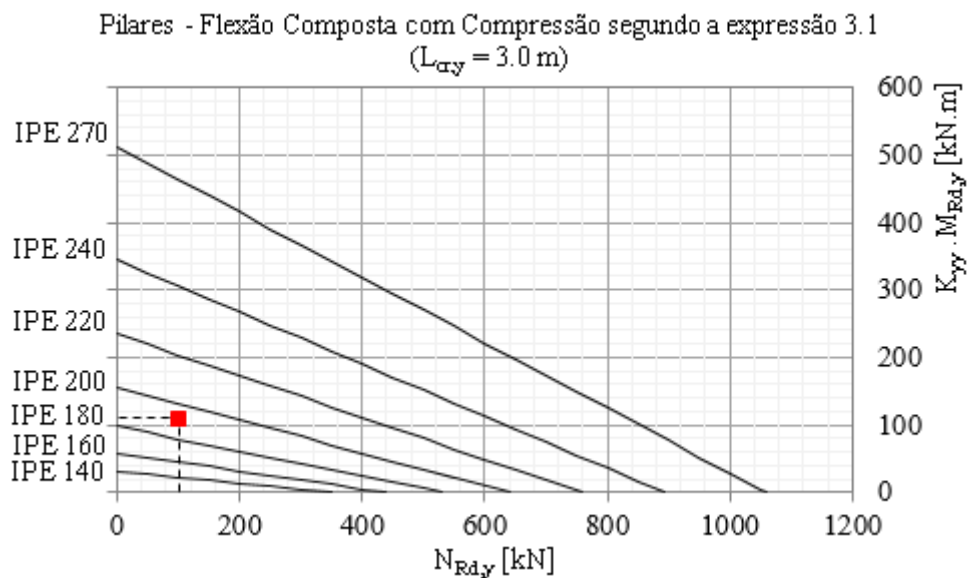


Figura 3.3 – Ábacos de pré-dimensionamento dos Pilares segundo a expressão 1

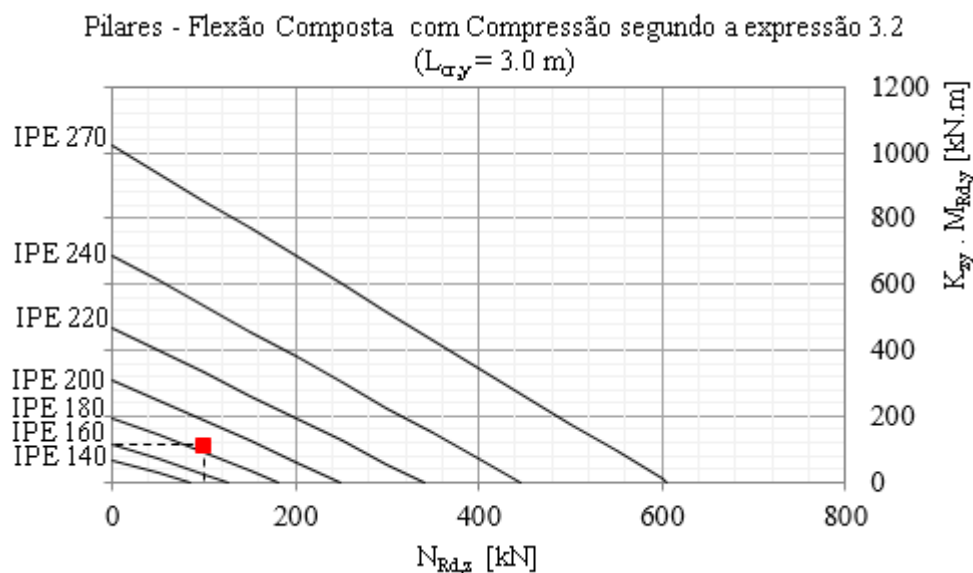


Figura 3.4 – Ábacos de pré-dimensionamento dos Pilares segundo a expressão 2

▪ **Ábacos de Pré-dimensionamento da Travessa**

Travessa - Flexão Composta com Compressão segundo a expressão 3.1
($L_{\alpha y} = 4.0$ m)

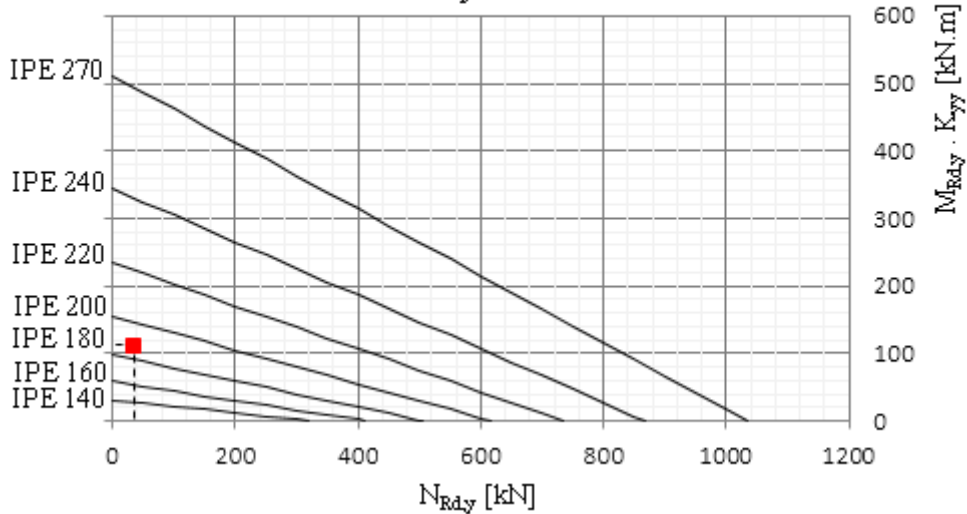


Figura 3.5 – Abacos de pré-dimensionamento da Travessa segundo a expressão 3.1

Travessa - Flexão Composta com Compressão segundo a expressão 3.2
($L_{\alpha y} = 4.0$ m)

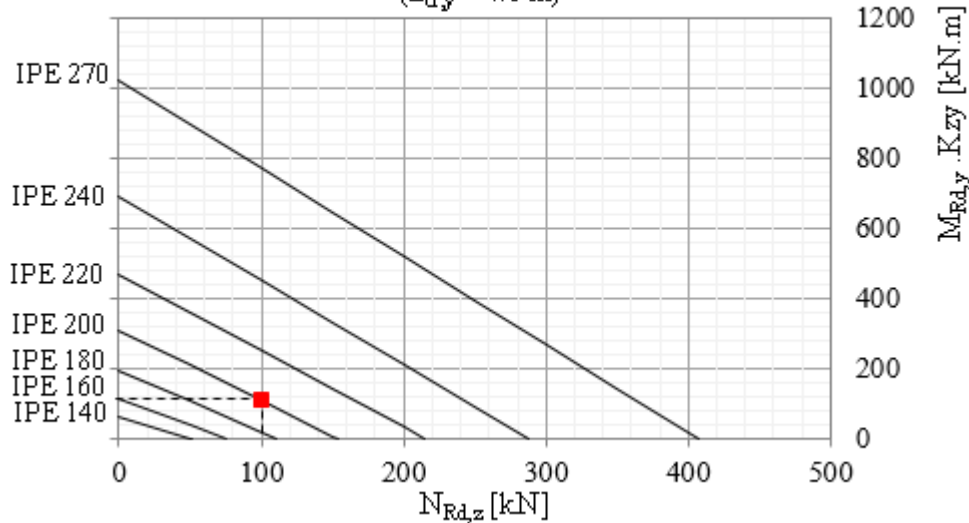


Figura 3.6 – Abacos de pré-dimensionamento da Travessa segundo a expressão 3.2

Conclusão:

Uma vez que estes elementos funcionam como colunas-viga, os perfis mais económicos retirados dos ábacos seriam o IPE 270 para os pilares e o IPE 220 para travessa, tendo em conta que há risco de bambeamento.

– Estados Limites de Utilização

A verificação aos estados limite de deformação foi realizada comparando os deslocamentos máximos admissíveis propostos no EC3-1-1, com os deslocamentos máximos obtidos no pré-dimensionamento deste pórtico.

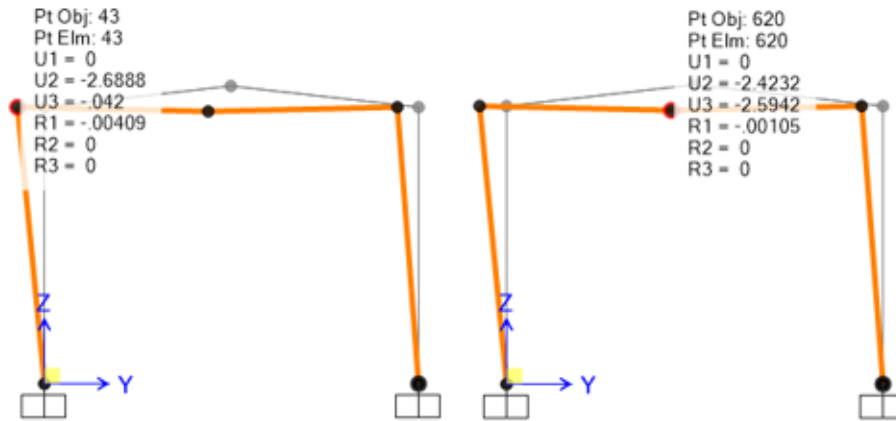


Figura 3.7 – Deslocamentos máximos nos Pilares e na Travessa

Deslocamento máximo horizontal no Pórtico:

$$\delta_h \leq 600/300 = 2 \text{ cm} \leq 2.7$$

Deslocamento máximo vertical na Travessa a meio vão:

$$\delta_v \leq 780/300 = 2.6 \text{ cm} \leq 2.6 \text{ cm}$$

3.1.2 Madres da Cobertura

Para as madres da cobertura que têm vãos de 10 metros, optou-se por vigas treliçadas tipo "Warren", que são soluções estruturais mais económicas em comparação com a dos perfis laminados.

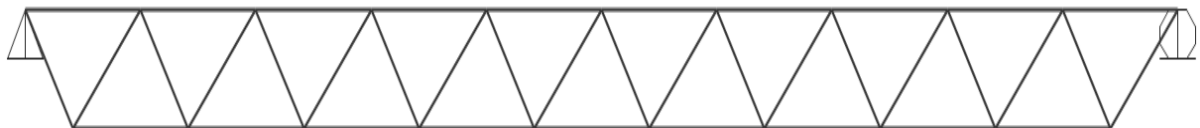


Figura 3.8 – Modelo das Madres da Cobertura

O pré-dimensionamento foi realizado a partir das seguintes premissas:

a) Características Geométricas

- Vão das madres -----L=10m;
- Distância entre madres adjacentes-----1.75m.

b) Combinações de Ações mais desfavoráveis

– Estado Limite Último

$$q_{Ed,ult} = 1.35 \times G + 1.5 \times SC + 1.35 \times PP \quad (3.3)$$

$$q_{Ed,ult} = (1.35 \times 0.10 \text{ kN/m}^2 + 1.5 \times 1.0 \text{ kN/m}^2) \times 1.75\text{m} + 1.35 \times 3.7 \text{ kN/m} = 7.8 \text{ kN/m}$$

– Estado Limite de Utilização

$$q_{Ed,serviço} = 1.0 \times G + 1.0 \times SC + 1.0 \times PP \quad (3.4)$$

$$q_{Ed,serviço} = (1 \times 0.10 \text{ kN/m}^2 + 1 \times 1.0 \text{ kN/m}^2) \times 1.75\text{m} + 1 \times 3.7 \text{ kN/m} = 5.6\text{kN/m}$$

Nota: Estimou-se 3.7kN/m para o peso da madre.

c) Pré-Dimensionamento

– Esforços atuantes de cálculo máximos

Estes esforços foram determinados considerando uma viga de alma cheia com o mesmo vão da viga treliçada e o mesmo carregamento.

$$M_{Ed,max} = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{7.8 \times 10^2}{8} = 97.5 \text{ kN.m} \quad (3.5)$$

$$V_{Ed,max} = \frac{q \times l}{2} = \frac{7.8 \times 10}{2} = 39 \text{ kN} \quad (3.6)$$

Os esforços axiais máximos foram calculados nas diagonais e nos cordões superiores e inferiores da viga treliçada, a partir das expressões 3.6 e 3.7 e conduzem aos seguintes valores:

$$\text{Cordões (UPN)} \rightarrow N = \frac{M_{Ed,ult}}{h} = \frac{97.5}{0.6} = \pm 163 \text{ kN} \quad (3.7)$$

$$\text{Diagonais (L)} \rightarrow N = \frac{M_{Ed,ult}}{L} = \frac{97.5}{10} = 9.8 \text{ kN} \quad (3.8)$$

sendo h a altura da viga treliçada.

Para o pré-dimensionamento/dimensionamento das barras dos cordões exteriores e diagonais interiores comprimidas e tracionadas das madres treliçadas, elaboraram-se os ábacos das Figuras 3.9 e 3.10, baseados nas expressões de dimensionamento de elementos comprimidos do EC3-1-1, através dos quais foi possível escolher os perfis mais económicos.

▪ **Ábacos de Pré-dimensionamento**

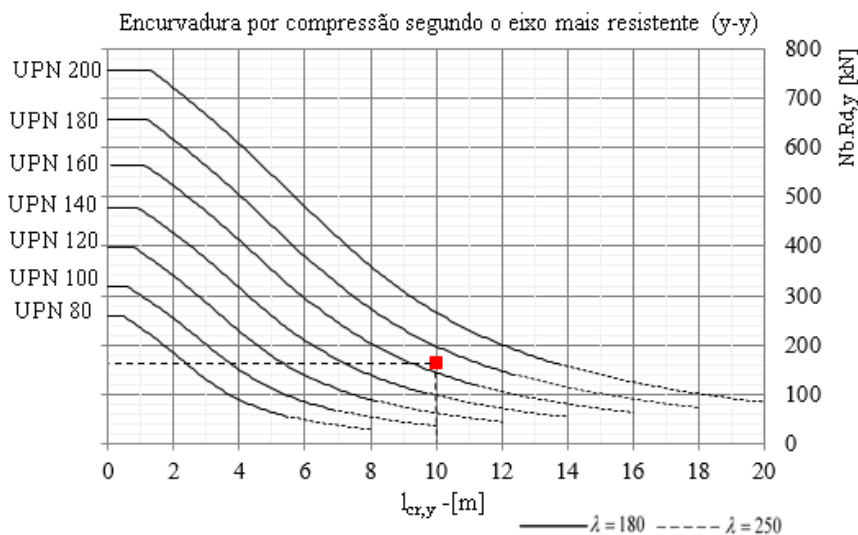


Figura 3.9 – Ábacos de Pré-dimensionamento/Dimensionamento dos Cordões das Madres da Cobertura

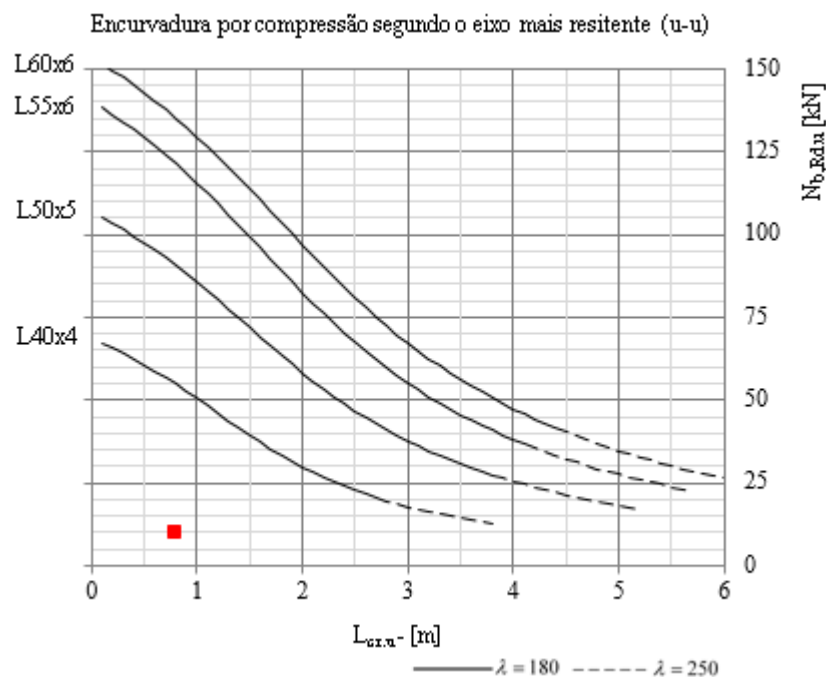


Figura 3.10 – Ábacos de Pré-dimensionamento/Dimensionamento das Diagonais das Madres da Cobertura

Conclusão:

Pelos ábacos anteriores verifica-se que para os cordões comprimidos das madres treliçadas, o perfil mais económico é o UPN 140 e para as diagonais os L 40x4.

3.1.3 Madres dos Alçados

a) Geometria

Nas Figuras 3.11 e 3.12 representam-se as madres dos alçados em perspetiva e em planta com a indicação dos respetivos vãos.

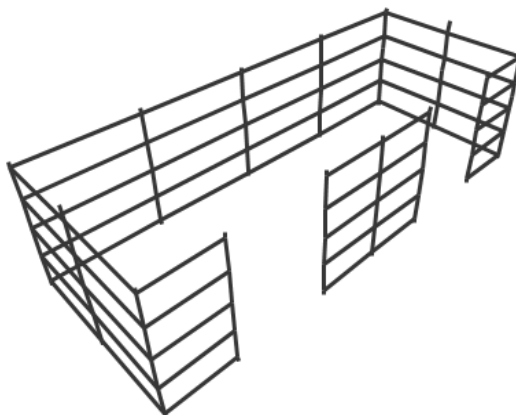


Figura 3.11 – Madres dos Alçados - Vista em 3D

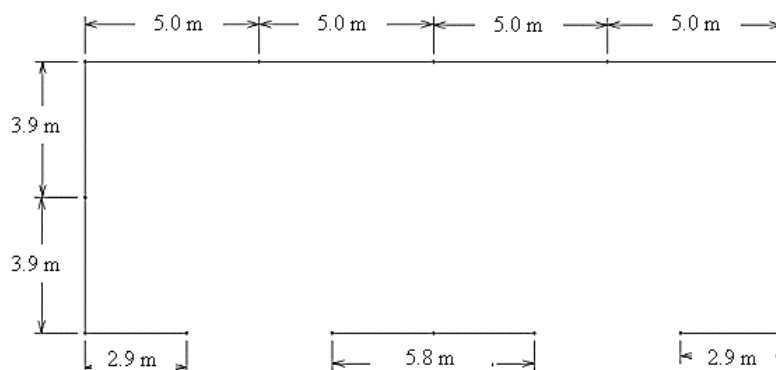


Figura 3.12 – Vão das Madres dos Alçados - Vista em Planta

b) Esforços de cálculos condicionantes

Os esforços de cálculo para as combinações de ações mais condicionantes dos estados limites últimos foram retirados dos ficheiros de resultados do "SAP2000", e constam da Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Esforços Máximos de Cálculo nas Madres dos Alçados

Elemento	$M_{y,Ed, máx}$ [kN.m]	$M_{z,Ed, máx}$ [kN.m]
Madres dos Alçados	5.2	1.1

c) Pré-dimensionamento

Para o pré-dimensionamento das madres dos alçados utilizaram-se as expressões de dimensionamento 3.9, 3.10 e 3.11 para os perfis da serie UPN.

As madres foram calculadas para diferentes vãos e carregamentos, conforme se mostra nos ábacos das Figuras 3.13, 3.15 e 3.16.

– Verificação da Resistência das Secções Transversais

Para a verificação das secções das madres dos alçados foi utilizada a expressão de dimensionamento do EC3-1-1, válida para as secções das classes 1 e 2 sujeitas a flexão desviada:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1 \quad (3.9)$$

em que:

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

No caso das madres do Pavilhão como o esforço axial é pouco significativo, $M_{N,y,Rd}$ é igual a:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.10)$$

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

No caso das madres do Pavilhão como o esforço axial é pouco significativo, $M_{N,z,Rd}$ é igual a:

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.11)$$

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

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

α, β – Parâmetros para tomar em consideração o efeito da flexão desviada (consideraram-se ambas unitárias).

– Ábacos de Pré-dimensionamento

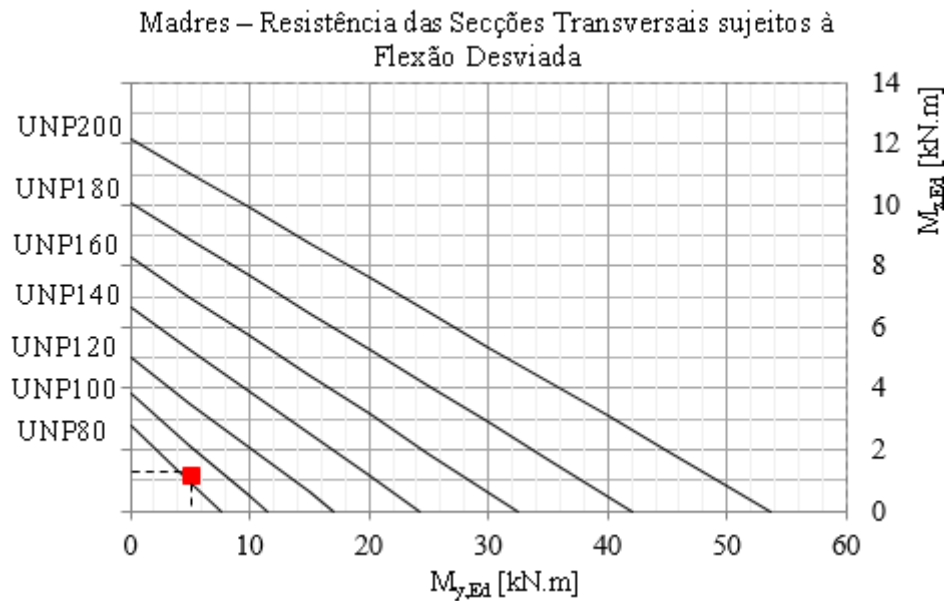


Figura 3.13 – Ábacos do pré-dimensionamento da resistência das secções transversais das Madres dos Alçados

– Verificação da Deformação

Relativamente à deformação das madres o estudo realizado consistiu em:

1 – Determinação da flecha máxima para uma viga simplesmente apoiada com um vão de 5.0m

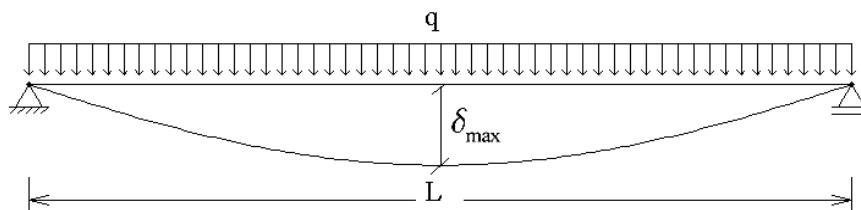


Figura 3.14 – Flecha máxima de uma viga simplesmente apoiada

$$\delta_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{q \times L^4}{E \times I_y} = \frac{L}{200} \quad (3.12)$$

em que:

L – Vão da viga (m);

E – Módulo de elasticidade (N/m²);

I – Inércia da viga (m⁴);

q – Carga por metro corrente da viga (kg/m).

2 – Determinação do valor da carga máxima constante no vão de 5.0 m que a viga é capaz de resistir.

3 – Cálculo do momento máximo determinado no ponto anterior:

$$M_{\text{máx}} = \frac{q \times l^2}{8} \quad (3.13)$$

4 – Elaboração dos ábacos da Figura 3.15, em que $M_{y,Rd}$ é função de carregamento máximo devido à deformação (e não em função da resistência da secção transversal).

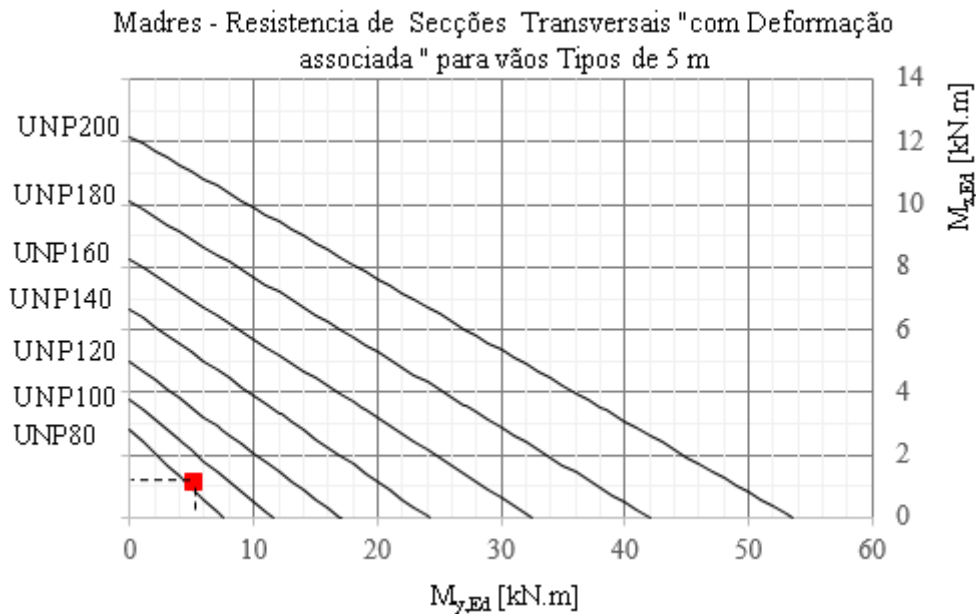


Figura 3.15 – Ábaco do pré-dimensionamento das Madres dos Alçados

Esta metodologia foi realizada para vãos de 1 m a 5 m, de modo a poderem-se obter ábacos do mesmo tipo da Figura 3.15, que permitem a seleção dos perfis mais económicos das madres do Pavilhão.

Ábacos de Pré-dimensionamento de Vigas simplesmente apoiada com cargas uniformemente distribuída para uma Flecha máxima de $L/200$

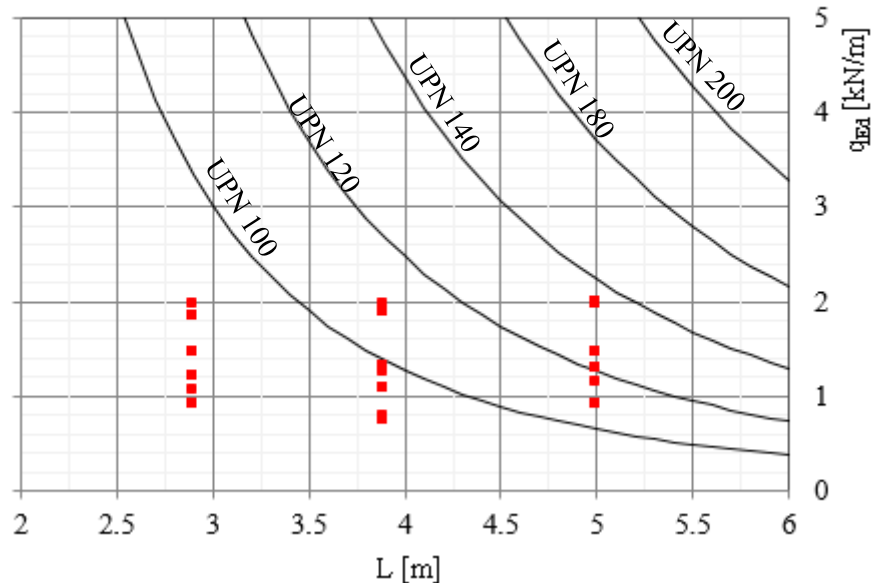


Figura 3.16 – Ábacos do pré-dimensionamento das Madres dos Alçados

Conclusões:

- 1 – Conclui-se que as madres pré-dimensionadas dos alçados são condicionadas pelas deformações.
- 2 – Pelos ábacos das figuras anteriores é possível escolher os perfis em função dos vãos e dos carregamentos condicionantes para os estados limites de utilização.
- 3 – Os momentos resistentes segundo o eixo mais fraco são pouco significativos, e as flechas não são condicionantes segundo este eixo, uma vez que o peso das madres e das chapas dos revestimentos é pouco significativo comparativamente com as ações do vento.

3.1.4 Pré-dimensionamento das Platibandas, Pilares Secundários e Travamentos da Cobertura e dos Alçados

Estes elementos foram pré-dimensionados recorrendo também aos ábacos, que foram elaborados para este Projeto, e que permitiram de um modo simples escolher os perfis mais adequados para os esforços de cálculo mais desfavoráveis.

Dentro dos perfis laminados existentes no mercado optaram-se pelos indicados na Tabela 3.3:

Tabela 3.3 – Esqueleto Estrutural Secundário - Perfis

Elementos Estruturais	Perfis
Platibandas	UPN's e Cantoneiras
Pilares Secundários	IPE's e HEB's
Travamentos da Cobertura	Tubos retangulares
Travamentos dos Alçados	Tubos retangulares

Ábacos de Pré-dimensionamento dos perfis das Platibandas

▪ Cordões Superiores e Inferiores

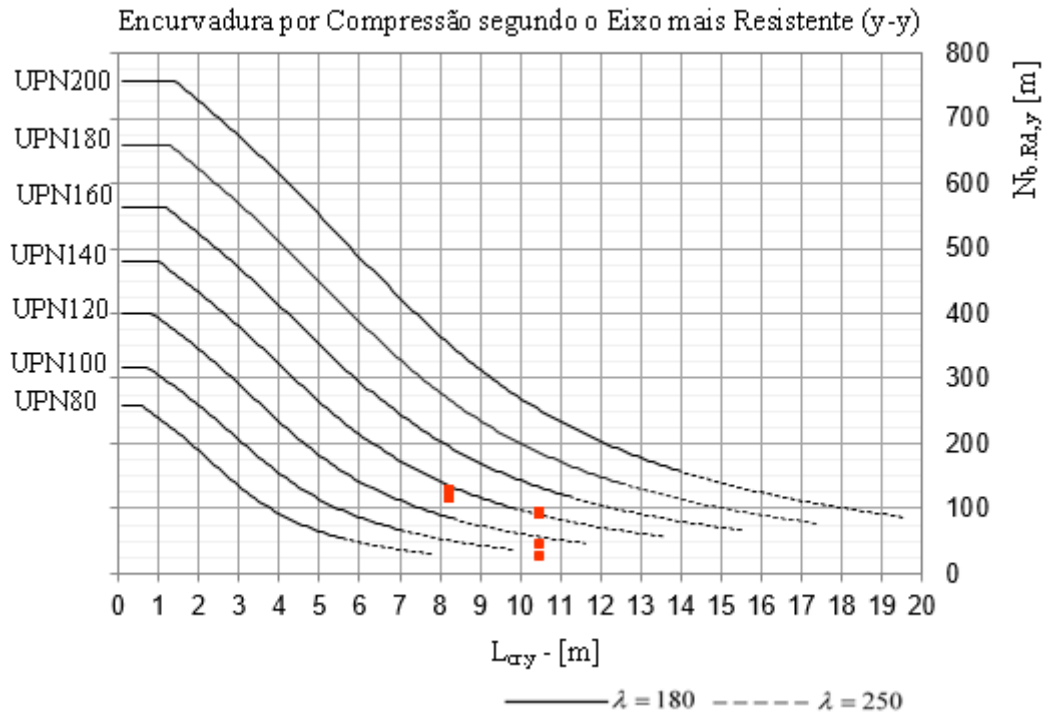


Figura 3.17 – Ábacos do pré-dimensionamento dos Cordões $N_{b,Rd,y}$

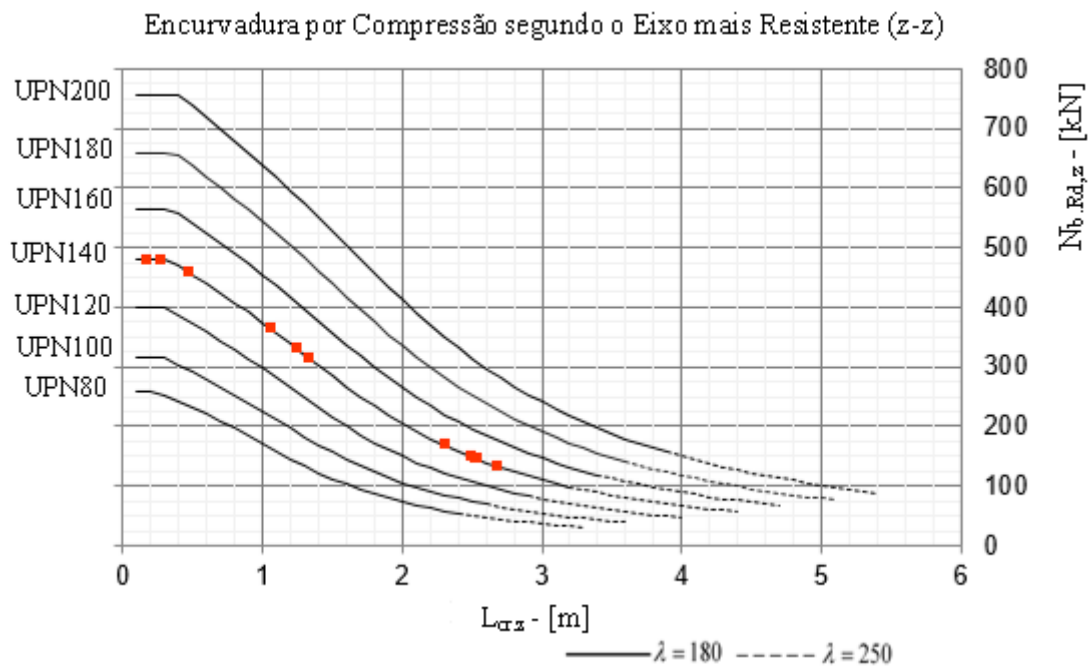


Figura 3.18 – Ábacos de Pré-dimensionamento dos Cordões $N_{b,Rd,z}$

- Prumos

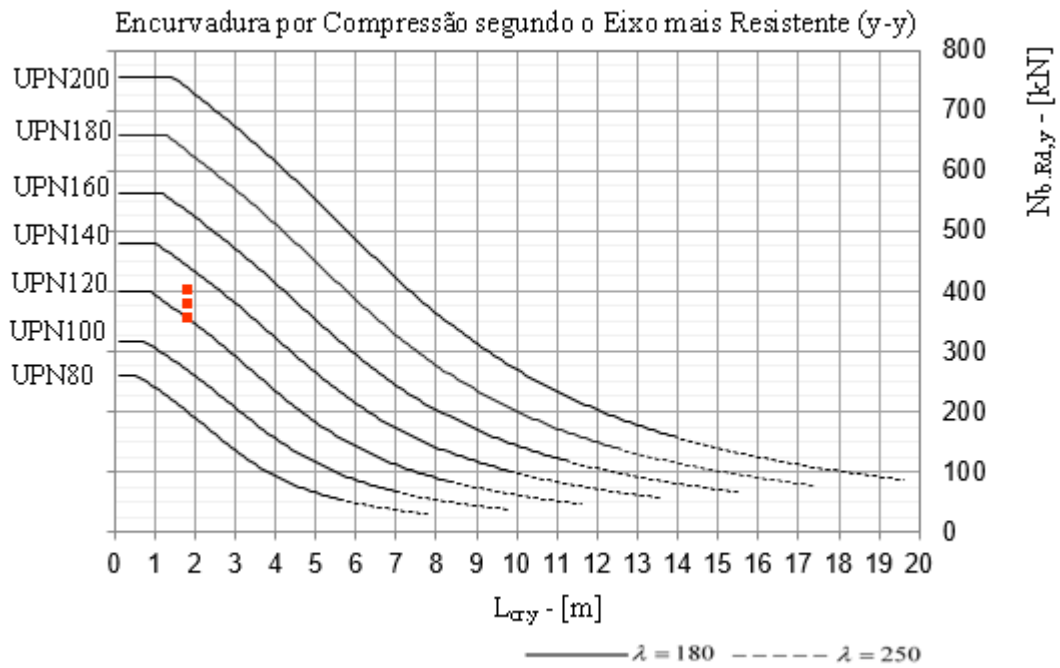


Figura 3.19 – Ábacos do pré-dimensionamento dos Prumos $N_{b,Rd,y}$

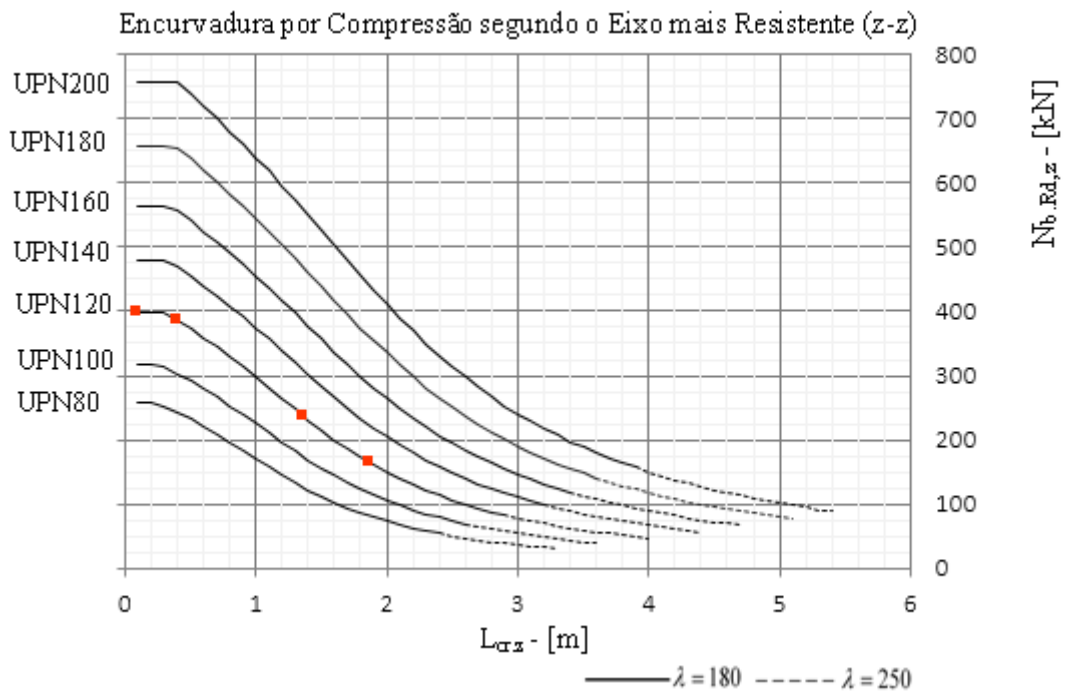


Figura 3.20 – Ábacos de pré-dimensionamento dos prumos $N_{b,Rd,z}$

▪ **Diagonais**

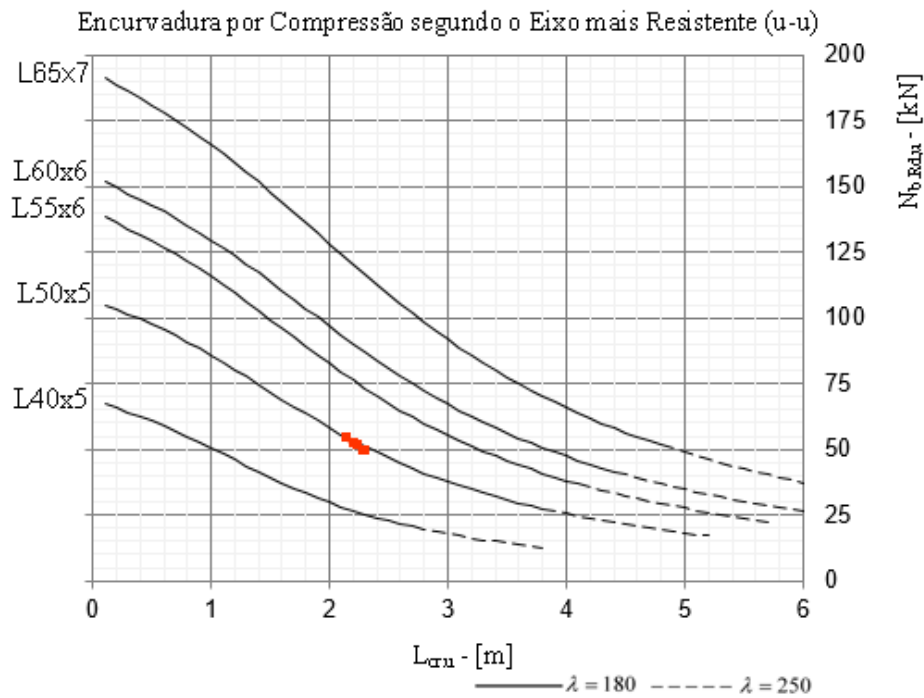


Figura 3.21 – Ábacos de pré-dimensionamento dos Diagonais $N_{b,Rd,u}$

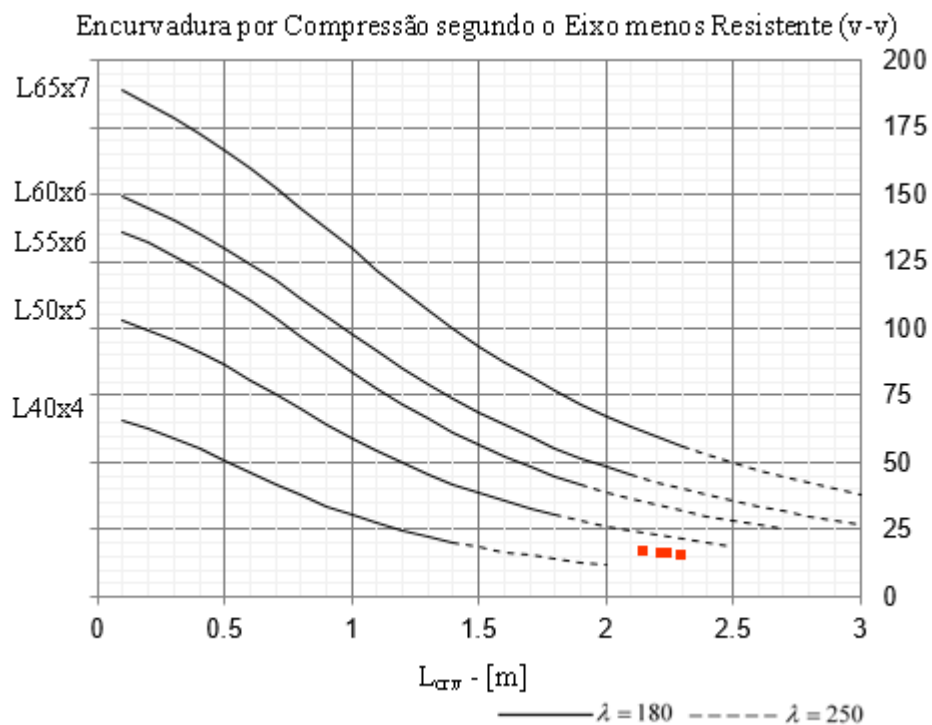


Figura 3.22 – Ábacos de pré-dimensionamento dos Diagonais $N_{b,Rd,v}$

Conclusão:

Verifica-se pelos ábacos das Figuras 3.17 a 3.22 que os perfis mais económicos para os cordões, prumos e diagonais das platibandas são o UPN 140, o UPN 120 e o L 50x5 respetivamente.

Ábacos de Pré-dimensionamento dos Pilares Secundários IPE's e HEB's

▪ Pilares secundários IPE's

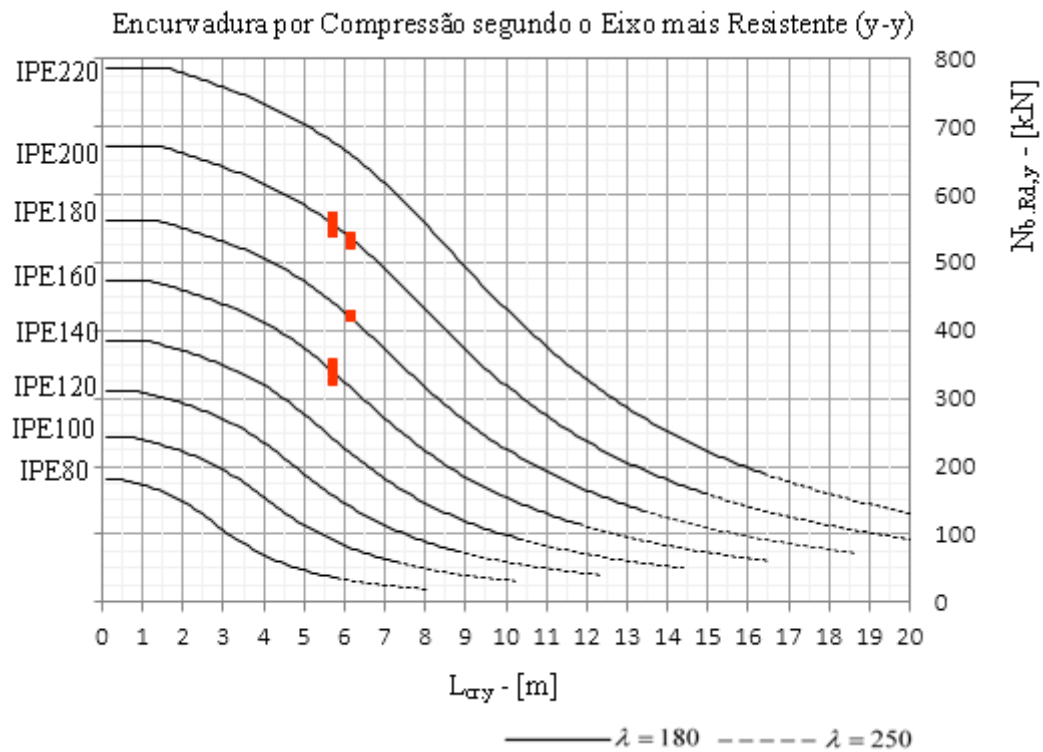


Figura 3.23 – Ábacos de pré-dimensionamento dos Pilares $N_{b,Rd,y}$

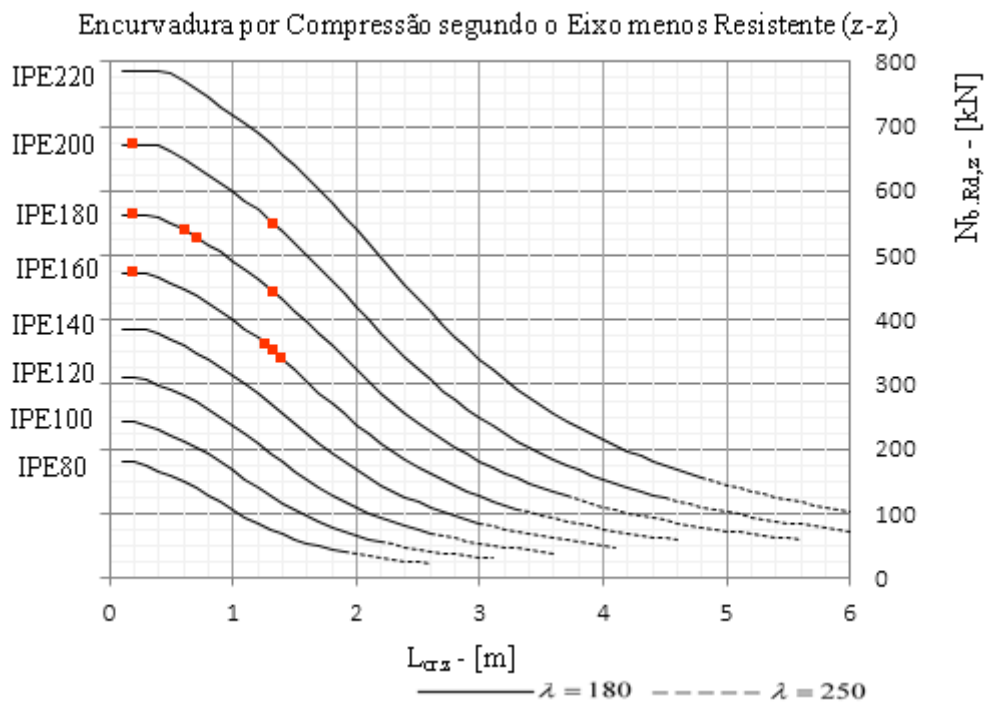


Figura 3.24 – Ábacos de pré-dimensionamento dos Pilares $N_{b,Rd,z}$

▪ **Pilares secundários HEB's**

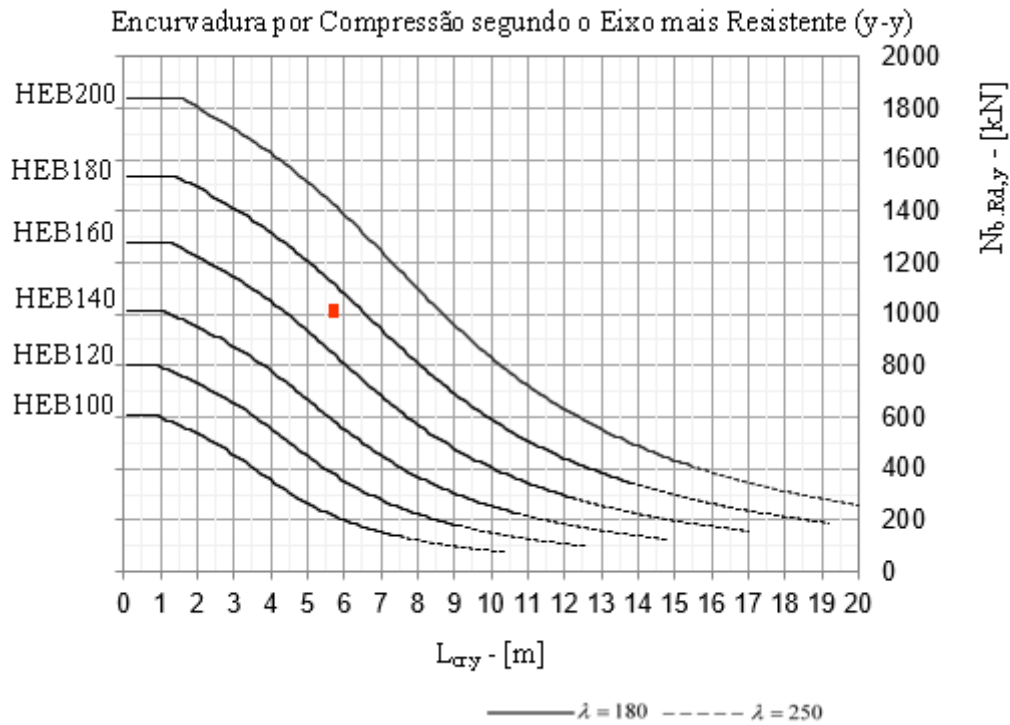


Figura 3.25 – Ábacos de pré-dimensionamento dos Pilares $N_{b,Rd,y}$

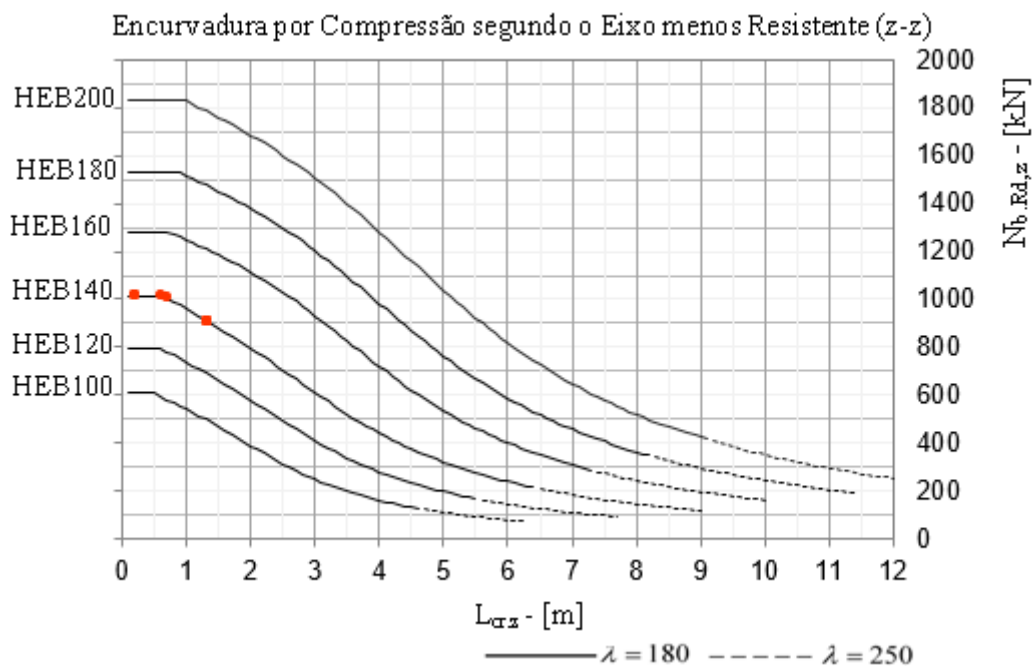


Figura 3.26 – Ábacos do Pré-dimensionamento dos pilares $N_{b,Rd,z}$

Conclusão:

Os ábacos das Figuras 3.21 e 3.26 mostram que os perfis mais económicos são:

- Pilares extremos dos alçados das empenas HEB140;
- Pilares centrais dos alçados das empenas IPE180;
- Pilares dos portões IPE200 e IPE160.

Ábacos de Pré-dimensionamento dos Travamentos da Cobertura e dos Alçados

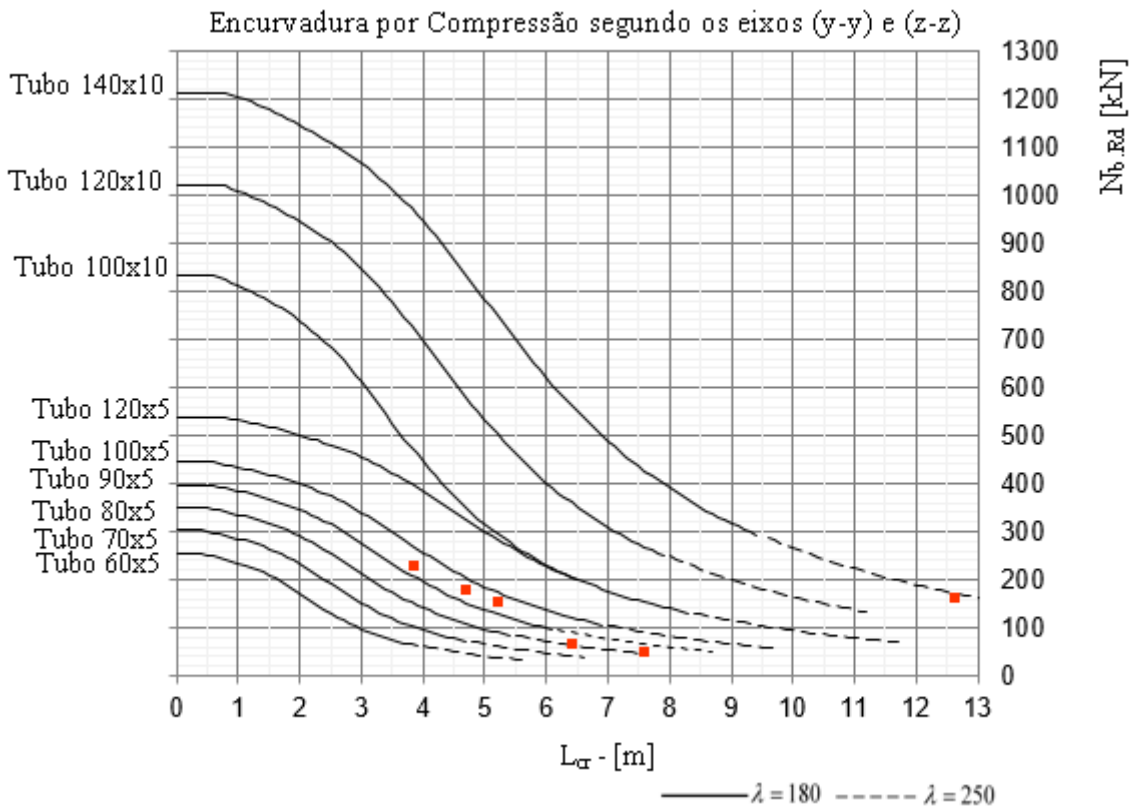


Figura 3.27 – Ábacos de Pré-dimensionamento dos perfis Tubulares quadrados $N_{bRd,y}$ e $N_{bRd,z}$

Conclusão:

Com base nos esforços de cálculo resultantes do pré-dimensionamento constata-se pelos ábacos da Figura 3.27, que os perfis ideais para os travamentos da cobertura e dos alçados são na cobertura tubos 140x10, nos alçados de topo tubos 100x5 e nos alçados laterais tubos 80x5.

3.2 Elementos de Betão Armado

3.2.1 Plintos

O pré-dimensionamento dos plintos de suporte dos pilares metálicos do Pavilhão foi realizado em função das dimensões das chapas base, da geometria, do número e da posição dos chumbadores.

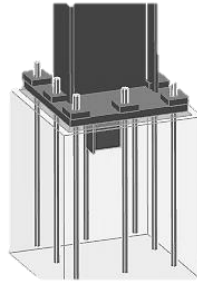


Figura 3.28 – Plinto Tipo de suporte de um dos Pilares metálicos do Pavilhão

A Tabela 3.4 define as dimensões consideradas no pré-dimensionamento de todos os plintos do Pavilhão.

Tabela 3.4 – Dimensões dos Plintos

Plintos	a [m]	b [m]	Altura H [m]
P1	0.42	0.42	1.7
P2	0.25	0.30	1.7
P3	0.25	0.30	1.7
P4	0.42	0.42	1.7
P5	0.25	0.30	1.7
P6	0.25	0.30	1.7
P7	0.42	0.42	1.7
P8	0.42	0.42	1.7
P9	0.25	0.30	1.7
P10	0.42	0.42	1.7
P11	0.25	0.30	1.7
P12	0.42	0.42	1.7
P13	0.30	0.25	1.7
P14	0.30	0.25	1.7

3.2.2 Sapatas

O pré-dimensionamento foi feito com base nos esforços máximos na base das sapatas, para as combinações raras de ações e para a tensão admissível do solo de fundação.

Foram escolhidas sapatas rígidas cujas alturas obedeceram ao seguinte critério de rigidez:

$$H \geq \frac{a'}{2} \quad (3.14)$$

em que:

H – Altura da sapata;

a' – Distância entre a face do pilar e a face exterior da sapata.

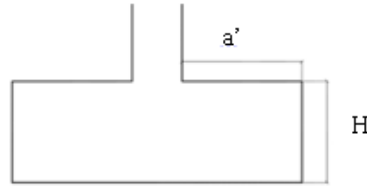


Figura 3.29 – Definição da altura das sapatas rígidas

Para o cálculo da geometria em planta das sapatas foram consideradas as seguintes expressões:

$$1 - \sigma_{\text{rotura do solo}} = \frac{\sigma_{\text{adm}}}{3} \quad (3.15)$$

$$2 - N_{\text{bp, total}} = N_{\text{bp}} + PP_{\text{sapata}} \quad (3.16)$$

$$3 - \sigma_{\text{solo}} = \sigma_{\text{adm}} \quad (3.17)$$

em que:

σ_{rotura} – Tensão de rotura do solo de fundação;

σ_{adm} – Tensão admissível no terreno de fundação;

PP_{sapata} – Peso próprio da sapata;

N_{bp} – Esforço axial na base do pilar;

Uma vez que os momentos fletores nos plintos são absorvidos diretamente pelas vigas de fundação as dimensões das sapatas, A x B foram calculadas apenas para os esforços axiais centrados a partir da expressão:

$$A_{\text{min}} \geq \frac{N_{\text{bp}}}{\sigma_{\text{adm}}} \quad (3.18)$$

em que:

A – Área da sapata em contacto com o solo;

N_{bp} – Esforço axial na base do pilar;

σ_{adm} – Tensão admissível do terreno de fundação.

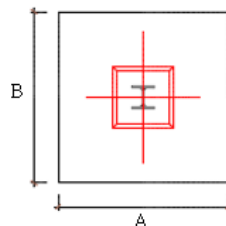


Figura 3.30 – Planta com as dimensões das Sapatas

Na Tabela 3.5 resumem-se os cálculos realizados para o pré-dimensionamento das sapatas.

Tabela 3.5 – Pré-dimensionamento das sapatas

Sapatas	Dimensões das Sapatas			Dimensões dos Plintos		Verificação do Critério de Rigidez			H [m] adopt.
	A [m]	B [m]	H _{arbitrado} [m]	a [m]	B [m]	a'	a'/2	H ≥ a'/2	
S1	1.2	1.2	1.0	0.42	0.42	0.39	0.20	Verifica	1.0
S2	1.0	1.0	1.0	0.30	0.25	0.35	0.18	Verifica	1.0
S3	1.2	1.2	1.0	0.42	0.42	0.39	0.20	Verifica	1.0

3.2.3 Vigas de Fundação

No pré-dimensionamento das vigas de fundação foi utilizada a seguinte expressão:

$$h \text{ (m)} = \frac{L \text{ (m)}}{10 \text{ a } 12} \quad (3.19)$$

em que:

h – Altura da viga;

L – Vão da viga.

Relativamente à largura das vigas, b, consideraram-se para dimensões valores compreendidos entre h/2 e h/3.

Tabela 3.6 – Pré-dimensionamento das Vigas de Fundação

Vigas	L [m]	L/10	h _{adopt.} [m]	b _{adopt.} [m]
VF1.1	2.9	0.29	0.60	0.30
VF1.2	4.2	0.42	0.60	0.30
VF1.3	2.9	0.29	0.60	0.30
VF1.4	2.9	0.29	0.60	0.30
VF1.5	4.2	0.42	0.60	0.30
VF1.6	2.9	0.29	0.60	0.30
VF1.7	5.0	0.50	0.60	0.30
VF1.8	5.0	0.50	0.60	0.30
VF1.9	5.0	0.50	0.60	0.30
VF1.10	5.0	0.50	0.60	0.30
VF2.1	3.9	0.39	0.60	0.30
VF2.2	3.9	0.39	0.60	0.30
VF2.3	3.9	0.39	0.60	0.30
VF2.4	3.9	0.39	0.60	0.30
VF3	7.9	0.79	0.80	0.30

4 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA METÁLICA

Neste capítulo apresenta-se o dimensionamento da Estrutura Metálica do Pavilhão, realizado com base nas envolventes máximas dos esforços de cálculo, obtidos nos ficheiros de resultados do "SAP2000", para todas as combinações de ações referentes aos estados limites últimos e utilização.

Para o dimensionamento realizado procedeu-se à elaboração de uma Tabela Geral de Cálculo, que inclui todas as expressões de dimensionamento do EC3-1-1, utilizadas na verificação das seções transversais, bem como a análise de elementos funcionando como colunas, vigas e colunas-viga em que os processos de encurvadura são na maioria dos casos mais condicionantes.

Complementarmente usaram-se outros *softwares*, tais como o "LTbeam" para a determinação dos momentos críticos, e o "A3C" no dimensionamento de colunas-viga.

Nos dimensionamentos procurou-se sempre fazer uma comparação dos resultados obtidos na Tabela Geral de Cálculo com os outros *softwares*.

4.1 Análise Estrutural

Como já foi referido na Memória Descritiva, a determinação dos esforços e deslocamentos nas estruturas, pode ser realizada recorrendo a uma análise de primeira ordem ou de segunda ordem.

Na análise de primeira ordem os esforços e deslocamentos podem ser calculadas para todas as combinações de ações se forem verificadas as seguintes condições:

- $\alpha_{cr} \geq 10$, em análise elástica;
- $\alpha_{cr} \geq 15$, em análise plástica.

O parâmetro, α_{cr} , pode ser determinado em pórticos com travessas pouco inclinadas, a partir do método simplificado de "Horne", proposto pelo EC3-1-1, através da expressão:

$$\alpha_{cr} = \frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \times \frac{h}{\delta_{H,Ed}} \quad (4.1)$$

em que:

H_{Ed} – Reação horizontal total na base do pórtico;

V_{Ed} – Reação vertical total na base do pórtico;

h_i – Altura do pórtico;

$\delta_{H,Ed}$ – Deslocamento horizontal relativo entre o topo e a base do pórtico.

Nas Tabelas 4.1 e 4.2 indicam-se os resultados obtidos para o parâmetro " α_{cr} ", do pórtico central do Pavilhão, para as combinações de ações mais condicionantes dos estados limites últimos.

Tabela 4.1 – Parâmetros " α_{cr} " do Pórtico Central

Combinações de Ações	$\delta_{H,Ed}$ [m]	V_{Ed} [kN]	H_{Ed} [kN]	" α_{cr} "
ELU_SC (Temp+ _ Wx)	0.008	168.3	30.4	144
ELU_SC (Temp- _ Wx)	0.006	193.5	30.1	144
ELU_SC (Temp+ _ Wx1)	0.007	184.0	36.6	162
ELU_SC (Temp- _ Wx1)	0.006	209.2	36.3	164
ELU_SC (Temp+ _ Wxx)	0.008	168.1	30.1	142
ELU_SC (Temp- _ Wxx)	0.006	193.3	29.8	142
ELU_SC (Temp+ _ Wxx1)	0.007	183.8	36.3	162
ELU_SC (Temp- _ Wxx1)	0.006	209.0	36.1	165
ELU_SC (Temp+ _ Wy)	0.010	183.5	25.7	86
ELU_SC (Temp- _ Wy)	0.009	208.7	25.4	83
ELU_SC (Temp+ _ Wy1)	0.009	200.0	32.1	108
ELU_SC (Temp- _ Wy1)	0.008	225.2	31.9	108
ELU_SC (Temp+ _ Wyy)	0.003	172.9	29.8	310
ELU_SC (Temp- _ Wyy)	0.002	198.1	29.5	390
ELU_SC (Temp+ _ Wyy1)	0.003	194.3	33.1	328
ELU_SC (Temp- _ Wyy1)	0.002	219.5	32.8	432
ELU_Wx (Temp+)	0.003	8.2	5.6	1271
ELU_Wx (Temp-)	0.002	17.0	5.3	854
ELU_Wx1 (Temp+)	0.003	18.0	15.9	1778
ELU_Wx1 (Temp-)	0.002	43.2	15.6	1120
ELU_Wxx (Temp+)	0.003	8.4	5.1	1114
ELU_Wxx (Temp-)	0.002	16.8	4.8	778
ELU_Wxx1 (Temp+)	0.003	17.7	15.6	1817
ELU_Wxx1 (Temp-)	0.002	42.9	15.3	1151
ELU_Wy (Temp+)	0.007	17.2	4.3	214
ELU_Wy (Temp-)	0.006	42.3	4.3	101
ELU_Wy1 (Temp+)	0.006	44.6	8.5	206
ELU_Wy1 (Temp-)	0.005	69.8	8.3	156

Tabela 4.2 – Parâmetros " α_{cr} " do Pórtico Central (cont.)

Combinação de Ação	$\delta_{H,Ed}$ [m]	V_{Ed} [kN]	H_{Ed} [kN]	" α_{cr} "
ELU_Wyy (Temp+)	-0.004	2.8	4.6	2648
ELU_Wyy (Temp-)	-0.005	24.6	4.3	221
ELU_Wyy1 (Temp+)	-0.004	35.2	10.2	423
ELU_Wyy1 (Temp-)	-0.005	60.3	9.9	191
ELU_Temp+ (Wx)	0.003	5.7	8.6	2720
ELU_Temp- (Wx)	0.002	47.7	8.1	639
ELU_Temp+ (Wx1)	0.003	21.4	14.8	1303
ELU_Temp- (Wx1)	0.001	63.4	14.3	939
ELU_Temp+ (Wxx)	0.003	5.5	8.3	2688
ELU_Temp- (Wxx)	0.002	47.5	7.8	613
ELU_Temp+ (Wxx1)	0.003	21.2	14.5	1315
ELU_Temp- (Wxx1)	0.001	63.2	14.1	961
ELU_Temp+ (Wy)	0.006	20.9	3.9	200
ELU_Temp- (Wy)	0.004	62.8	3.5	84
ELU_Temp+ (Wy1)	0.005	37.3	10.3	351
ELU_Temp- (Wy1)	0.003	79.3	9.9	249
ELU_Temp+ (Wyy)	-0.001	10.3	8	5446
ELU_Temp- (Wyy)	-0.003	52.2	7.5	333
ELU_Temp+ (Wyy1)	-0.001	31.7	11.3	1997
ELU_Temp- (Wyy1)	-0.003	73.7	10.8	314
ELU_Sismo1X	0.001	53.7	9.3	838
ELU_Sismo1y	0.001	53.1	9.3	730
ELU_Sismo2X	0.001	53	9.4	720
ELU_Sismo2y	0.002	51.1	9.6	507

Uma vez que todas as combinações condicionantes do pórtico central conduzem a $\alpha_{cr} \geq 10$, os comprimentos críticos dos pilares do pórtico são determinados considerando que o mesmo apresenta um comportamento "Non - Sway".

Em relação aos pórticos das empenas, constituídos por sistemas triangulares indeformáveis, os deslocamentos para todas as combinações de ações não tem significado, pelo que os pilares tem também um comportamento "Non - Sway".

4.2 Dimensionamento do Pórtico Central do Pavilhão

O Pavilhão é constituído por três pórticos principais como se representa na Figura 4.1.

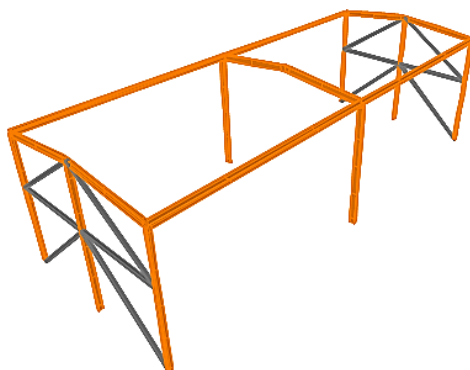


Figura 4.1 – Pórtico do Pavilhão

Foram realizadas três Análises de modo a proceder-se ao dimensionamento dos pilares e da travessa do pórtico central.

- Análise 1 – Através do programa "SAP2000";
- Análise 2 – Com recurso ao *software* "A3C";
- Análise 3 – Utilização da Tabela Geral do Cálculo em "Excel", anteriormente já referida, que reúne todas as expressões de dimensionamento do EC3-1-1, que constam nos fluxogramas da Memória Descritiva.

4.2.1 Estados Limites Últimos

A verificação da segurança aos Estados Limites Últimos foi feita para as barras dos pilares e da travessa do pórtico, para a combinação de ações mais condicionante, tendo-se escolhido as barras com maiores rácios de dimensionamento do "SAP2000".

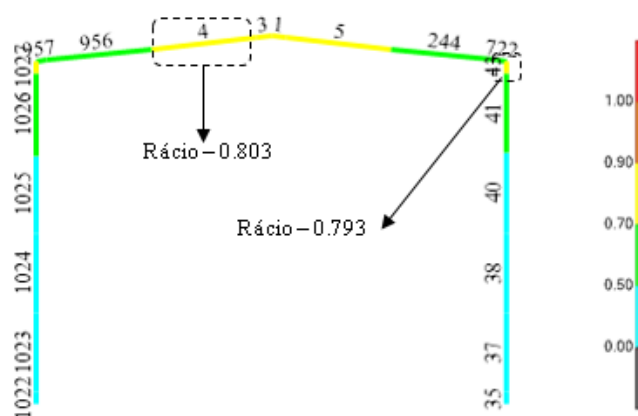


Figura 4.2 – Identificação das Barras e Rácios

Na Tabela 4.3 estão indicados os rácios de dimensionamento das barras dos pilares e da travessa no pórtico para as combinações de ações mais desfavoráveis.

Tabela 4.3 – Rácios das Barras do Pórtico Central

Elementos	Barras N°	Perfis	Combinações de Ações	Rácios
Travessa	956	IPE270	ELU_SC (Temp+_ Wx)	0.559
	957	IPE270	ELU_SC (Temp+_ Wyy1)	0.628
	1	IPE270	ELU_SC (Temp-_ Wxx1)	0.704
	3	IPE270	ELU_SC (Temp-_ Wxx1)	0.703
	4	IPE270	ELU_SC (Temp-_ Wxx1)	0.803
	5	IPE270	ELU_SC (Temp-_ Wxx1)	0.799
	244	IPE270	ELU_SC (Temp+_ Wx)	0.593
	722	IPE270	ELU_SC (Temp+_ Wy1)	0.675
Pilares	35	IPE270	ELU_SC (Temp-_ Wy)	0.435
	37	IPE270	ELU_SC (Temp-_ Wy)	0.397
	38	IPE270	ELU_SC (Temp-_ Wxx)	0.309
	40	IPE270	ELU_SC (Temp-_ Wx1)	0.489
	41	IPE270	ELU_SC (Temp-_ Wy1)	0.674
	43	IPE270	ELU_SC (Temp-_ Wy1)	0.793
	1022	IPE270	ELU_SC (Temp-_ Wyy1)	0.324
	1023	IPE270	ELU_SC (Temp-_ Wyy1)	0.300
	1024	IPE270	ELU_SC (Temp-_ Wxx)	0.284
	1025	IPE270	ELU_SC (Temp-_ Wx1)	0.432
	1026	IPE270	ELU_SC (Temp-_ Wy1)	0.626
	1027	IPE270	ELU_SC (Temp-_ Wx1)	0.719

4.2.1.1 Pilares do Pórtico

Análise 1 – Através do programa "SAP2000"

O pilar em estudo comporta-se como coluna-viga, ou seja, está sujeito a esforços de compressão N_{Ed} e flexão $M_{y,Ed}$ e $M_{z,Ed}$ (este pouco significativo).

O dimensionamento foi feito à flexão composta com compressão com base nos diagramas indicados na Figura 4.3.

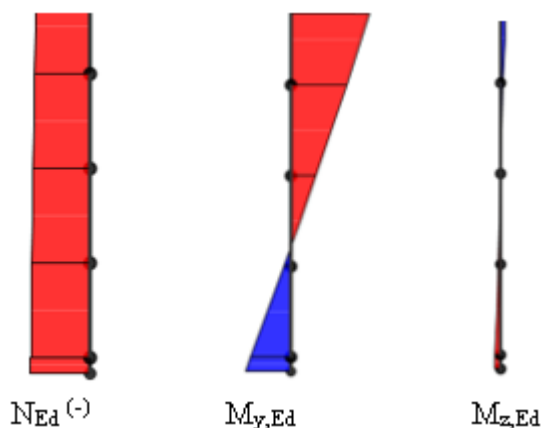


Figura 4.3 – Diagrama dos esforços de cálculo no pilar para a combinação de ações condicionante

Tabela 4.4 – Esforços de Cálculo no Pilar para a combinação de ações condicionantes

Combinação condicionante	Esforços Atuantes de Cálculo				
	N _{Ed} [kN]	M _{y,Ed} [kN.m]		M _{z,Ed} [kN.m]	
		Secção no topo	Secção na base	Secção no topo	Secção na base
ELU_SC (Temp- _ Wy1)	- 117.85	-73.62	33.97	0.03	-0.004

Na Figura 4.4 apresenta-se a folha de dimensionamento do ficheiro de resultados do "SAP2000" do pilar, que reúne um conjunto de informações agrupadas em 9 itens:

- 1 – Número da barra, comprimento, perfil, classe da secção e combinação condicionante;
- 2 – Coeficientes parciais de segurança das secções e dos elementos;
- 3 – Características geométricas e elásticas do perfil IPE 270;
- 4 – Esforços de cálculo para a combinação condicionante;
- 5 – Dimensionamento da coluna-viga à flexão com compressão a partir da expressão 6.61 do EC3-1-1;
- 6 – Dimensionamento da secção à compressão e à tração;
- 7 – Dimensionamento do troço da barra à compressão (coluna);
- 8 – Dimensionamento do troço da barra à encurvadura lateral por flexão;
- 9 – Fatores de interação (dimensionamento à flexão composta + compressão).

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
 Units : KN, m, C

1	Frame : 43 X Mid: 10.000 Combo: ELU_SC(Temp_Wy1)Design Type: Column Length: 0.208 Y Mid: 7.785 Shape: IPE270 Frame Type: DCL-MRF Loc : 0.000 Z Mid: 5.662 Class: Class 1 Rolled : Yes																																																
	Country=Portugal Combination=Eq. 6.10 Reliability=Class 2 Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes																																																
2	GammaM0=1.00 GammaM1=1.00 GammaM2=1.25 q=4.00 Omega=1.00 GammaOV=1.00 An/Ag=1.00 RLLF=1.000 PLLF=0.750 D/C Lim=1.000																																																
3	Aeff=0.005 eNy=0.000 eNz=0.000 A=0.005 Iyy=5.790E-05 iyy=0.112 Wel,yy=4.289E-04 Weff,yy=4.289E-04 It=0.000 Izz=4.200E-06 izz=0.030 Wel,zz=6.222E-05 Weff,zz=6.222E-05 Iw=0.000 Iz=0.000 h=0.270 Wpl,yy=4.840E-04 Av,z=0.003 E=210000000.0 fy=235000.000 fu=360000.000 Wpl,zz=9.700E-05 Av,y=0.002																																																
4	STRESS CHECK FORCES & MOMENTS <table border="1"> <thead> <tr> <th>Location</th> <th>Ned</th> <th>Med,yy</th> <th>Med,zz</th> <th>Ved,z</th> <th>Ved,y</th> <th>Ted</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.000</td> <td>-116.273</td> <td>-51.321</td> <td>0.027</td> <td>16.947</td> <td>-0.083</td> <td>-1.657E-04</td> </tr> </tbody> </table>	Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted	0.000	-116.273	-51.321	0.027	16.947	-0.083	-1.657E-04																																		
Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted																																											
0.000	-116.273	-51.321	0.027	16.947	-0.083	-1.657E-04																																											
5	PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.61) D/C Ratio: $0.793 = 0.119 + 0.674 + 0.000 < 1.000$ OK $= \frac{NED}{(\chi_{y,y} N_{Rk}/\Gamma_{M1})} + k_{yy} \frac{(M_y,Ed + NED e_{Ny})}{(\chi_{LT} M_{y,Rk}/\Gamma_{M1})} + k_{yz} \frac{(M_z,Ed + NED e_{Nz})}{(M_{z,Rk}/\Gamma_{M1})}$ (EC3 6.3.3(4)-6.61)																																																
6	AXIAL FORCE DESIGN <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Ned</th> <th>Nc,Rd</th> <th>Nt,Rd</th> </tr> <tr> <th>Force</th> <th>Capacity</th> <th>Capacity</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Axial</td> <td>-116.273</td> <td>1078.650</td> <td>1078.650</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Npl,Rd</th> <th>Nu,Rd</th> <th>Ncr,T</th> <th>Ncr,TF</th> <th>An/Ag</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1078.650</td> <td>1189.728</td> <td>251895.660</td> <td>251895.660</td> <td>1.000</td> </tr> </tbody> </table>		Ned	Nc,Rd	Nt,Rd	Force	Capacity	Capacity		Axial	-116.273	1078.650	1078.650	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag	1078.650	1189.728	251895.660	251895.660	1.000																										
	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd																																														
Force	Capacity	Capacity																																															
Axial	-116.273	1078.650	1078.650																																														
Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag																																													
1078.650	1189.728	251895.660	251895.660	1.000																																													
7	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Curve</th> <th>Alpha</th> <th>Ncr</th> <th>LambdaBar</th> <th>Phi</th> <th>Chi</th> <th>Nb,Rd</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Major (y-y)</td> <td>a</td> <td>0.210</td> <td>3615.026</td> <td>0.546</td> <td>0.686</td> <td>0.909</td> <td>980.785</td> </tr> <tr> <td>MajorB (y-y)</td> <td>a</td> <td>0.210</td> <td>3615.026</td> <td>0.546</td> <td>0.686</td> <td>0.909</td> <td>980.785</td> </tr> <tr> <td>Minor (y-y)</td> <td>b</td> <td>0.340</td> <td>201206.340</td> <td>0.073</td> <td>0.481</td> <td>1.000</td> <td>1078.650</td> </tr> <tr> <td>MinorB (y-y)</td> <td>b</td> <td>0.340</td> <td>201206.340</td> <td>0.073</td> <td>0.481</td> <td>1.000</td> <td>1078.650</td> </tr> <tr> <td>Torcional TF (y-y)</td> <td>b</td> <td>0.340</td> <td>251895.660</td> <td>0.065</td> <td>0.479</td> <td>1.000</td> <td>1078.650</td> </tr> </tbody> </table>		Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd	Major (y-y)	a	0.210	3615.026	0.546	0.686	0.909	980.785	MajorB (y-y)	a	0.210	3615.026	0.546	0.686	0.909	980.785	Minor (y-y)	b	0.340	201206.340	0.073	0.481	1.000	1078.650	MinorB (y-y)	b	0.340	201206.340	0.073	0.481	1.000	1078.650	Torcional TF (y-y)	b	0.340	251895.660	0.065	0.479	1.000	1078.650
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd																																										
Major (y-y)	a	0.210	3615.026	0.546	0.686	0.909	980.785																																										
MajorB (y-y)	a	0.210	3615.026	0.546	0.686	0.909	980.785																																										
Minor (y-y)	b	0.340	201206.340	0.073	0.481	1.000	1078.650																																										
MinorB (y-y)	b	0.340	201206.340	0.073	0.481	1.000	1078.650																																										
Torcional TF (y-y)	b	0.340	251895.660	0.065	0.479	1.000	1078.650																																										
8	MOMENT DESIGN <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Med</th> <th>Med,span</th> <th>Mc,Rd</th> <th>Mv,Rd</th> <th>Mn,Rd</th> <th>Mb,Rd</th> </tr> <tr> <th>Moment</th> <th>Moment</th> <th>Capacity</th> <th>Capacity</th> <th>Capacity</th> <th>Capacity</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Major (y-y)</td> <td>-51.321</td> <td>-73.623</td> <td>113.740</td> <td>113.740</td> <td>113.740</td> <td>113.740</td> </tr> <tr> <td>Minor (z-z)</td> <td>0.027</td> <td>0.043</td> <td>22.795</td> <td>22.795</td> <td>22.795</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Curve</th> <th>AlphaLT</th> <th>LambdaBarLT</th> <th>PhiLT</th> <th>ChiLT</th> <th>C1</th> <th>Mer</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LTB</td> <td>a</td> <td>0.21</td> <td>0.060</td> <td>0.487</td> <td>1.000</td> <td>1.193</td> <td>31228.28</td> </tr> </tbody> </table>		Med	Med,span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity		Major (y-y)	-51.321	-73.623	113.740	113.740	113.740	113.740	Minor (z-z)	0.027	0.043	22.795	22.795	22.795			Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mer	LTB	a	0.21	0.060	0.487	1.000	1.193	31228.28				
	Med	Med,span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd																																											
Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity																																												
Major (y-y)	-51.321	-73.623	113.740	113.740	113.740	113.740																																											
Minor (z-z)	0.027	0.043	22.795	22.795	22.795																																												
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mer																																										
LTB	a	0.21	0.060	0.487	1.000	1.193	31228.28																																										
9	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>kyy</th> <th>kyz</th> <th>kzy</th> <th>kzz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Factors</td> <td>1.041</td> <td>0.487</td> <td>0.673</td> <td>0.812</td> </tr> </tbody> </table>		kyy	kyz	kzy	kzz	Factors	1.041	0.487	0.673	0.812																																						
	kyy	kyz	kzy	kzz																																													
Factors	1.041	0.487	0.673	0.812																																													

Figura 4.4 – Folha de Dimensionamento para as seções e troços do Pilar (IPE270)

Análise 2 – Através do *software* "A3C"

Este "*software*" permite proceder também ao estudo das estruturas em aço com base nos métodos de cálculo definidos no EC3-1-1.

O dimensionamento a partir deste programa obriga à introdução dos seguintes dados:

a - Altura do pilar e comprimentos críticos de encurvadura no plano principal de inércia.

Figura 4.5 – Comprimentos Críticos da Encurvadura

b - Posição dos travamentos no plano zy - Comprimentos Críticos dos diversos troços do pilar neste plano.

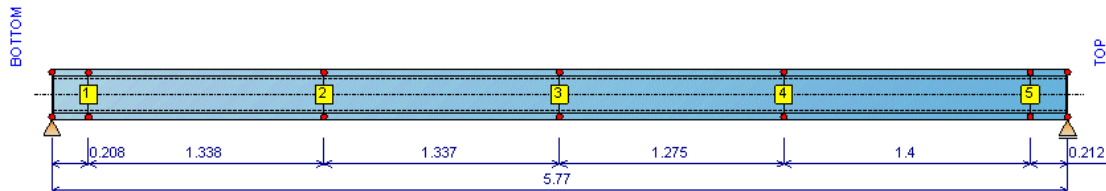


Figura 4.6 – Travamentos de Pilar no Plano zy

c – Ações de Cálculo para a Combinação Condicionante

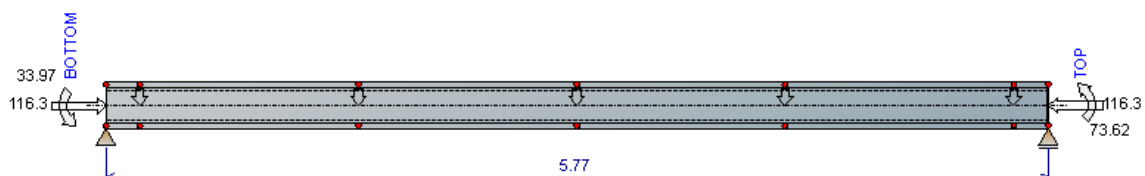


Figura 4.7 – Ações para a combinação condicionantes – $M_{yEd} + N_{Ed}$

Nas figuras 4.8, 4.9 e 4.10 estão indicados os resultados do dimensionamento do Pilar, que incluem:

- 1– As características elásticas e plásticas da seção do perfil;
- 2– As propriedades do aço do perfil;
- 3– A verificação da seção transversal mais esforçada para a combinação condicionante, para os esforços de cálculo simples e combinados;
- 4– O dimensionamento do pilar à encurvadura por compressão, segundo o eixo y-y, para o trecho do pilar mais desfavorável;
- 5– O dimensionamento do pilar à encurvadura por compressão, segundo o eixo z-z, para o trecho do pilar mais desfavorável;
- 6– A verificação do pilar como viga à encurvadura por flexão, para o trecho mais desfavorável entre madres de travamento;
- 7– O cálculo dimensionamento do pilar como coluna-viga a partir das expressões 4.2 e 4.3 do EC3 (Método B).

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + K_{yy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_Y}{\gamma_{M1}}}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + K_{zy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_Y}{\gamma_{M1}}}$$

Nota: Este *software* permite apenas proceder à análise de colunas-viga num só plano.

Os momentos M_z no pilar não são significativos, uma vez que a estrutura está contraventada no plano zy pela viga de coroamento perimetral dos pórticos dos alçados e também pelas madres dos alçados.

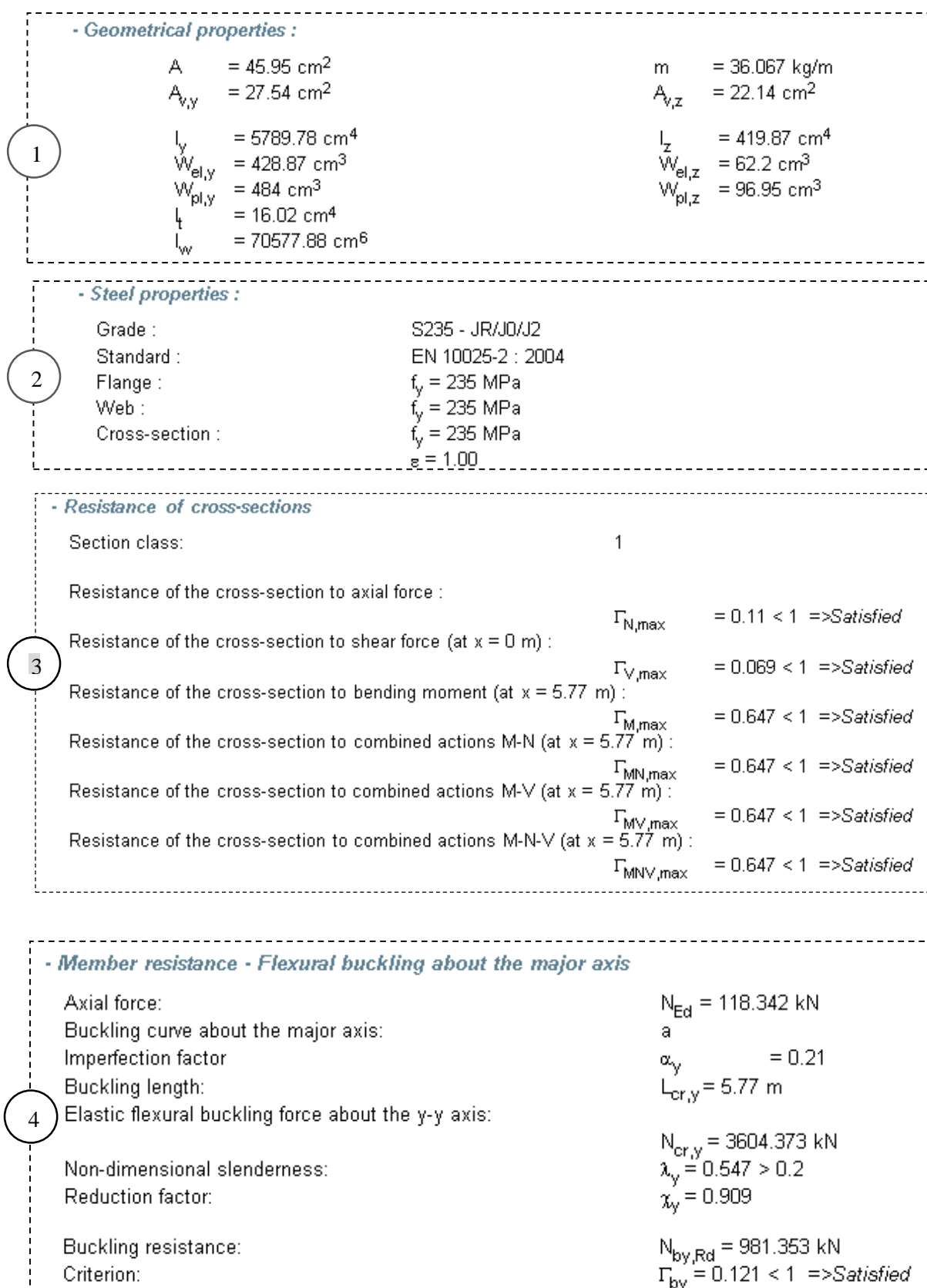


Figura 4.8 – Folha de Dimensionamento do *software* "A3C" do Pilar para o Perfil IPE270, para a Combinação condicionantes ao E.L.U

- Member resistance - Flexural buckling about the minor axis	
Axial force:	$N_{Ed} = 118.342 \text{ kN}$
Buckling curve about the minor axis:	b
Imperfection factor	$\alpha_z = 0.34$
Criterion (Segment 5):	$\Gamma_{bz,max} = 0.124 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$
Segment 5 (Between restraints No. 5 & 6)	
Buckling length:	$L_{cr,z} = 1.4 \text{ m}$
Elastic flexural buckling force about the z-z axis:	$N_{cr,z} = 4439.936 \text{ kN}$
Non-dimensional slenderness:	$\lambda_z = 0.493 > 0.2$
Reduction factor:	$\chi_z = 0.887$
Buckling resistance:	$N_{bz,Rd} = 957.964 \text{ kN}$
Criterion:	$\Gamma_{bz} = 0.124 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$
Segment 6 (Between restraints No. 6 & 7)	
Buckling length:	$L_{cr,z} = 0.212 \text{ m}$
Elastic flexural buckling force about the z-z axis:	$N_{cr,z} = 193624.842 \text{ kN}$
Non-dimensional slenderness:	$\lambda_z = 0.075 < 0.2$ \Rightarrow No verification required
- Member resistance - Lateral torsional buckling	
LTB is calculated by using:	EN 1993-1-1 § 6.3.2.2
LT buckling curve:	a
Imperfection factor	$\alpha_{LT} = 0.21$
Limit relative slenderness:	$\lambda_{LT,0} = 0.4$
No verification required	
Segment 5 (Between restraints No. 5 & 6)	
Buckling length:	$L_{cr,z} = 1.4 \text{ m}$
Factors C_i	$C_1 = 1.201$ $C_2 = 0$
Elastic critical moment for lateral-torsional buckling calculated by using the usual formula of M_{cr}	$M_{cr} = 749.064 \text{ kNm}$
Non-dimensional slenderness	$\lambda_{LT} = 0.39 < \lambda_{LT,0}$ \Rightarrow No verification required
Segment 6 (Between restraints No. 6 & 7)	
Buckling length:	$L_{cr,z} = 0.212 \text{ m}$
Factors C_i	$C_1 = 1.024$ $C_2 = 0$
Elastic critical moment for lateral-torsional buckling calculated by using the usual formula of M_{cr}	$M_{cr} = 25767.321 \text{ kNm}$
Non-dimensional slenderness	$\lambda_{LT} = 0.066 < \lambda_{LT,0}$ \Rightarrow No verification required

Figura 4.9 – Folha de Dimensionamento do *software* "A3C" do Pilar para o Perfil IPE270, para a Combinação condicionantes ao E.L.U (cont.)

- Member resistance - M-N buckling interaction	
Element resistance to combined actions M-N is calculated by using:	
Criterion 6.61 (Segment 6):	EN 1993-1-1 Annexe A $\Gamma_{bMN1,max} = 0.767 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$
Criterion 6.62 (Segment 5):	$\Gamma_{bMN2,max} = 0.454 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$
Factor μ_y	$\mu_y = 0.997$
Segment 5 (Between restraints No. 5 & 6)	
Equivalent uniform moment factors:	$C_{my} = 0.446$ $C_{mLT} = 0.859$
Interaction factors:	$k_{yy} = 0.465$ $k_{zy} = 0.99$
Criterion 6.61 :	$\Gamma_{bMN1} = 0.407 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$
Criterion 6.62 :	$\Gamma_{bMN2} = 0.734 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$
Segment 6 (Between restraints No. 6 & 7)	
Equivalent uniform moment factors:	$C_{my} = 0.446$ $C_{mLT} = 0.979$
Interaction factors:	$k_{yy} = 0.465$ $k_{zy} = 0.675$
Criterion 6.61 :	$\Gamma_{bMN1} = 0.422 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$
Criterion 6.62 :	$\Gamma_{bMN2} = 0.546 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$

Figura 4.10 – Folha de Dimensionamento do *software* "A3C" do Pilar para o Perfil IPE270, para a Combinação condicionantes ao E.L.U (cont.)

Análise 3 – Através da Tabela Geral de Cálculo

Está análise foi feita através da Tabela Geral de Cálculo de dimensionamento realizada em "Excel", que reúne todas as informações respeitantes à resistência das **Secções Transversais** sujeitas a esforços simples ou combinados, e dos **Elementos** à encurvadura por compressão, por flexão e compressão + flexão.

Tabela 4.5 – Características Gerais

I - Perfil, Classe, Combinação condicionante					II - Propriedades do Aço			
Elemento	Perfil	Classe	H [m]	Combinação Condicionante	Tipo de Aço	f_y [MPa]	E [GPa]	G [GPa]
Pilar	IPE 270	Classe 1	5.7	ELU_SC (Temp-_Wx1)	S235	235	210	81

Tabela 4.6 – Características da Secção do Perfil

III - Características Geométricas e Plásticas da Secção Transversal														
Características Geométricas							Características Plásticas							
							Eixo yy - maior inércia				Eixo zz-menor inércia			
h [m]	b [mm]	t_w [mm]	t_f [mm]	A [mm ²]	I_t [mm ⁴]	I_w [mm ⁶]	I_y [cm ⁴]	$W_{pl,y}$ [cm ³]	i_y [cm]	$A_{v,z}$ [cm ²]	I_z [cm ⁴]	$W_{pl,z}$ [cm ³]	i_z [cm]	$A_{v,y}$ [cm ²]
270	135	6.6	10.2	4590	159400	7.06E+10	5790	484	11.23	22.14	420	97	3.02	26.19

Tabela 4.7 – Esforços de Cálculo da Combinação Condicionante e Esforços Resistentes

IV - Esforços de Cálculo na Secção mais desfavorável					V - Esforços Resistentes de Cálculo				
N_{Ed} [kN]	$M_{y,Ed}$ [kN.m]	$M_{z,Ed}$ [kN.m]	$V_{y,Ed}$ [kN]	$V_{z,Ed}$ [kN]	$N_{c,Rd}$ [kN]	$M_{pl,Rd,y}$ [kN.m]	$M_{pl,Rd,z}$ [kN.m]	$V_{pl,Rd,y}$ [kN]	$V_{pl,Rd,z}$ [kN]
-116.27	-52.32	0.03	-0.08	16.95	1078.65	113.74	22.78	300.39	355.39

Tabela 4.8 – Verificação da Secção Transversal mais solicitada M_{yEd} , M_{zEd} , V_{yEd} e V_{zEd} (Esforços isolados)

VI.1 – Flexão e Esforço Transverso															
Resistência à Compressão		Resistência à Flexão				Resistência ao Esforço Transverso									
		Eixo y-y		Eixo z-z		Eixo y-y		Eixo z-z		Encurvadura por esforço transverso					
Rácio	obs.	Rácio	obs.	Rácio	obs.	Rácio	obs.	Rácio	obs.	h_w	$\frac{h_w}{t_w}$	ϵ	η	$72 \times \frac{\epsilon}{\eta}$	$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \times \frac{\epsilon}{\eta}$
$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$		$\frac{M_{Ed,y}}{M_{pl,Rd,y}}$		$\frac{M_{Ed,z}}{M_{pl,Rd,z}}$		$\frac{V_{Ed,y}}{V_{pl,Rd,y}}$		$\frac{V_{Ed,z}}{V_{pl,Rd,z}}$							
0.108	ok	0.460	ok	s/sig	ok	s/sig	ok	0.048	ok	256.8	25.2	1.0	1.0	72.0	Não é necessário a verificação da Encurvadura por corte

Tabela 4.9 – Verificação da Secção Transversal mais solicitada $M_{yEd} + V_{zEd}$ e $M_{zEd} + V_{yEd}$ (Esforços Combinados)

VI.2 - Flexão com Esforço Transverso											
Eixo y-y						Eixo z-z					
ρ_y	$0.5V_{pl,Rd,y}$	Verificação	$M_{V,Rd,y}$ [kN.m]	Rácio	obs.	ρ_z	$0.5V_{pl,Rd,z}$	Verificação	$M_{V,Rd,z}$ [kN.m]	Rácio	obs.
		$V_{y,Ed} \leq 0.5V_{pl,Rd,y}$		$\frac{M_{y,Ed}}{M_{V,Rd,y}}$				$V_{z,Ed} \leq 0.5V_{pl,Rd,z}$		$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,z,Rd}}$	
1.0	150.20	Não é necessário reduzir o momento fletor resistente	113.7	0.460	ok	0.82	177.69	Não é necessário reduzir o momento fletor resistente	22.78	s/sig	ok

Tabela 4.10 – Verificação da Secção Transversal mais solicitada $N_{Ed} + M_{yEd}$ (Esforços combinados)

VI.3 - Flexão Composta – Eixo y-y								
n	$a < 0.5$	$0.25N_{pl,Rd}$	$\frac{0.5 \times h_w \times t_w \times f_y}{\gamma_{M0}}$	Verificação das condições	Desprezar o Esf. Normal	Considerar o Esf. Normal	Rácio	obs.
				$N_{Ed} \leq 0.25 \times N_{pl,Rd}$ $N_{Ed} \leq \frac{0.5 \times h_w \times t_w \times f_y}{\gamma_{M0}}$	$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y}$	$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \times \left(\frac{1-n}{1-0.5 \times a} \right) \leq M_{pl,Rd,y}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	
0.108	0.50	269.66	307.8	Despreza-se o Esf. Normal	113.74	-	0.460	ok

Tabela 4.11 – Verificação da Secção Transversal mais solicitada $N_{Ed} + M_{zEd} + M_{yEd}$ (Esforços combinados)

VI.3 - Flexão Composta Eixo z e Flexão Desviada									
Eixo z-z						Flexão Desviada			
	Verificação da condição	Desprezar o Esf. Nomal	Considerar o Esf. Normal	Rácio	obs.			Rácio	obs.
	$\frac{h_w \times t_w \times f_y}{\gamma_{M0}}$		$M_{Nz,Rd} = M_{pl,z,Rd}, n \leq a$ $M_{Nz,Rd} = M_{pl,z,Rd} \times \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right], n > a$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$		α	$\beta = 5 \times n$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta$	
615.5	Despreza-se o Esf. Normal	113.74	-	s/sig	ok	2	1.0	0.212	ok

Tabela 4.12 – Verificação da Secção mais solicitada $N_{Ed} + M_{yEd} + V_{zEd}$ (Esforços combinados)

VI.5.1 - Flexão Composta com Esforço Transverso - Eixo y-y									
Nível de Esf. Axial		Nível de Esf. Transverso		Nível Esf. Axial baixo		Nível Esf. Axial alto		Rácio	obs.
	Verificação		Verificação	V_{Ed} (baixo)	V_{Ed} (alto)	V_{Ed} (baixo)	V_{Ed} (alto)		
$0.25N_{Rd}$	$N_{Ed} \leq 0.25N_{Rd}$	$0.5V_{Rd}$	$V_{Ed} \leq 0.5V_{Rd}$	$M_{N,V,Rd,y} = M_{pl,Rd,y}$	$M_{N,V,Rd,y} = (1-\rho) \cdot M_{pl,Rd,y}$	$M_{N,V,Rd,y} = 1.11 \times (1-n) \times M_{pl,Rd,y}$	$M_{N,V,Rd,y} = 1.11 \times (1-n-\rho) \times M_{pl,Rd,y}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,V,y,Rd}}$	
269.66	Nível de Esf. Axial baixo	150.2	Esf. Transverso baixo	113.740	-	-	-	0.460	ok

Tabela 4.13 – Verificação da Secção mais solicitada $N_{Ed} + M_{zEd} + V_{yEd}$ (Esforços combinados)

VI.5.2 - Flexão Composta com Esforço Transverso – Eixo z-z									
	Nível de Esf. Transverso		$n \leq 0.20$		$n > 0.20$		Rácio	obs.	
		Verificação	V_{Ed} baixo	V_{Ed} alto	V_{Ed} baixo	V_{Ed} alto			
$n \leq 0.20$	$0.5V_{Rd}$	$V_{Ed} \leq 0.5V_{Rd}$	$M_{N,V,Rd,z} = M_{pl,Rd,z}$	$M_{N,V,Rd,z} = (1-\rho) \cdot M_{pl,Rd,z}$	$M_{N,V,Rd,z} = 1.56 \times (1-n) \times (n+6) \times M_{pl,Rd,z}$	$M_{N,V,Rd,z} = 1.56 \times (1-n-\rho) \times \left(0.6 + \frac{n}{1-\rho}\right) M_{pl,Rd,z}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,V,z,Rd}}$		
Verifica	178	Esf. Transverso baixo	22.78	-	-	-	s/significado	ok	

Tabela 4.14 – Verificação da Encurvadura por Compressão $N_{bRd,y}$

VII.1 – Encurvadura - Eixo y-y											
Curva da encurvadura segundo eixo y-y			$L_{cr,y}$	$N_{cr,y}$	$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}}$	Verificação	Φ_y	χ_y	$N_{b,Rd,y}$ [kN]	Rácio	obs.
$\frac{h}{b}$	curva y	α_y				$\bar{\lambda}_y < 0.2$				$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}}$	
2.0	a	0.21	5.77	3604.51	0.547	Calcular à encurvadura	0.686	0.91	980.5	0.119	ok

Tabela 4.15 – Verificação da Encurvadura por Compressão $N_{bRd,z}$ (Troço 1)

VII.2 – Encurvadura - Eixo z-z											
Curva da encurvadura segundo eixo z			$L_{cr,z}$	$N_{cr,z}$	$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}}$	Verificação	Φ_z	χ_z	$N_{b,Rd,z}$ [kN]	Rácio	obs.
$\frac{h}{b}$	curva z	α_z				$\bar{\lambda}_z < 0.2$				$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}}$	
2.0	b	0.34	0.21	201158.43	0.073	Ignorar os efeitos da Encurvadura	0.481	1	-	-	-

Tabela 4.16 – Verificação da Encurvadura por Compressão $N_{bRd,z}$ (Troço 2)

VII.2 – Encurvadura - Eixo z-z											
Curva da encurvadura segundo eixo z			$L_{cr,z}$	$N_{cr,z}$	$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,z}}}$	Verificação	Φ_z	χ_z	$N_{b,Rd,z}$ [kN]	Rácio	obs.
$\frac{h}{b}$	curva z	α_z				$\bar{\lambda}_z < 0.2$				$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}}$	
2.0	b	0.34	1.74	4861.3	0.47	Calcular à Encurvadura	0.66	0.9	967.4	0.122	ok

Tabela 4.17 – Verificação da Encurvadura por Flexão $M_{b,Rd,y}$ (Troço 1)

VIII - Encurvadura por Flexão																				
Determinação do Momento Crítico $-M_{cr}$ (troço mais desfavorável)										$\bar{\lambda}_{LT}$	$\bar{\lambda}_{LT,0}$	Verificação	Curva de encurvadura lateral			ϕ_{LT}	χ_{LT}	$M_{b,Rd,y}$	Rácio	obs.
Condições de apoios	Diagrama de momentos	M_{esq}	M_{drt}	ψ	C1	k_z	k_w	L [m]	Mcr [kN.m]				$\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,2$	$\frac{h}{b}$	Curva lateral					
Momentos na extremidade	linear	-51.32	-73.62	0.70	1.14	1	1	0.21	29787.8	0.06	0.2	Ignorar os efeitos da Encurvadura	2	a	0.21	0.49	1	113.7	0.460	ok

Tabela 4.18 – Verificação da Encurvadura por Flexão $M_{b,Rd,y}$ (Troço 2)

VIII - Encurvadura por Flexão																				
Determinação do Momento Crítico $-M_{cr}$ (troço mais desfavorável)										$\bar{\lambda}_{LT}$	$\bar{\lambda}_{LT,0}$	Verificação	Curva de encurvadura lateral			ϕ_{LT}	χ_{LT}	$M_{b,Rd,y}$	Rácio	obs.
condições de apoios	Diagrama de momentos	M_{esq}	M_{drt}	ψ	C1	k_z	k_w	L [m]	Mcr [kN.m]				$\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,2$	$\frac{h}{b}$	Curva lateral					
Momentos na extremidade	Linear	-40.8	-57.8	0.71	1.17	1	1	1.3	793.5	0.38	0.3	Calcular à encurvadura	2	a	0.21	0.59	0.96	109.0	0.431	ok

Tabela 4.19 – Verificação à Flexão Composta com Compressão – Colunas-Viga

IX.1 - Dimensionamento à Flexão Composta com Compressão																						
Coeficientes de Momentos Uniformes equivalentes C_{my} e C_{mz}																						
Barra susc. à def. torção	$M_{y,Ed}$ entre travamento em zz - C_{my}											$M_{z,Ed}$ entre travamento em yy - C_{mz}										
	L [m]	$M_{Ed,y,esq}$ [kN.m]	$M_{Ed,y,drt}$ [kN.m]	Tipo de Diagrama de Momentos	Tipo de carga	M_s	M_h	Ψ_y	α_s	α_h	C_{my}	L [m]	$M_{Ed,z,esq}$ [kN.m]	$M_{Ed,z,drt}$ [kN.m]	Tipo de Diagrama de Momentos	Tipo de carga	M_s	M_h	Ψ_z	α_s	α_h	C_{mz}
Sim	5.8	33.8	73.62	linear	cc	-	-	0.459	-	-	0.784	5.8	-0.04	0.28	linear	cc	-	-	0.14	-	-	0.543

Tabela 4.20 – Verificação à Flexão Composta com Compressão – Colunas-Viga (Troço 1)

IX.2 - Dimensionamento à Flexão Composta com Compressão - Colunas-Viga										
Coeficientes de Momento Uniforme equivalente C_{mLT}										
$M_{y,Ed}$ entre travamento em zz - C_{mLT}										
L [m]	$M_{Ed,y,esq}$ [kN.m]	$M_{Ed,y,drt}$ [kN.m]	Tipo de Diagrama de Momentos	Tipo de carga	M_s	M_h	Ψ_y	α_s	α_h	C_{mLT}
0.21	-51.7	-41.5	linear	cc	-	-	0.8027	-	-	0.92

Tabela 4.21 – Verificação à Flexão Composta com Compressão – Colunas-Viga (Troço 2)

IX.2 - Dimensionamento à Flexão Composta com Compressão - Colunas-Viga										
Coeficientes de Momento Uniforme equivalente C_{mLT}										
$M_{y,Ed}$ entre travamento em zz - C_{mLT}										
L [m]	$M_{Ed,y,esq}$ [kN.m]	$M_{Ed,y,drt}$ [kN.m]	Tipo de Diagrama de Momentos	Tipo de carga	M_s	M_h	Ψ_y	α_s	α_h	C_{mLT}
1.34	-40.8	-57.8	linear	cc	-	-	0.7059	-	-	0.88

Tabela 4.22 – Verificação à Flexão Composta com Compressão – Colunas-Viga (Troço 1)

IX.3 - Dimensionamento à Flexão Composta com Compressão - Colunas-viga													
Factores de interação Kij				Eixo y-y					Eixo z-z				
K _{yy}	K _{zz}	K _{yz}	K _{zy}	$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}}$	$K_{yy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}}$	$K_{yz} \times \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \times f_y}$	Rácio	obs.	$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}}$	$K_{zy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}}$	$K_{zz} \times \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \times f_y}$	Rácio	obs.
				Eq.6.61	Eq.6.62								
0.816	0.516	0.310	0.490	0.119	0.53	0.003	0.649	ok	0.108	0.317	0.003	0.428	ok

Tabela 4.23 – Verificação à Flexão Composta com Compressão – Colunas-Viga (Troço 2)

IX.3 - Dimensionamento à Flexão Composta com Compressão - Colunas-viga													
Factores de interação Kij				Eixo y-y					Eixo z-z				
K _{yy}	K _{zz}	K _{yz}	K _{zy}	$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}}$	$K_{yy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}}$	$K_{yz} \times \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \times f_y}$	Rácio	obs.	$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}}$	$K_{zy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}}}$	$K_{zz} \times \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \times f_y}$	Rácio	obs.
				Eq.6.61	Eq.6.62								
0.827	0.565	0.339	0.991	0.125	0.44	0.114	0.677	ok	0.122	0.525	0.121	0.769	ok

a) Comparação dos resultados obtidos nas Análises realizadas

Nas Tabelas 4.24 a 4.36 indicam-se os resultados obtidos para as três análises efetuadas.

▪ Resistência das secções Transversais

Tabela 4.24 – Comparação dos Rácios de dimensionamento das Seções

Tipo de Esforços	Verificação	"SAP2000"	"A3C"	Tabela Geral de Cálculo
Esforço Axial	$\frac{N_{Ed,y}}{N_{c,Rd,y}} \leq 1.0$	0.110	0.110	0.110
Momento Fletor	$\frac{M_{Ed,y}}{M_{c,Rd,y}} \leq 1.0$	0.50	0.60	0.50
Esforço Transverso	$\frac{V_{Ed,y}}{V_{c,Rd,y}} \leq 1.0$	0.06	0.07	0.06
Flexão com Esforço Transverso	$\frac{M_{Ed,y}}{M_{V,Rd,y}} \leq 1.0$	0.50	0.60	0.50

▪ Resistência à Encurvadura por Compressão

Tabela 4.25 – Comparação da Resistência à Encurvadura por Compressão

Encurvadura por compressão	"SAP2000"	"A3C"	Tabela Geral de Cálculo
$l_{cr,y}$ [m]	5.77	5.77	5.77
$N_{cr,y}$ [kN]	3615	3604.4	3604.4
$\bar{\lambda}_y$	0.546	0.547	0.547
Φ_y	0.686	-	0.686
χ_y	0.91	0.91	0.91
$N_{b,Rd,y}$ [kN]	980.8	981.4	980.5
$l_{cr,z}$ [m]	0.208	0.208	0.208
$N_{cr,z}$	201206	193625	201158
λ_z	0.073	0.08	0.073
Φ_z	0.481	-	0.481
χ_z	1	-	1
$N_{b,Rd,z}$ [kN]	1078.7	-	1078.7

Tabela 4.26 – Rácios Comparativos da Resistência à Encurvadura por Compressão

Resistência à Encurvadura	Verificação	"SAP2000"	"A3C"	Tabela Geral de Cálculo
Compressão	$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \leq 1$	0.120	0.121	0.120
	$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} \leq 1$	0.108	0.124	0.108

▪ **Resistência à Encurvadura por Flexão (Bambeamento)**

Tabela 4.27 – Comparação dos coeficientes C1 e Momentos Críticos (Troços 1 e 2)

Troços	C1 e Momento Crítico	"SAP2000"	"A3C"	Tabela de Geral de Cálculo
1	C1	1.19	1.02	1.14
	Mcr	31228.3	25767.3	29787.8
2	C1	1.0	1.2	1.17
	Mcr	679.7	749.1	793.5

Tabela 4.28 – Resistência da Encurvadura por Flexão (Troços 1 e 2)

Troços	Encurvadura por flexão	"SAP2000"	"A3C"	Tabela Geral de Cálculo
1	$\bar{\lambda}_{LT}$	0.06	-	0.06
	Φ_{LT}	0.487	-	0.487
	χ_{LT}	1.000	-	1.000
	$M_{b,Rd,y}$ [kN.m]	113.7	-	113.7
2	$\bar{\lambda}_{LT}$	0.41	-	0.40
	Φ_{LT}	0.61	-	0.60
	χ_{LT}	0.95	-	0.96
	$M_{b,Rd,y}$ [kN.m]	108.1	-	109.0

Tabela 4.29 – Rácios Comparativos da Resistência à Encurvadura por Flexão (Troço 1)

Resistência à Encurvadura	Verificação	"SAP2000"	"A3C"	Tabela de Geral de Cálculo
Flexão	$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd,y}} \leq 1$	0.451	-	0.460

Tabela 4.30 – Rácios Comparativos da Resistência à Encurvadura por Flexão (Troço 2)

Resistência à Encurvadura	Verificação	"SAP2000"	"A3C"	Tabela de Geral de Cálculo
Flexão	$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd,y}} \leq 1$	0.430	-	0.430

- **Verificação de Elementos à Flexão Composta com Compressão**

Tabela 4.31 – Coeficientes de Momentos Uniformes Equivalentes (Troço 1)

Coeficientes	"SAP2000"	"A3C"	Tabela Geral de Cálculo
C_{my}	1	0.45	0.78
C_{mz}	0.85	-	0.54
C_{mLT}	0.400	0.98	0.92

Tabela 4.32 – Coeficientes de Momentos Uniformes Equivalentes (Troço 2)

Coeficientes	"SAP2000"	"A3C"	Tabela Geral de Cálculo
C_{my}	1.0	0.45	0.8
C_{mz}	0.4	-	0.54
C_{mLT}	0.9	0.86	0.90

Tabela 4.33 – Comparação dos Fatores de Interação kij (Troço 1)

Fatores de interação	"SAP2000"	"A3C"	Tabela Geral de Cálculo
k_{yy}	1.04	0.47	0.82
k_{yz}	0.48	-	0.31
k_{zy}	0.67	0.68	0.49
k_{zz}	0.812	-	0.52

Tabela 4.34 – Comparação dos Fatores de Interação kij (Troço 2)

Fatores de interação	"SAP2000"	"A3C"	Tabela Geral de Cálculo
k_{yy}	1.0	0.47	0.83
k_{yz}	0.25	-	0.34
k_{zy}	1.00	0.99	0.99
k_{zz}	0.42	-	0.56

Tabela 4.35 – Comparação dos Rácios de Dimensionamento de Coluna-Viga (Troço 1)

Flexão composta com compressão (coluna-Viga)	"SAP2000"	"A3C"	Tabela Geral de Cálculo
$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + K_{zy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_Y}{\gamma_{M1}}} + K_{zz} \times \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \times f_Y} \leq 1$	0.793	0.42	0.65
$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + K_{yy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_Y}{\gamma_{M1}}} + K_{yz} \times \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \times f_Y}$	-	0.55	0.43

Tabela 4.36 – Comparação dos Rácios de Dimensionamento de Coluna-Viga (Troço 2)

Flexão composta com compressão (coluna-Viga)	"SAP2000"	"A3C"	Tabela Geral de Cálculo
$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + K_{zy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_Y}{\gamma_{M1}}} + K_{zz} \times \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \times f_Y} \leq 1$	0.67	0.41	0.68
$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}} + K_{yy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times \frac{W_{pl,y} \times f_Y}{\gamma_{M1}}} + K_{yz} \times \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \times f_Y}$	-	0.73	0.77

Conclusão:

1 – Os coeficientes C_{my} , C_{mz} e C_{mLT} e os fatores de interação K_{yy} , K_{yz} , K_{zy} e K_{zz} não são bem calculados no "SAP2000", uma vez que este programa considera para a determinação dos coeficientes C_{my} e C_{mz} o troço do elemento com maior rácio, e não a variação do diagrama dos momentos flectores ao longo da altura total da coluna.

2 – Nas análises realizadas verifica-se que não existem grandes diferenças entre os resultados do *software* "A3C" e a Tabela Geral de Calculo, quer na parte respeitante ao dimensionamento das seções transversais quer na análise da encurvadura por compressão, bambeamento e compressão + bambeamento.

4.2.1.2 Travessa do Pórtico Central**Análise 1 - Através do *software* "SAP2000"**

Uma vez que a travessa do pórtico central é pouco inclinada e está sujeita a esforços de compressão pouco significativos, pode ser dimensionada como viga.

Foi feita a verificação da seção transversal mais esforçada, bem como o estudo da encurvadura lateral do troço da viga mais condicionante.

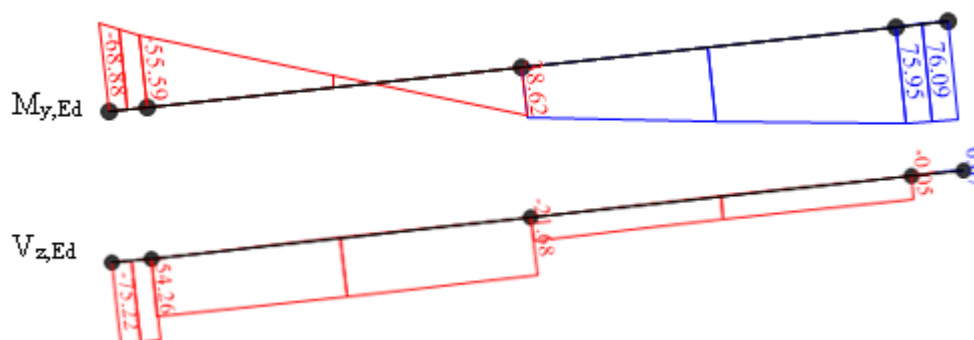


Figura 4.11 – Diagrama dos esforços de cálculo para a combinação ELU_SC (Temp- Wxx1)

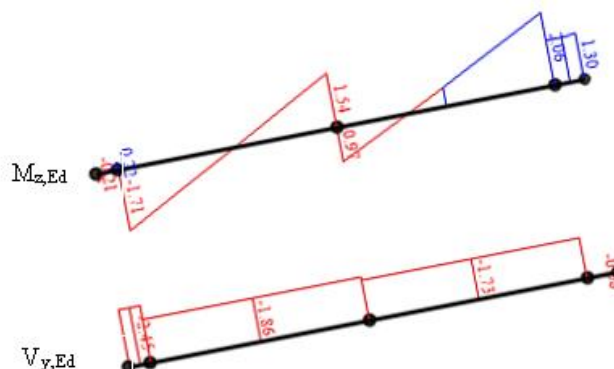


Figura 4.12 – Diagrama dos esforços de cálculo para a combinação ELU_SC (Temp- Wxx1)

Tabela 4.37 – Esforços de Cálculo da Secção da Travessa mais solicitada

Comb. Cond.	Esforços de Cálculo											
	$M_{y,Ed}$ [kN.m]			$M_{z,Ed}$ [kN.m]			$V_{y,Ed}$ [kN]			$V_{z,Ed}$ [kN]		
	Sec. esq.	Sec. 1/2vão	Sec. dirt.	Sec. esq.	Sec. 1/2vão	Sec. dirt.	Sec. esq.	Sec. 1/2vão	Sec. dirt.	Sec. esq.	Sec. 1/2vão	Sec. dirt.
ELU_SC (Temp- Wxx1)	-68.9	38.6	76.1	-0.21	1.5	1.30	-2.5	-1.9	0.08	-75.2	-53.4	0.07

A folha de dimensionamento do ficheiro de resultados "SAP2000" reúne todas as verificações realizadas.

1 – Características gerais do troço da Travessa do Pórtico mais condicionado pela encurvadura lateral

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 4 X Mid: 10.000 Combo: ELU_SC(Temp- Wxx1) Design Type: Brace
Length: 1.750 Y Mid: 2.784 Shape: IPE270 Frame Type: DCL-MRF
Loc : 1.750 Z Mid: 6.066 Class: Class 1 Rolled: Yes

2 – Coeficientes parciais de segurança de Resistência da Secção e à Encurvadura

$\Gamma_{M0}=1.00$ $\Gamma_{M1}=1.00$ $\Gamma_{M2}=1.25$
 $q=4.00$ $\Omega=1.00$ $\Gamma_{OV}=1.00$

3 – Características Geométricas e Elásticas da secção do perfil IPE270

$A_{eff}=0.005$ $e_{Ny}=0.000$ $e_{Nz}=0.000$
 $A=0.005$ $I_{yy}=5.790E-05$ $i_{yy}=0.112$ $W_{el,yy}=4.289E-04$ $W_{eff,yy}=4.289E-04$
 $I_t=0.000$ $I_{zz}=4.200E-06$ $i_{zz}=0.030$ $W_{el,zz}=6.222E-05$ $W_{eff,zz}=6.222E-05$
 $I_w=0.000$ $I_{yz}=0.000$ $h=0.270$ $W_{pl,yy}=4.840E-04$ $A_{v,z}=0.003$
 $E=210000000.0$ $f_y=235000.000$ $f_u=360000.000$ $W_{pl,zz}=9.700E-05$ $A_{v,y}=0.002$

4 – Esforços de Cálculo no Troço da Travessa mais solicitado

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
1.750	2.295	75.953	2.058	-20.839	-1.730	0.008

5 – Determinação do Momento Crítico do troço mais desfavorável da Travessa

Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	a	0.210	0.459	0.632	0.937	1.301 540.935

6 - Momentos Resistentes da Secção e à Encurvadura Lateral

MOMENT DESIGN

	Med	Med,span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Major (y-y)	75.953	75.953	113.740	113.740	113.740	106.537
Minor (z-z)	2.058	2.058	22.795	22.795	22.795	

Na Tabela 4.38 estão indicados os rácios de dimensionamento da secção transversal mais solicitada obtidos a partir dos ficheiros de resultado do "Sap".

Tabela 4.38 – Rácios do "Sap".

$\frac{M_{Ed,y}}{M_{c,Rd,y}}$	0.67
$\frac{M_{Ed,y}}{M_{v,Rd,y}}$	0.67
$\frac{M_{Ed,y}}{M_{N,Rd,y}}$	0.67
$\frac{M_{Ed,y}}{M_{b,Rd,y}}$	0.71

Análise 2 – Através do software "A3C"

Utilizou-se este *software* para o dimensionamento da Travessa do pórtico de modo a compararem-se os resultados das análises 1 e 3.

O recurso a este *software* obriga a introdução dos seguintes dados:

1 – Características Geométricas e Elásticas da secção do perfil IPE270

- Geometrical properties :

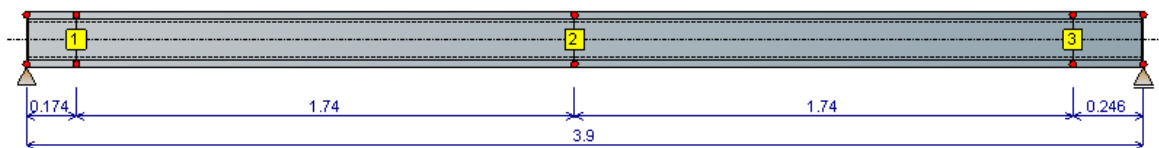
A	$= 45.95 \text{ cm}^2$	m	$= 36.067 \text{ kg/m}$
$A_{v,y}$	$= 27.54 \text{ cm}^2$	$A_{v,z}$	$= 22.14 \text{ cm}^2$
I_y	$= 5789.78 \text{ cm}^4$	I_z	$= 419.87 \text{ cm}^4$
$W_{el,y}$	$= 428.87 \text{ cm}^3$	$W_{el,z}$	$= 62.2 \text{ cm}^3$
$W_{pl,y}$	$= 484 \text{ cm}^3$	$W_{pl,z}$	$= 96.95 \text{ cm}^3$
I_t	$= 16.02 \text{ cm}^4$		
I_w	$= 70577.88 \text{ cm}^6$		

2 – Propriedades do Aço do perfil da Travessa

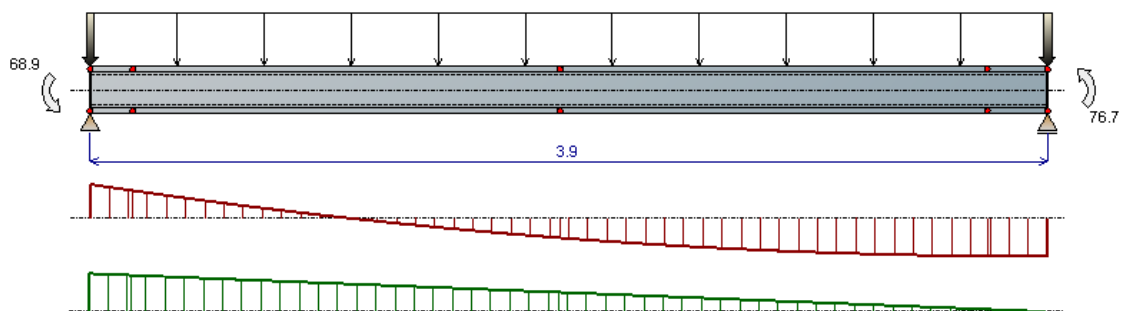
- Steel properties :

Grade :	S235 - JR/J0/J2
Standard :	EN 10025-2 : 2004
Flange :	$f_y = 235$ MPa
Web :	$f_y = 235$ MPa
Cross-section :	$f_y = 235$ MPa
	$\epsilon = 1.00$

3 – Posições dos Travamentos Laterais



4 – Diagramas de Momentos e de Esforços Transversos



5 – Rácios dos Esforços Atuantes de Cálculo e Resistentes das Seções da Travessa mais solicitada

- Resistance of cross-sections

Section class:	1
Resistance of the cross-section to axial force :	$\Gamma_{N,max} = 0 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$
Resistance of the cross-section to shear force (at $x = 0$ m) :	$\Gamma_{V,max} = 0.25 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$
Resistance of the cross-section to bending moment (at $x = 3.9$ m) :	$\Gamma_{M,max} = 0.674 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$
Resistance of the cross-section to combined actions M-N (at $x = 3.9$ m) :	$\Gamma_{MN,max} = 0.674 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$
Resistance of the cross-section to combined actions M-V (at $x = 3.9$ m) :	$\Gamma_{MV,max} = 0.674 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$
Resistance of the cross-section to combined actions M-N-V (at $x = 3.9$ m) :	$\Gamma_{MNV,max} = 0.674 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$

6 – Resistência à Encurvadura da Alma ao Esforço Transverso

- Web resistance

No verification required because: $h_w / t_w < 72\epsilon / \eta$ ($\eta = 1.2$)

7 – Dimensionamento à Encurvadura Lateral do troço da Travessa mais condicionante

- Member resistance - Lateral torsional buckling

LTB is calculated by using:	EN 1993-1-1 § 6.3.2.2
LT buckling curve:	a
Imperfection factor	$\alpha_{LT} = 0.21$
Limit relative slenderness:	$\lambda_{LT,0} = 0.2$

Segment 3 (Between restraints No. 3 & 4)

Buckling length:	$L_{cr,z} = 1.74$ m
Factors C_1	$C_1 = 1.175$
	$C_2 = 0.045$
Elastic critical moment for lateral-torsional buckling calculated by using the usual formula of M_{cr}	$M_{cr} = 473.052$ kNm
Non-dimensional slenderness	$\lambda_{LT} = 0.49 > \lambda_{LT,0}$
Reduction factor	$\chi_{LT} = 0.927$
LTB resistance	$M_{b,Rd} = 105.464$ kNm
Criterion	$\Gamma_{LT} = 0.722 < 1 \Rightarrow Satisfied$

Análise 3 – Através da Tabela Geral de Cálculo

Está análise foi feita através da Tabela Geral de Cálculo realizada em "Excel", que reúne as informações respeitantes ao dimensionamento da resistência da Secção transversal mais solicitada (esforços simples e/ou combinados), mas também o dimensionamento à Encurvadura lateral (Bambeamento).

Tabela 4.39 – Características Gerais

I - Perfil, Classe, Combinação condicionante					II - Propriedades do Aço			
Elemento	Perfil	Classe	L [m]	Combinação Condicionante	Tipo de Aço	f_y [MPa]	E [GPa]	G [GPa]
Travessa	IPE 270	Classe 1	3.9	ELU_SC (Temp- _{Wxx1})	S235	235	210	81

Tabela 4.40 – Características da seção do Perfil

III - Características Geométricas e Plásticas da Seção Transversal														
Características Geométricas							Características Plásticas							
							Eixo yy - maior inércia				Eixo zz-menor inércia			
h [m]	b [mm]	t _w [mm]	t _f [mm]	A [mm ²]	I _t [mm ⁴]	I _w [mm ⁶]	I _y [cm ⁴]	W _{pl,y} [cm ³]	i _y [cm]	A _{v,z} [cm ²]	I _z [cm ⁴]	W _{pl,z} [cm ³]	i _z [cm]	A _{v,y} [cm ²]
270	135	6.6	10.2	4590	159400	7.06E+10	5790	484	11.23	22.14	420	97	3.02	26.19

Tabela 4.41 – Esforços de Cálculo da Combinação condicionante e Esforços Resistentes

III - Esforços de Cálculo na Seção mais desfavorável				V - Esforços Resistentes de Cálculo				
M _{y,Ed} [kN.m]	M _{z,Ed} [kN.m]	V _{y,Ed} [kN]	V _{z,Ed} [kN]	N _{c,Rd} [kN]	M _{pl,Rd,y} [kN.m]	M _{pl,Rd,z} [kN.m]	V _{pl,Rd,y} [kN]	V _{pl,Rd,z} [kN]
76.0	2.1	-1.7	-21.7	1078.7	113.7	22.8	300.4	355.4

Tabela 4.42 – Verificação da Seção Transversal mais solicitada M_{yEd}, M_{zEd}, V_{yEd} e V_{zEd} (Esforço Isolados)

VI.1 – Flexão e Esforço Transverso													
Resistência à Flexão				Resistência ao Esforço Transverso									
Eixo y-y		Eixo z-z		Eixo y-y		Eixo z-z		Encurvadura por esforço transverso					
Rácio $\frac{M_{Ed,y}}{M_{pl,Rd,y}}$	obs.	Rácio $\frac{M_{Ed,y}}{M_{pl,Rd,y}}$	obs.	Rácio $\frac{V_{Ed,y}}{V_{pl,Rd,y}}$	obs.	Rácio $\frac{V_{Ed,z}}{V_{pl,Rd,z}}$	obs.	h _w	$\frac{h_w}{t_w}$	ε	η	$72 \times \frac{\epsilon}{\eta}$	$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \times \frac{\epsilon}{\eta}$
0.668	ok	0.100	ok	s/significa do	ok	0.061	ok	256.8	25.2	1.0	1.0	72.0	Não é necessário a verificação da Encurvadura por corte

Tabela 4.43 – Verificação da Seção Transversal mais solicitada $M_{yEd} + V_{zEd}$ e $M_{zEd} + V_{yEd}$ (Esforço Isolados)

VI.2 - Flexão com Esforço Transverso											
Eixo y-y						Eixo z-z					
ρ_y	$0.5V_{pl,Rd,y}$	Verificação	$M_{V,Rd,y}$ [kN.m]	Rácio	obs.	ρ_z	$0.5V_{pl,Rd,z}$	Verificação	$M_{V,Rd,z}$ [kN.m]	Rácio	obs.
		$V_{y,Ed} \leq 0.5V_{pl,Rd,y}$		$\frac{M_{y,Ed}}{M_{V,Rd,y}}$				$V_{z,Ed} \leq 0.5V_{pl,Rd,z}$		$\frac{M_{z,Ed}}{M_{c,z,Rd}}$	
1.0	150.20	Não é necessário reduzir o momento fletor resistente	113.74	0.668	ok	0.80	177.69	Não é necessário reduzir o momento fletor resistente	22.78	s/significado	ok

Tabela 4.44 – Verificação da Encurvadura por Flexão (Bambeamento)

VIII - Encurvadura por Flexão – $M_{b,Rd,y}$ (Troço condicionante)																				
Determinação do Momento Crítico - M_{cr} (Troço mais desfavorável)										$\bar{\lambda}_{LT}$	$\bar{\lambda}_{LT,0}$	Verificação	Curva de encurvadura lateral			ϕ_{LT}	χ_{LT}	$M_{b,Rd,y}$	Rácio	obs.
Condições de apoios	Diagrama de momentos	M_{esq}	M_{drt}	ψ	C1	k_z	k_w	L [m]	M_{cr} [kN.m]				$\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,2$	$\frac{h}{b}$	Curva da encurvadura				α_{LT}	
Momentos na extremidade	linear	38.75	75.95	0.51	1.32	1	1	1.75	548	0.46	0.2	Necessário proceder ao estudo da Encurvadura	2	a	0.21	0.63 1	0.9 4	106.6	0.712	ok

Comparação de resultados das três Análises realizadas

Na Tabela 4.45 indicam-se os rácios comparativos da resistência da secção transversal mais solicitada para as 3 análises realizadas.

▪ Resistência das Seções Transversais

Tabela 4.45 – Rácios de dimensionamento das Seções mais solicitadas

Tipo de Esforços	Verificação	"SAP2000"	"A3C"	Tabela Geral de Cálculo
Momento Fletor	$\frac{M_{Ed,y}}{M_{c,Rd,y}} \leq 1.0$	0.67	0.67	0.67
Esforço Transverso	$\frac{V_{Ed,y}}{V_{c,Rd,y}} \leq 1.0$	0.06	-	0.06
Flexão com Esforço Transverso	$\frac{M_{Ed,y}}{M_{v,Rd,y}} \leq 1.0$	0.67	0.67	0.67

▪ Resistência à Encurvadura por Flexão

Tabela 4.46 – Comparação dos Momentos Críticos na Travessa

Coefficientes C1 e Momento Crítico	"SAP2000"	"A3C"	Tabela de Cálculo Geral
C1	1.30	1.18	1.32
M_{cr}	541.0	473.05	548.0

Tabela 4.47 – Resistência da Encurvadura por Flexão no troço mais desfavorável

Encurvadura por Flexão	"SAP2000"	"A3C"	Tabela de Cálculo Geral
$\frac{M_{Ed,y}}{M_{cr}}$	0.46	0.49	0.46
Φ_{LT}	0.63	-	0.631
χ_{LT}	0.94	0.93	0.94
$M_{b,Rd,y}$ [kN.m]	106.5	106.0	106.6

Tabela 4.48 – Rácios comparativos da Resistência à Encurvadura por Flexão

Resistência à Encurvadura	Verificação	"SAP2000"	"A3C"	Tabela de Cálculo Geral
Flexão	$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd,y}} \leq 1$	0.71	0.72	0.71

4.2.2 Estados Limites de Utilização

A verificação em relação ao Estado Limite de Deformação dos diferentes elementos estruturais do Pavilhão foi realizada com base nas flechas máximas para as combinações condicionantes dos estados limites de utilização, obtidas a partir dos resultados do programa de cálculo automático.

Pórticos das Empenas

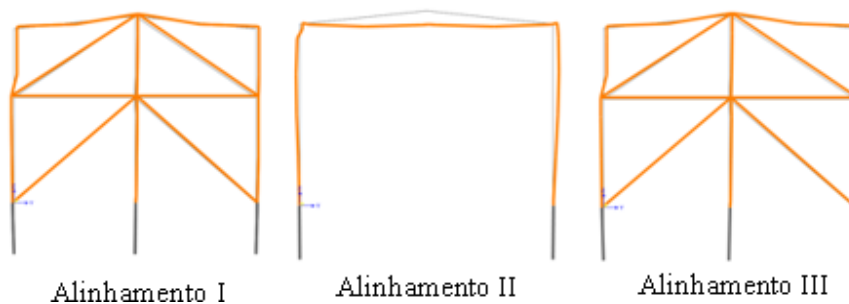


Figura 4.13 – Deformação dos Pórticos dos Alinhamentos I, II e III

Tabela 4.49 – Deslocamentos Máximos dos Pórticos dos Alinhamentos I, II e III

Pórticos	Elementos	δ_{\max} (segundo o EC3)	$\delta_{h\max}/\delta_{v\max}$ Admissíveis [cm]	δ_{\max} obtido "SAP2000" [cm]	Obs.
Alinhamento I	Pilares	H/300	2.30	0.28	ok
	Travessa	L/300	1.33	0.17	ok
Alinhamento II	Pilares	H/300	2.30	0.67	ok
	Travessa	L/300	1.33	2.19	ok
Alinhamento III	Pilares	H/300	2.30	0.28	ok
	Travessa	L/300	1.33	0.17	ok

Conclusão:

Os resultados da Tabela 4.49 mostram que os deslocamentos nas travessas e nos pilares dos pórticos dos alinhamentos I, II e III, são inferiores aos valores máximos admissíveis estabelecidos nos critérios de dimensionamentos da Memória Descritiva.

Pórticos dos Alçados Laterais

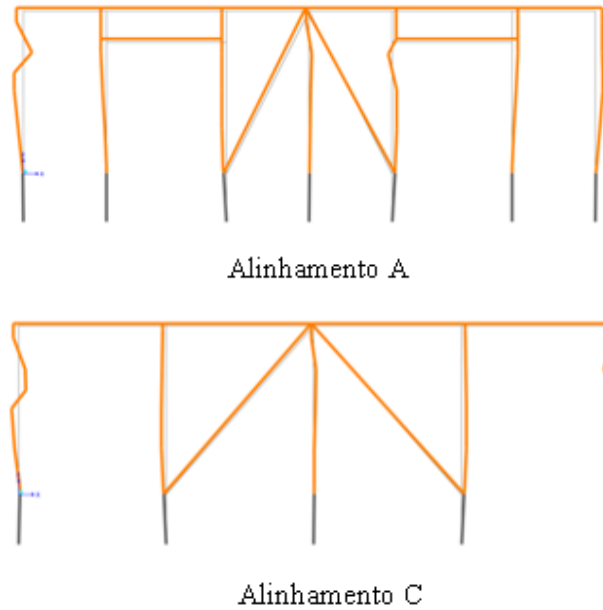


Figura 4.14 – Deformação dos Pórticos dos Alçados Laterais

Tabela 4.50 – Deslocamentos máximos dos Pórticos dos Alinhamentos A e C

Pórticos	Elementos	δ_{\max} (segundo o EC3)	$\delta_{h\max}/\delta_{v\max}$ admissíveis [cm]	δ_{\max} obtido "SAP2000" [cm]	Obs.
Alinhamento A	Pilares	H/300	2.30	0.31	ok
	Viga do travamento	L/300	1.33	0.16	ok
Alinhamento C	Pilares	H/300	2.30	0.31	ok
	Viga do travamento	L/300	1.33	0.16	ok

Conclusão:

A condição de verificação ao E.L. de Utilização dos Pórticos Laterais dos Alinhamentos A e C é também satisfeita conforme mostram os resultados da Tabela 4.50.

4.3 Dimensionamento dos Travamentos, Madres e Platibandas

4.3.2 Travamentos

Estes elementos funcionam fundamentalmente à tração ou à compressão. Os momentos secundários nas secções de ligação às estruturas principais, bem como os resultantes dos pesos próprios tem pouco significado.

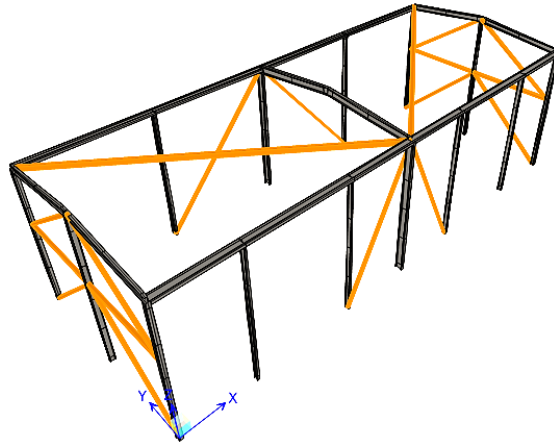


Figura 4.15 – Vista da Estrutura com a localização dos Travamentos

4.3.2.1 Dimensionamento

a) Estados Limites Últimos

Na Figura 4.16 estão representados os rácios das barras dos travamentos dos pórticos dos alçados e da cobertura determinados no "Sap".

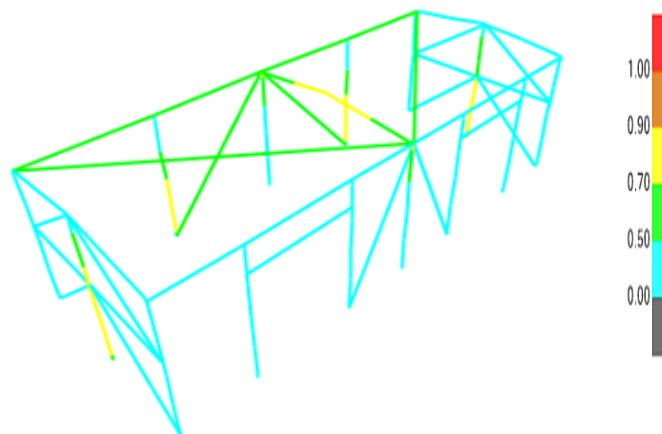


Figura 4.16 – Rácios das barras dos Travamentos

Nas Figuras 4.17 a 4.19 estão identificados todas as barras dos travamentos.

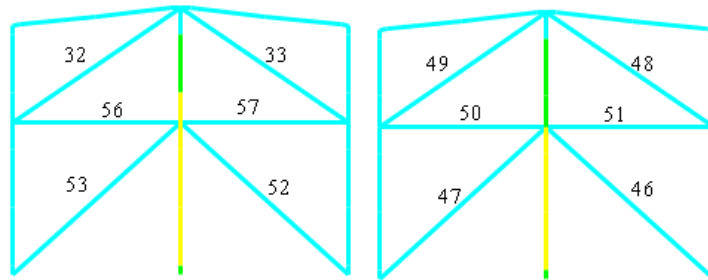


Figura 4.17 – Identificação das barras dos Travamentos dos Alçados das Empenas

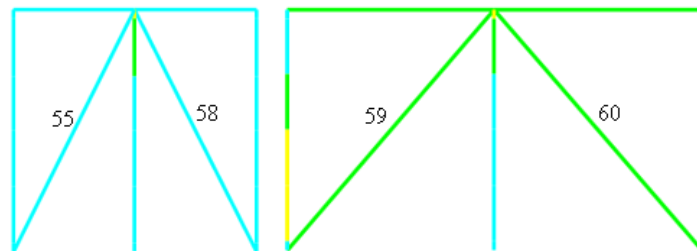


Figura 4.18 – Identificação das barras dos Travamentos dos Alçados das Laterais

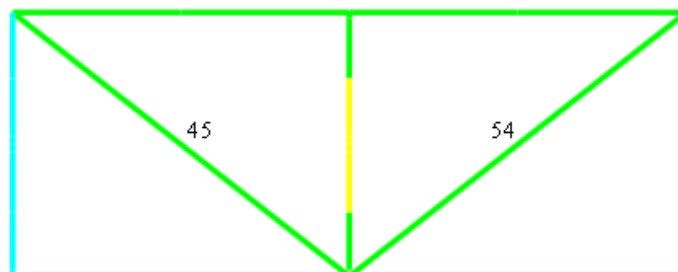


Figura 4.19 – Identificação das barras dos Travamentos da Cobertura

O dimensionamento destas barras foi realizado a partir de uma folha de cálculo em "Excel", com base nas expressões definidos no EC3-1 para elementos tracionados e comprimidos.

Na Tabela 4.51 resumem-se todos os elementos que serviram para o dimensionamento dos travamentos dos pórticos dos alçados e da cobertura.

Tabela 4.51 – Dimensionamento dos Travamentos dos Pórticos dos Alçados e da Cobertura

Elementos Gerais						Esforços de Cálculo				Comprimentos Críticos de Encurvadura (eixos y e z)		Esbelteza		Esforços Resistentes Resistência à Encurvadura e à Tração			Rácios Finais		Obs.
Barras	Nº das Barras	Perfis	L [m]	A [cm²]	Classe	Combinações Condicionantes p/ Esforços de Tração	N _{Ed} (+) [KN]	Combinações Condicionantes p/ Esforços de Compressão	N _{Ed} (-) [KN]	L _{cr,y} [m]	L _{cr,z} [m]	λ _y	λ _z	N _{brd,y} [kN]	N _{brd,z} [kN]	N _{t,Rd} [kN]	Tração	Encurvadura por Compressão	
																	$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{\max\{N_{br,y}; N_{br,z}\}}$	
Travamentos dos Alçados das Empenas	32	Tubo100x100x5	4.7	18.9	Classe1	ELU_Wy (Temp+)	37.4	ELU_Wyy1 (Temp-)	-32.7	4.7	4.7	122.2	122.2	210.6	210.6	444.2	0.084	0.155	ok
	33	Tubo100x100x5	4.7	18.9	Classe1	ELU_Wyy1 (Temp+)	32.0	ELU_Wy (Temp-)	-38.7	4.7	4.7	122.2	122.2	210.6	210.6	444.2	0.072	0.184	ok
	46	Tubo100x100x5	5.2	18.9	Classe1	ELU_Wyy1 (Temp-)	47.0	ELU_Wy (Temp+)	-62.8	5.2	5.2	135.3	135.3	179.0	179.0	444.2	0.106	0.351	ok
	47	Tubo100x100x5	5.2	18.9	Classe1	ELU_Wy (Temp-)	54.4	ELU_Wyy1 (Temp+)	-56.5	5.2	5.2	135.3	135.3	179.0	179.0	444.2	0.122	0.316	ok
	48	Tubo100x100x5	4.7	18.9	Classe1	ELU_Wyy1 (Temp+)	31.8	ELU_Wy (Temp+)	-36.3	4.7	4.7	122.2	122.2	210.6	210.6	444.2	0.072	0.172	ok
	49	Tubo100x100x5	4.7	18.9	Classe1	ELU_Wy (Temp+)	37.4	ELU_Wyy1 (Temp-)	-32.7	4.7	4.7	122.2	122.2	210.6	210.6	444.2	0.084	0.155	ok
	50	Tubo100x100x5	3.9	18.9	Classe1	ELU_Wyy1 (Temp-)	32.6	ELU_Wy (Temp+)	-36.9	3.9	3.9	100.6	100.6	272.9	272.9	444.2	0.073	0.135	ok
	51	Tubo100x100x5	3.9	18.9	Classe1	ELU_Wy (Temp-)	38.2	ELU_Wyy1 (Temp+)	-33.0	3.9	3.9	100.6	100.6	272.9	272.9	444.2	0.086	0.121	ok
	52	Tubo100x100x5	5.2	18.9	Classe1	ELU_Wyy1 (Temp-)	47.1	ELU_Wy (Temp+)	-62.9	5.2	5.2	135.3	135.3	179.0	179.0	444.2	0.106	0.351	ok
	53	Tubo100x100x5	5.2	18.9	Classe1	ELU_Wy (Temp-)	54.6	ELU_Wyy1 (Temp+)	-56.2	5.2	5.2	135.3	135.3	179.0	179.0	444.2	0.123	0.314	ok
	56	Tubo100x100x5	3.9	18.9	Classe1	ELU_Wyy1 (Temp-)	32.6	ELU_Wy (Temp+)	-37.0	3.9	3.9	100.6	100.6	272.9	272.9	444.2	0.073	0.136	ok
	57	Tubo100x100x5	3.9	18.9	Classe1	ELU_Wy (Temp-)	38.2	ELU_Wyy1 (Temp-)	-31.5	3.9	3.9	100.6	100.6	272.9	272.9	444.2	0.086	0.116	ok
Travamentos dos Alçados Laterais	55	Tubo80x80x5	6.5	14.9	Classe1	ELU_Wx(Temp-)	19.5	ELU_Wxx (Temp+)	-28.2	6.5	6.5	211.6	211.6	61.8	61.8	350.2	0.056	0.456	ok
	58	Tubo80x80x5	6.5	14.9	Classe1	ELU_Wxx (Temp-)	21.1	ELU_Wx1 (Temp+)	-27.05	6.5	6.5	211.6	211.6	61.8	61.8	350.2	0.060	0.437	ok
	59	Tubo80x80x5	7.6	14.9	Classe1	ELU_Wx (Temp-)	18.3	ELU_Wxx (Temp+)	-25.15	7.6	7.6	250.2	250.2	46.0	46.0	350.2	0.052	0.547	ok
	60	Tubo80x80x5	7.6	14.9	Classe1	ELU_Wxx (Temp-)	19.5	ELU_Wx(Temp+)	-24.15	7.6	7.6	250.2	250.2	46.0	46.0	350.2	0.056	0.525	ok
Travamentos da Cobertura	45	Tubo120x120x10	12.7	51.5	Classe1	ELU_Wyy1(Temp-)	49.5	ELU_Wy (Temp+)	-57.95	12.7	12.7	239.6	239.6	170.2	170.2	1210.3	s/sig.	0.341	ok
	54	Tubo120x120x11	12.7	51.5	Classe1	ELU_Wyy1 (Temp-)	49.8	ELU_Wy(Temp+)	-58.35	12.7	12.7	239.6	239.6	170.2	170.2	1210.3	s/sig.	0.343	ok

Conclusão:

Os perfis que constituem as barras dos Travamentos dos Pórticos dos Alçados e da Cobertura têm seções para resistirem aos esforços de cálculo, tendo sido porém alguns dos perfis escolhidos de modo a terem esbeltezas inferiores a 250.

4.3.3 Madres da Cobertura

Como já foi referido estes elementos são constituídos por vigas treliçadas. Esta solução estrutural aplica-se em madres de pavilhões com vãos superiores a 6 metros, por serem soluções mais económicas comparativamente com as dos perfis laminados.

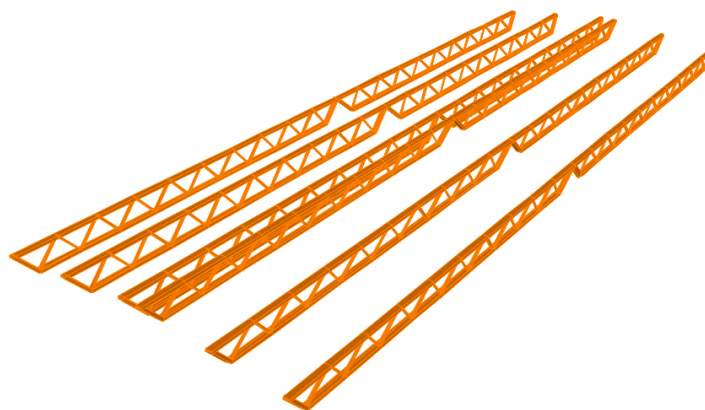


Figura 4.20 – Madres da Cobertura

4.3.3.1 Dimensionamento

a) Estados Limites últimos

O dimensionamento das barras das madres da cobertura foi realizado com recurso a uma Tabela de cálculo em "Excel", com base nas expressões de dimensionamento das seções tracionadas e comprimidas e dos elementos à compressão, segundo os critérios de dimensionamento do EC3-1.

Na Figura 4.21 identifica-se a geometria de uma das madres da cobertura com a indicação dos números das barras.

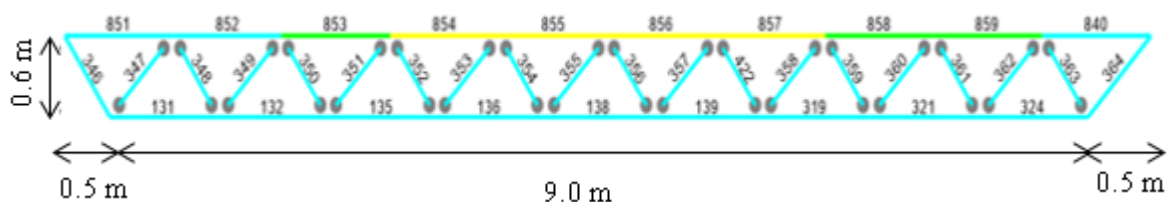


Figura 4.21 – Geometria e identificação das barras das Madres de Cobertura

Na Tabela 4.52 estão indicados as verificações respeitantes ao dimensionamento das barras da madre mais solicitada.

Tabela 4.52 – Dimensionamento das barras das Madres da Cobertura

Elementos Gerais						Esforços de Cálculo				Comprimentos Críticos de Encurvadura (Eixos y e z)		Esbelteza		Esforços Resistentes Resistência à Encurvadura e à Tração			Rácios Finais		Obs.
Barras	Nº das Barras	Perfis	L [m]	A [cm²]	Classe	Combinações Condicionantes p/ Esforços de Tração	N _{Ed} (+) [kN]	Combinações Condicionantes p/ Esforços de Compressão	N _{Ed} (-) [kN]	L _{cr,y} [m]	L _{cr,z} [m]	λ _y	λ _z	N _{bRd,y} [kN]	N _{bRd,z} [kN]	N _{t,Rd} [kN]	Tração	Encurvadura por Compressão	
																	$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{\max\{N_{bR,y}; N_{bR,z}\}}$	
Diagonais	346	UPN140	0.7	20.4	Classe 1	ELU_SC (Temp_- W _{y1})	18.5	-	-	0.7	0.7	12.6	39.4	479.4	423.8	479.4	0.039	-	ok
	347	L40x5	0.8	3.8	Classe 3	ELU_W _x (Temp+)	0.1	ELU_SC (Temp_- W _{y1})	-20.6	0.8	0.8	53.2	104.3	67.4	46.4	89.1	s/sig.	0.306	ok
	348	L40x5	0.7	3.8	Classe 3	ELU_SC (Temp_- W _{y1})	14.1	-	-	0.7	0.7	45.6	89.5	70.0	51.6	89.1	0.158	-	ok
	349	L40x5	0.8	3.8	Classe 3	-	-	ELU_SC (Temp+_ W _{y1})	-16.4	0.8	0.8	53.2	104.3	67.4	46.4	89.1	-	0.243	ok
	350	L40x5	0.7	3.8	Classe 3	ELU_SC (Temp_- W _{y1})	10.3	-	-	0.7	0.7	45.6	89.5	70.0	51.6	89.1	0.116	-	ok
	351	L40x5	0.8	3.8	Classe 3	-	-	ELU_SC (Temp_- W _{y1})	-11.6	0.8	0.8	53.2	104.3	67.4	46.4	89.1	-	0.172	ok
	352	L40x5	0.7	3.8	Classe 3	ELU_SC (Temp_- W _{y1})	6.2	-	-	0.7	0.7	45.6	89.5	70.0	51.6	89.1	0.070	-	ok
	353	L40x5	0.8	3.8	Classe 3	-	-	ELU_SC (Temp_- W _{y1})	-6.9	0.8	0.8	53.2	104.3	67.4	46.4	89.1	-	0.102	ok
	354	L40x5	0.7	3.8	Classe 3	ELU_SC (Temp_- W _{xx1})	2.2	-	-	0.7	0.7	45.6	89.5	70.0	51.6	89.1	s/sig.	-	ok
	355	L40x5	0.8	3.8	Classe 3	ELU_W _{yy} (Temp+)	0.1	-	-	0.8	0.8	53.2	104.3	67.4	46.4	89.1	s/sig.	s/sig.	ok
	356	L40x5	0.7	3.8	Classe 3	ELU_W _{xx} (Temp-)	0.3	-	-	0.7	0.7	45.6	89.5	70.0	51.6	89.1	s/sig.	s/sig.	ok
	357	L40x5	0.8	3.8	Classe 3	ELU_SC (Temp+_ W _{yy1})	2.6	-	-	0.8	0.8	53.2	104.3	67.4	46.4	89.1	s/sig.	-	ok
	422	L40x5	0.7	3.8	Classe 3	-	-	-	-6.0	0.7	0.7	45.6	89.5	70.0	51.6	89.1	-	0.086	ok
	358	L40x5	0.8	3.8	Classe 3	ELU_SC(Temp+_ W _{yy1})	7.3	-	-	0.8	0.8	53.2	104.3	67.4	46.4	89.1	0.082	-	ok
	359	L40x5	0.7	3.8	Classe 3	-	-	ELU_SC(Temp+_ W _{yy1})	-10.1	0.7	0.7	45.6	89.5	70.0	51.6	89.1	-	0.144	ok
	360	L40x5	0.8	3.8	Classe 3	ELU_SC(Temp+_ W _{yy1})	12.2	-	-	0.8	0.8	53.2	104.3	67.4	46.4	89.1	0.136	-	ok
	361	L40x5	0.7	3.8	Classe 3	-	-	ELU_SC (Temp+_ W _{yy1})	-14.2	0.7	0.7	45.6	89.5	70.0	51.6	89.1	-	0.202	ok
	362	L40x5	0.8	3.8	Classe 3	ELU_SC (Temp+_ W _{yy1})	16.5	-	-	0.8	0.8	53.2	104.3	67.4	46.4	89.1	0.186	-	ok
363	L40x5	0.7	3.8	Classe 3	-	-	ELU_SC (Temp+_ W _{yy1})	-17.8	0.7	0.7	45.6	89.5	70.0	51.6	89.1	-	0.254	ok	
364	UPN140	0.8	20.4	Classe 1	ELU_SC (Temp_- W _{xx1})	21.2	-	-	0.8	0.8	14.7	45.9	67.4	46.4	479.4	0.044	-	ok	
Cordões Inferiores	131	UPN140	1.0	20.4	Classe1	ELU_SC (Temp_- W _{y1})	26.4	-	-	9.0	1.0	165.1	57.1	116.7	374.4	479.4	0.055	-	ok
	132	UPN140	1.0	20.4	Classe1	ELU_SC (Temp_- W _{y1})	46.8	-	-	9.0	1.0	165.1	57.1	116.7	374.4	479.4	0.098	-	ok
	135	UPN140	1.0	20.4	Classe1	ELU_SC (Temp_- W _{y1})	61.5	-	-	9.0	1.0	165.1	57.1	116.7	374.4	479.4	0.128	-	ok
	136	UPN140	1.0	20.4	Classe1	ELU_SC (Temp_- W _{y1})	70.2	-	-	9.0	1.0	165.1	57.1	116.7	374.4	479.4	0.146	-	ok
	138	UPN140	1.0	20.4	Classe1	ELU_SC (Temp_- W _{y1})	73.1	-	-	9.0	1.0	165.1	57.1	116.7	374.4	479.4	0.152	-	ok
	139	UPN140	1.0	20.4	Classe1	ELU_SC (Temp_- W _{y1})	70.1	-	-	9.0	1.0	165.1	57.1	116.7	374.4	479.4	0.146	-	ok
	319	UPN140	1.0	20.4	Classe1	ELU_SC (Temp_- W _{y1})	61.2	-	-	9.0	1.0	165.1	57.1	116.7	374.4	479.4	0.128	-	ok
	321	UPN140	1.0	20.4	Classe1	ELU_SC (Temp_- W _{y1})	46.3	-	-	9.0	1.0	165.1	57.1	116.7	374.4	479.4	0.097	-	ok
	324	UPN140	1.0	20.4	Classe1	ELU_SC (Temp_- W _{xx1})	26.0	-	-	9.0	1.0	165.1	57.1	116.7	374.4	479.4	s/sig.	-	ok
Cordões Superiores	851	UPN140	1.0	20.4	Classe1	ELU_W _y (Temp-)	0.9	ELU_SC (Temp+_ W _x)	-10.8	10.0	1.0	183.5	57.1	97.8	374.4	479.4	s/sig.	0.029	Ok
	852	UPN140	1.0	20.4	Classe1	-	-	ELU_SC (Temp+_ W _{yy1})	-34.9	10.0	1.0	183.5	57.1	97.8	374.4	479.4	-	0.093	ok
	853	UPN140	1.0	20.4	Classe1	-	-	ELU_SC (Temp+_ W _{yy1})	-52.9	10.0	1.0	183.5	57.1	97.8	374.4	479.4	-	0.141	ok
	854	UPN140	1.0	20.4	Classe1	-	-	ELU_SC (Temp_- W _{yy1})	-65.0	10.0	1.0	183.5	57.1	97.8	374.4	479.4	-	0.174	ok
	855	UPN140	1.0	20.4	Classe1	-	-	ELU_SC (Temp_- W _{yy1})	-71.3	10.0	1.0	183.5	57.1	97.8	374.4	479.4	-	0.190	ok
	856	UPN140	1.0	20.4	Classe1	-	-	ELU_SC (Temp_- W _{y1})	-71.6	10.0	1.0	183.5	57.1	97.8	374.4	479.4	-	0.191	ok
	857	UPN140	1.0	20.4	Classe1	-	-	ELU_SC (Temp_- W _{xx1})	-66.2	10.0	1.0	183.5	57.1	97.8	374.4	479.4	-	0.177	ok
	858	UPN140	1.0	20.4	Classe1	-	-	ELU_SC (Temp_- W _{xx1})	-55.1	10.0	1.0	183.5	57.1	97.8	374.4	479.4	-	0.147	ok
	859	UPN140	1.0	20.4	Classe1	-	-	ELU_SC (Temp_- W _{xx1})	-38.1	10.0	1.0	183.5	57.1	97.8	374.4	479.4	-	0.102	ok
840	UPN140	1.0	20.4	Classe1	ELU_W _{yy} (Temp+)	0.8	ELU_SC (Temp_- W _{xx1})	-15.9	10.0	1.0	183.5	57.1	97.8	374.4	479.4	s/sig.	0.042	ok	

Conclusão:

- 1 - Os perfis que constituem as barras das Madres têm resistência suficiente para suportarem os esforços axiais máximos de cálculo para as combinações mais desfavoráveis, sendo alguns dos perfis escolhidos por razões de esbelteza.
- 2 - Todas as madres tem a mesma geometria e são constituídas pelos mesmos perfis.

b) Estados Limites de Utilização

Procedeu-se também à verificação das flechas com base nos deslocamentos máximos da estrutura.

Na Tabela 4.53 indicam-se os resultados das verificações.

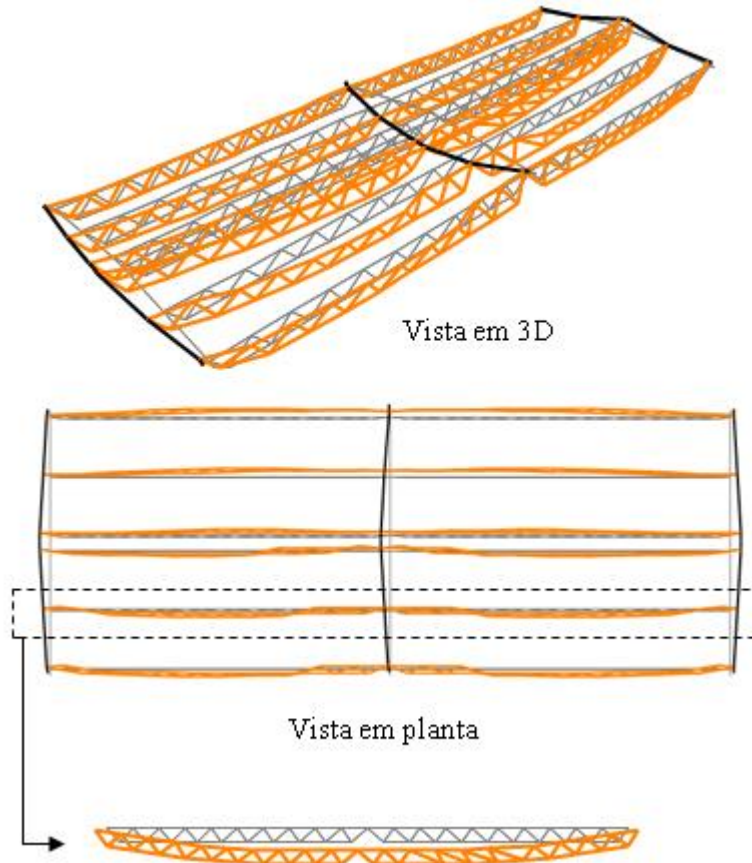


Figura 4.22 – Deslocamentos máximos nas Madres da Cobertura

Tabela 4.53 – Deslocamentos máximos nas Madres da Cobertura

Elementos	δ_{\max} (segundo o EC3)	δ_{\max} admissível [cm]	$\delta_{v,\max}$ obtido "SAP2000" [cm]	Obs.
Madres da Cobertura	L/200	1000/200 = 5	1.8	ok

4.3.4 Platibandas

Estas estruturas são constituídas também por treliças planas.

De referir, porém, que os cordões superiores e inferiores além dos esforços axiais tem também esforços de flexão significativos segundo o eixo mais forte, devido à ação do vento.

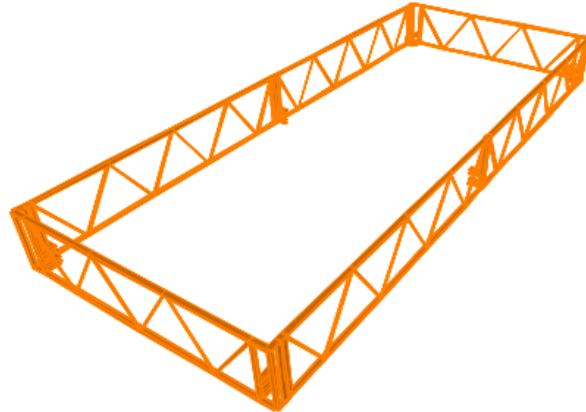


Figura 4.23 – Platibandas

4.3.4.1 Dimensionamento

a) Estados Limites Últimos

O dimensionamento das barras das platibandas foi feito também numa folha de cálculo em "Excel", com base nos ábacos de dimensionamento da Memória Descritiva.

Nas Figuras 4.24 e 4.25 indica-se a geometria, e identificam-se todas as barras de duas das platibandas da cobertura.

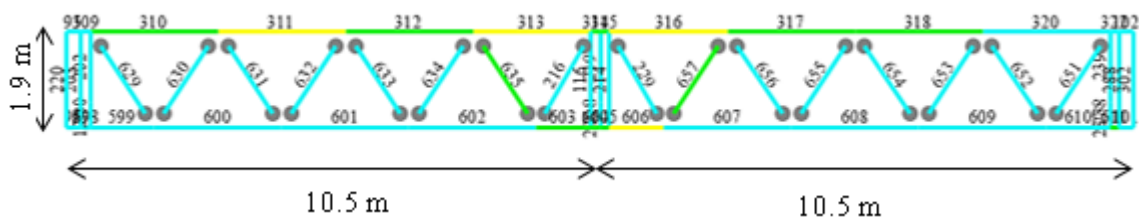


Figura 4.24 – Geometria e identificação das barras das Platibandas dos Alçados Laterais

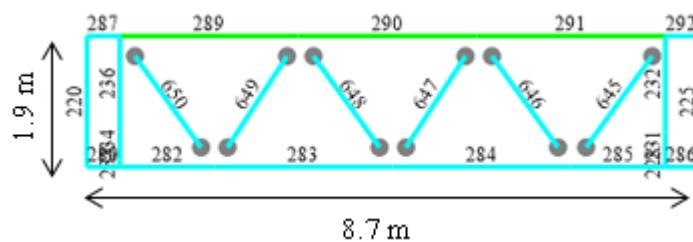


Figura 4.25 – Geometria e identificação das barras das Platibandas dos Alçados das Empenas

Tabela 4.54 – Dimensionamento das Diagonais e Prumos das Platibandas dos Alçados Laterais e das Empenas

Elementos gerais						Esforços de Cálculo				Comprimentos Críticos da Encurvadura (Eixos y e z)		Esbelteza		Esforços Resistentes Resistência a Encurvadura e Tração			Rácios Finais		Obs.	
Barras	Nº das Barras	Perfis	L [m]	A [cm²]	Classes	Combinações Condicionantes p/ Esforços de Tração	N _{Ed} (+) [kN]	Combinações Condicionantes p/ Esforços de Compressão	N _{Ed} (-) [kN]	L _{cr,y} [m]	L _{cr,z} [m]	λ _y	λ _z	N _{brd,y} [kN]	N _{brd,z} [kN]	N _{t,Rd} [kN]	Tração	Encurvadura por Compressão		
																	$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{\max\{N_{br,y}; N_{br,z}\}}$		
Platibanda dos Alçados das Empenas	Diagonais	645	L50x5	2.3	4.8	Classe 3	ELU_Wy (Temp+)	4.9	-	-	2.3	2.3	121.3	237.6	50.9	21.3	112.8	0.044	-	ok
		646	L50x5	2.3	4.8	Classe 3	-	-	ELU_Wy (Temp+)	-4.2	2.3	2.3	121.0	237.0	50.9	21.3	112.8	-	0.082	ok
		647	L50x5	2.2	4.8	Classe 3	ELU_Wy (Temp+)	2.8	ELU_Wyy (Temp-)	-0.9	2.2	2.2	117.0	229.2	53.3	22.8	112.8	0.025	0.017	ok
		648	L50x5	2.3	4.8	Classe 3	ELU_Wyy (Temp-)	2.2	ELU_Wy (Temp+)	-1.6	2.3	2.3	121.3	237.6	50.9	21.3	112.8	0.020	0.032	ok
		649	L50x5	2.2	4.8	Classe 3	ELU_Wy (Temp+)	0.6	ELU_Wyy (Temp-)	-3.3	2.2	2.2	117.0	229.2	53.3	22.8	112.8	s/sig	0.062	ok
		650	L50x5	2.3	4.8	Classe 3	ELU_Wyy1 (Temp+)	4.3	-	-	2.3	2.3	121.3	237.6	50.9	21.3	112.8	0.038	-	ok
	Prumos	220	UPN120	1.9	17.0	Classe 1	ELU_Temp+ (Wx)	0.2	ELU_Wy (Temp-)	-1.2	1.9	1.9	40.5	117.6	350.5	169.2	399.5	s/sig	s/sig	ok
		225	UPN120	1.9	17.0	Classe 1	ELU_Wy (Temp+)	1.1	ELU_Wyy1 (Temp-)	-0.9	1.9	1.9	40.5	117.6	350.5	169.2	399.5	s/sig	s/sig	ok
		228	UPN120	0.1	17.0	Classe 1	ELU_Wy (Temp-)	7.7	ELU_Wx1 (Temp+)	-4.1	0.1	0.1	2.2	6.3	479.4	399.5	399.5	0.019	s/sig	ok
		231	UPN120	0.4	17.0	Classe 1	ELU_Wx1 (Temp+)	1.6	ELU_Wy (Temp-)	-7.1	0.4	0.4	8.7	25.2	479.4	456.8	399.5	s/sig	0.015	ok
		232	UPN120	1.4	17.0	Classe 1	ELU_Wx1 (Temp+)	0.6	ELU_Wy (Temp-)	-6.4	1.4	1.4	29.7	86.2	461.4	374.7	399.5	s/sig	0.014	ok
		233	UPN120	0.1	17.0	Classe 1	ELU_Wy (Temp-)	7.7	ELU_Wx1 (Temp+)	-4.8	0.1	0.1	2.2	6.3	479.4	399.5	399.5	0.019	0.010	ok
		234	UPN120	0.4	17.0	Classe 1	ELU_Wx1 (Temp+)	1.4	ELU_Wyy (Temp-)	-5.8	0.4	0.4	8.7	25.2	479.4	456.8	399.5	s/sig	0.012	ok
		236	UPN120	1.4	17.0	Classe 1	ELU_Wx1 (Temp+)	1.2	ELU_Wy (Temp-)	-7.0	1.4	1.4	29.7	86.2	461.4	374.7	399.5	s/sig	0.015	ok
Platibandas dos Alçados das Laterais	Diagonais	216	L50X5	2.2	4.8	Classe 3	ELU_SC (Temp-_Wy)	8.5	-	-	2.2	2.2	113.2	221.8	53.3	22.8	112.8	0.076	-	ok
		229	L50X5	2.2	4.8	Classe 3	ELU_SC (Temp-_Wy)	8.7	-	-	2.2	2.2	113.2	221.8	53.3	22.8	112.8	0.077	-	ok
		629	L50X5	2.3	4.8	Classe 3	ELU_Wyy1 (Temp+)	3.8	ELU_SC (Temp-_Wy)	-1.0	2.3	2.3	118.4	232.0	51.0	21.4	112.8	0.033	0.019	ok
		630	L50X5	2.2	4.8	Classe 3	ELU_SC (Temp-_Wy)	2.2	ELU_Wyy1 (Temp+)	-2.8	2.2	2.2	118.3	231.8	53.3	22.8	112.8	0.020	0.053	ok
		631	L50X5	2.3	4.8	Classe 3	ELU_Wyy1 (Temp+)	1.7	ELU_SC (Temp-_Wy)	-3.4	2.3	2.3	118.4	232.0	51.0	21.4	112.8	0.015	0.067	ok
		632	L50X5	2.2	4.8	Classe 3	ELU_SC (Temp-_Wy)	4.5	ELU_Wyy1 (Temp+)	-0.5	2.2	2.2	118.4	231.9	53.3	22.8	112.8	0.040	s/sig	ok
		633	L50X5	2.2	4.8	Classe 3	-	-	ELU_SC (Temp-_Wy)	-5.6	2.2	2.2	118.4	231.9	53.3	22.8	112.8	-	0.105	ok
		634	L50X5	2.2	4.8	Classe 3	ELU_SC (Temp-_Wy)	6.9	-	-	2.2	2.2	118.4	231.9	53.3	22.8	112.8	0.061	-	ok
		635	L50X5	2.2	4.8	Classe 3	-	-	ELU_SC (Temp-_Wy)	-8.0	2.2	2.2	118.4	231.9	53.3	22.8	112.8	-	0.150	ok
		651	L50X5	2.3	4.8	Classe 3	ELU_Wyy1 (Temp+)	3.6	ELU_SC (Temp-_Wy)	-1.3	2.3	2.3	118.4	232.0	51.0	21.4	112.8	0.032	0.026	ok
		652	L50X5	2.2	4.8	Classe 3	ELU_SC (Temp+_Wy)	2.2	-	-	2.2	2.2	118.3	231.8	53.3	22.8	112.8	0.020	-	ok
		653	L50X5	2.3	4.8	Classe 3	ELU_Wyy1 (Temp+)	1.6	ELU_SC (Temp-_Wy)	-3.5	2.3	2.3	118.4	232.0	51.0	21.4	112.8	0.014	0.069	ok
		654	L50X5	2.2	4.8	Classe 3	ELU_SC (Temp-_Wy)	4.7	ELU_Wyy1 (Temp+)	-0.4	2.2	2.2	118.4	231.9	53.3	22.8	112.8	0.042	s/sig	ok
		655	L50X5	2.2	4.8	Classe 3	-	-	ELU_SC (Temp-_Wy)	-5.8	2.2	2.2	118.4	231.9	53.3	22.8	112.8	-	0.109	ok
	656	L50X5	2.2	4.8	Classe 3	ELU_SC (Temp-_Wy)	7.0	-	-	2.2	2.2	118.4	231.9	53.3	22.8	112.8	0.062	-	ok	
	657	L50X5	2.2	4.8	Classe 3	-	-	ELU_SC (Temp-_Wy)	-8.2	2.2	2.2	118.4	231.9	53.3	22.8	112.8	-	0.153	ok	
	Prumos	116	UPN120	1.9	17.0	Classe 1	-	-	ELU_SC (Temp-_Wy)	-3.9	1.9	1.9	40.5	117.6	350.5	169.2	399.5	-	0.011	ok
		199	UPN120	0.1	17.0	Classe 1	ELU_Wx1 (Temp+)	4.2	ELU_SC (Temp-_Wy)	-3.9	0.1	0.1	2.2	6.3	479.4	399.5	399.5	0.011	s/sig	ok
		200	UPN120	0.4	17.0	Classe 1	ELU_SC (Temp-_Wy)	5.5	ELU_Wy (Temp-)	-4.0	0.4	0.4	8.7	25.2	479.4	456.8	399.5	0.014	s/sig	ok
		202	UPN120	1.4	17.0	Classe 1	ELU_Wy (Temp-)	5.9	ELU_Wx1 (Temp+)	-9.5	1.4	1.4	29.7	86.2	461.4	399.5	399.5	0.015	0.021	ok
214		UPN120	1.9	17.0	Classe 1	-	-	ELU_SC (Temp-_Wxx)	-3.8	1.9	1.9	40.5	117.6	350.5	169.2	399.5	-	0.011	ok	
237		UPN120	0.1	17.0	Classe 1	ELU_Wxx1 (Temp+)	1.8	ELU_Wy (Temp-)	-1.3	0.1	0.1	2.2	6.3	479.4	399.5	399.5	s/sig	s/sig	ok	
238		UPN120	0.4	17.0	Classe 1	ELU_SC (Temp-_Wyy1)	4.2	ELU_Wxx (Temp+)	-3.4	0.4	0.4	8.7	25.2	479.4	456.8	399.5	s/sig	s/sig	ok	
239	UPN120	1.4	17.0	Classe 1	-	-	ELU_Wyy1 (Temp+)	-5.4	1.4	1.4	29.7	86.2	461.4	374.7	399.5	s/sig	0.012	ok		

Conclusão:

- 1 - Os perfis que constituem as barras das Diagonais e dos Prumos têm resistência suficiente para suportarem os esforços axiais máximos de cálculo para as combinações mais desfavoráveis, tendo sido alguns escolhidos por razões de esbelteza.
- 2 - O dimensionamento das barras dos Cordões Superiores e Inferiores das Platibandas consta da Tabela 4.49.

Tabela 4.55 – Dimensionamento dos Cordões Superiores e Inferiores das Platibandas dos Alçados Laterais e das Empenas

Elementos Gerais						Esforços de Cálculo								
Barras	Nº das Barras	Perfis	L [m]	A [cm ²]	Classe	Combinações Condicionantes p/ Esforços de Tração	N _{Ed} (+) [kN]	M _{y,Ed,máx} [kN.m]	M _{z,Ed,máx} [kN.m]	Combinações Condicionantes p/ Esforços de Compressão	N _{Ed} (-) [kN]	M _{y,Ed,máx} [kN.m]	M _{z,Ed,máx} [kN.m]	
Platibanda dos Alçados das Empenas	Cordões Superiores	287	UPN140	0.5	20.4	Classe 1	ELU_Wyy(Temp-)	4.24	7.66	0.50	ELU_Wy(Temp-)	-2.94	3.40	1.47
		289	UPN140	2.6	20.4	Classe 1	ELU_Wx(Temp+)	1.86	5.67	-0.20	ELU_Wy1(Temp+)	-3.54	-3.50	-0.31
		290	UPN140	2.6	20.4	Classe 1	ELU_Wx(Temp+)	0.38	6.07	0.03	ELU_SC(Temp+_ Wyy1)	-4.13	-1.70	-0.18
		291	UPN140	2.7	20.4	Classe 1	ELU_Wy(Temp+)	2.13	6.31	-0.20	ELU_Wyy1(Temp+)	-4.11	5.30	-0.14
		292	UPN140	0.5	20.4	Classe 1	ELU_Wy(Temp-)	4.19	8.66	0.21	ELU_SC(Temp+_ Wyy1)	-2.07	2.10	-0.32
	Cordões Inferiores	280	UPN140	0.5	20.4	Classe 1	ELU_Wy(Temp-)	20.83	-3.19	1.99	ELU_Wx1(Temp+)	-18.12	3.00	1.05
		282	UPN140	1.3	20.4	Classe 1	ELU_Wy(Temp-)	18.93	-3.29	0.12	ELU_Wx1(Temp+)	-20.63	3.74	0.10
		283	UPN140	2.6	20.4	Classe 1	ELU_Wy(Temp-)	18.87	1.07	0.11	ELU_Wx1(Temp+)	-17.97	0.35	0.16
		284	UPN140	2.5	20.4	Classe 1	ELU_Wy(Temp-)	16.46	3.33	0.22	ELU_Wx1(Temp+)	-17.97	3.26	0.19
		285	UPN140	1.3	20.4	Classe 1	ELU_Wyy(Temp-)	11.39	-3.55	0.09	ELU_Wx1(Temp+)	-21.00	-0.35	0.16
		286	UPN140	0.5	20.4	Classe 1	ELU_Wyy1(Temp-)	15.34	-1.49	1.71	ELU_Wx1(Temp+)	-18.76	3.61	-1.51
Platibanda dos Alçados Laterais	Cordões superiores	95	UPN140	0.3	20.4	Classe 1	ELU_Wyy(Temp+)	4.36	-7.68	-0.10	ELU_Wx1(Temp-)	-2.37	-2.20	0.45
		102	UPN140	0.3	20.4	Classe 1	ELU_Wyy(Temp+)	3.07	-7.15	-0.02	ELU_Wy(Temp+)	-3.04	3.10	0.16
		310	UPN140	2.5	20.4	Classe 1	ELU_SC(Temp+_ Wyy)	2.82	-3.36	-0.16	ELU_Wy(Temp-)	-3.51	1.30	-0.12
		311	UPN140	2.5	20.4	Classe 1	ELU_SC(Temp+_ Wx)	3.95	3.91	-0.17	ELU_Wy1(Temp+)	-4.19	-5.50	-0.18
		312	UPN140	2.5	20.4	Classe 1	ELU_SC(Temp-_ Wxx)	9.79	2.73	-0.18	ELU_Temp-(Wx)	-0.57	2.70	0.08
		313	UPN140	2.3	20.4	Classe 1	ELU_SC(Temp+_ Wx)	16.27	-6.42	-0.15	-	-	-	-
		314	UPN140	0.2	20.4	Classe 1	ELU_SC(Temp-_ Wy)	21.09	8.67	-0.54	-	-	-	-
		315	UPN140	0.2	20.4	Classe 1	ELU_SC(Temp+_ Wx)	20.53	-6.62	-0.53	-	-	-	-
		317	UPN140	2.5	20.4	Classe 1	ELU_SC(Temp-_ Wxx1)	9.25	3.12	-0.18	ELU_Wy(Temp+)	-2.84	-0.15	-0.17
		318	UPN140	2.5	20.4	Classe 1	ELU_SC(Temp-_ Wxx)	5.26	3.48	-0.18	ELU_Wy(Temp-)	-5.07	-7.40	-0.17
	Cordões Inferiores	320	UPN140	2.5	20.4	Classe 1	ELU_SC(Temp+_ Wxx)	2.90	3.55	-0.17	ELU_Wy(Temp+)	-4.87	-6.60	-0.18
		322	UPN140	0.2	20.4	Classe 1	ELU_Wyy(Temp+)	3.22	-5.47	-0.17	ELU_Wy(Temp-)	-3.61	2.20	0.15
		96	UPN140	0.3	20.4	Classe 1	ELU_Wx(Temp-)	2.20	4.16	0.54	ELU_Wy(Temp+)	-3.28	-4.60	-1.20
		599	UPN140	1.3	20.4	Classe 1	ELU_Wyy(Temp-)	6.95	4.58	0.03	ELU_Temp+(Wx1)	-3.58	3.70	0.21
		600	UPN140	2.5	20.4	Classe 1	ELU_Wyy(Temp-)	10.32	-2.52	0.18	ELU_SC(Temp+_ Wx1)	-3.03	1.06	0.10
		601	UPN140	2.5	20.4	Classe 1	ELU_Wyy(Temp-)	11.20	-2.88	-0.07	ELU_SC(Temp+_ Wx1)	-6.44	-2.00	0.19
		602	UPN140	2.5	20.4	Classe 1	ELU_Wyy(Temp-)	9.50	-2.21	0.18	ELU_SC(Temp+_ Wy)	-13.01	2.70	0.19
		603	UPN140	1.1	20.4	Classe 1	ELU_Wyy(Temp-)	5.69	5.20	0.00	ELU_SC(Temp+_ Wy)	-21.48	-2.60	0.13
		606	UPN140	1.1	20.4	Classe 1	ELU_Wyy(Temp-)	5.46	5.04	0.00	ELU_SC(Temp+_ Wy)	-22.53	-6.80	0.04
		607	UPN140	2.5	20.4	Classe 1	ELU_Wyy(Temp-)	9.34	-2.28	0.18	ELU_SC(Temp+_ Wy)	-13.89	-3.00	0.13
608	UPN140	2.5	20.4	Classe 1	ELU_Wyy(Temp-)	11.14	-2.53	0.18	ELU_SC(Temp+_ Wy)	-6.94	2.50	0.19		
609	UPN140	2.5	20.4	Classe 1	ELU_Wyy(Temp-)	10.34	-2.53	0.18	ELU_SC(Temp+_ Wy1)	-2.90	2.90	0.18		
610	UPN140	1.3	20.4	Classe 1	ELU_Wyy(Temp+)	6.27	4.64	0.11	ELU_Temp+(Wy1)	-3.06	-0.99	0.13		

Tabela 4.56 – Dimensionamento dos Cordões Superiores e Inferiores das Platibandas dos Alçados Laterais e das Empenas (cont.)

Nº das Barras	Comprimentos Críticos de Encurvadura (Eixos y e z)		Esbelteza		Esforços Resistentes de Cálculo					Rácios Finais								Obs.
	L _{cry} [m]	L _{crz} [m]	λ _y	λ _z	N _{bRd,y} [kN]	N _{bRd,z} [kN]	N _{t,Rd} [kN]	M _{y,c,Rd} [kN.m]	M _{z,c,Rd} [kN.m]	Rácios Tracões + M _y + M _z				Rácios Compressões + M _y + M _z				
										$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}}$	Rácios Totais	$\frac{N_{Ed}}{\max\{N_{b,Rd,y}, N_{b,Rd,z}\}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}}$	Rácios Totais	
287	8.7	0.5	160.4	27.1	123.4	454.1	479.4	24.2	3.5	s/sig.	0.316	0.144	0.641	s/sig.	0.14	0.424	0.287	ok
289	8.7	2.6	159.1	145.7	123.4	139.1	479.4	24.2	3.5	s/sig.	0.234	0.058	0.472	0.025	0.145	0.089	0.315	ok
290	8.7	2.6	159.1	145.7	123.4	139.1	479.4	24.2	3.5	s/sig.	0.251	0.009	0.502	0.03	0.07	0.052	0.17	ok
291	9.1	2.7	167.5	153.4	114.6	131.0	479.4	24.2	3.5	s/sig.	0.261	0.056	0.526	0.031	0.219	0.041	0.469	ok
292	8.7	0.5	160.4	27.1	123.4	454.1	479.4	24.2	3.5	s/sig.	0.358	0.059	0.724	s/sig.	0.087	0.091	0.178	ok
280	8.7	0.5	160.4	27.1	123.4	454.1	479.4	24.2	3.5	0.043	0.132	0.573	0.307	0.04	0.124	0.302	0.288	ok
282	8.8	1.3	160.8	77.0	123.4	320.6	479.4	24.2	3.5	0.039	0.136	0.033	0.312	0.064	0.155	0.029	0.373	ok
283	8.7	2.6	159.1	145.7	123.4	139.1	479.4	24.2	3.5	0.039	0.044	0.03	0.128	0.129	0.014	0.045	0.158	ok
284	8.6	2.5	158.4	145.1	125.8	148.0	479.4	24.2	3.5	0.034	0.138	0.063	0.31	0.121	0.135	0.056	0.391	ok
285	8.8	1.3	160.8	77.0	123.4	320.6	479.4	24.2	3.5	0.024	0.147	0.026	0.317	0.066	0.014	0.046	0.094	ok
286	8.7	0.5	160.4	27.1	123.4	454.1	479.4	24.2	3.5	0.032	0.061	0.492	0.155	0.041	0.149	0.434	0.34	ok
95	10.5	0.3	192.0	16.0	89.9	479.4	479.4	24.2	3.5	0.009	0.317	0.03	0.643	s/sig.	0.091	0.13	0.187	ok
102	15.9	0.3	291.0	16.0	42.7	479.4	479.4	24.2	3.5	0.006	0.295	0.004	0.597	s/sig.	0.128	0.045	0.262	ok
310	10.5	2.5	192.7	142.9	89.9	148.0	479.4	24.2	3.5	0.006	0.139	0.047	0.283	0.024	0.054	0.034	0.131	ok
311	10.5	2.5	192.8	143.0	89.9	148.0	479.4	24.2	3.5	0.008	0.161	0.048	0.331	0.028	0.227	0.052	0.483	ok
312	10.5	2.5	192.7	142.9	89.9	148.0	479.4	24.2	3.5	0.02	0.113	0.051	0.246	0.004	0.112	0.024	0.227	ok
313	10.4	2.3	191.0	132.2	91.4	168.0	479.4	24.2	3.5	0.034	0.265	0.043	0.564	-	-	-	-	ok
314	10.5	0.2	192.1	10.6	89.9	479.4	479.4	24.2	3.5	0.044	0.358	0.154	0.76	-	-	-	-	ok
315	10.5	0.2	192.1	10.6	89.9	479.4	479.4	24.2	3.5	0.043	0.273	0.151	0.589	-	-	-	-	ok
317	10.5	2.5	192.7	142.9	89.9	148.0	479.4	24.2	3.5	0.019	0.129	0.051	0.277	0.019	0.006	0.047	0.032	ok
318	10.5	2.5	192.8	143.0	89.9	148.0	479.4	24.2	3.5	0.011	0.144	0.051	0.299	0.034	0.306	0.049	0.646	ok
320	10.5	2.5	192.7	142.9	89.9	148.0	479.4	24.2	3.5	0.006	0.147	0.049	0.3	0.033	0.273	0.053	0.578	ok
322	10.5	0.2	192.1	10.6	89.9	479.4	479.4	24.2	3.5	0.007	0.226	0.05	0.459	s/sig.	0.091	0.042	0.189	ok
96	10.5	0.3	192.0	16.0	89.9	479.4	479.4	24.2	3.5	0.005	0.172	0.154	0.348	s/sig.	0.19	0.345	0.387	ok
599	10.5	1.3	193.0	71.5	89.9	320.6	479.4	24.2	3.5	0.014	0.189	0.009	0.393	0.011	0.153	0.059	0.317	ok
600	10.5	2.5	192.7	142.9	89.9	148.0	479.4	24.2	3.5	0.022	0.104	0.052	0.23	0.02	0.044	0.029	0.108	ok
601	10.5	2.5	192.7	142.9	89.9	148.0	479.4	24.2	3.5	0.023	0.119	0.021	0.261	0.044	0.083	0.055	0.209	ok
602	10.5	2.5	192.7	142.9	89.9	148.0	479.4	24.2	3.5	0.02	0.091	0.052	0.202	0.088	0.112	0.054	0.311	ok
603	10.4	1.1	191.1	60.7	91.4	356.8	479.4	24.2	3.5	0.012	0.215	0.001	0.441	0.06	0.107	0.037	0.275	ok
606	10.4	1.1	191.1	60.7	91.4	356.8	479.4	24.2	3.5	0.011	0.208	0	0.428	0.063	0.281	0.011	0.625	ok
607	10.5	2.5	192.7	142.9	89.9	148.0	479.4	24.2	3.5	0.019	0.094	0.051	0.208	0.094	0.124	0.037	0.342	ok
608	10.5	2.5	192.7	142.9	89.9	148.0	479.4	24.2	3.5	0.023	0.105	0.053	0.233	0.047	0.103	0.054	0.253	ok
609	10.5	2.5	192.7	142.9	89.9	148.0	479.4	24.2	3.5	0.022	0.105	0.053	0.231	0.02	0.12	0.052	0.259	ok
610	10.5	1.3	193.0	71.5	89.9	320.6	479.4	24.2	3.5	0.013	0.192	0.031	0.396	0.01	0.041	0.038	0.091	ok

Conclusão:

Os perfis que constituem os Cordões Superiores e Inferiores das Platibandas têm resistência para suportarem os esforços axiais máximos de cálculo.

b) Estados Limites de Utilização

As verificações da segurança em relação ao Estado Limite de Deformação nas Platibandas consta da Tabela 4.56.

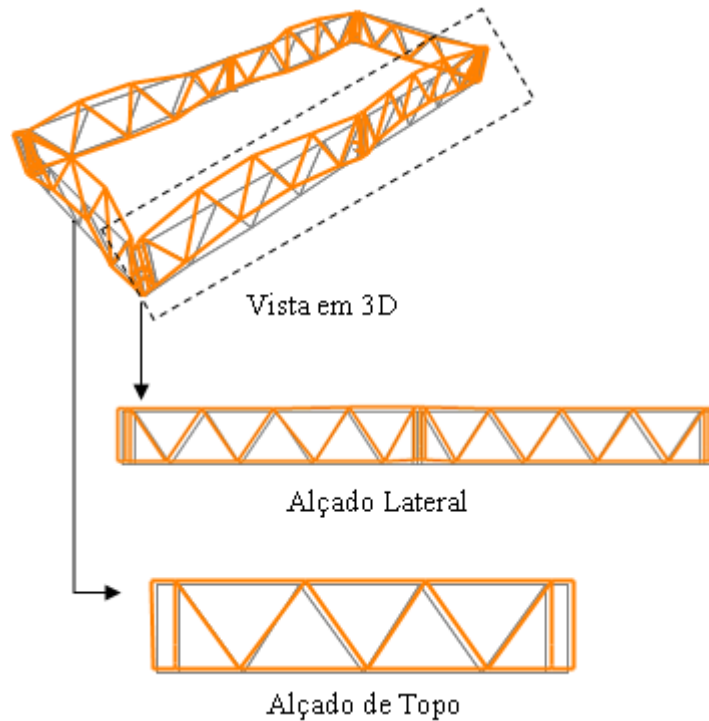


Figura 4.26 – Deformação das Platibandas

Tabela 4.57 – Deslocamentos máximos das Platibandas

Elementos		$\delta_{\text{máx}} \text{ EC3}$	$\delta_{v,\text{máx}} / \delta_{H,\text{máx}}$ admissível [cm]	$\delta_{\text{máx}} \text{ obtido}$ "SAP2000" [cm]	Obs.
Platibandas	Alçados Laterais	H/300	0.6	0.32	ok
		L/250	4.2	0.21	ok
	Alçados de Topo	H/300	0.6	0.26	ok
		L/250	3.5	0.19	ok

4.3.5 Madres dos Alçados

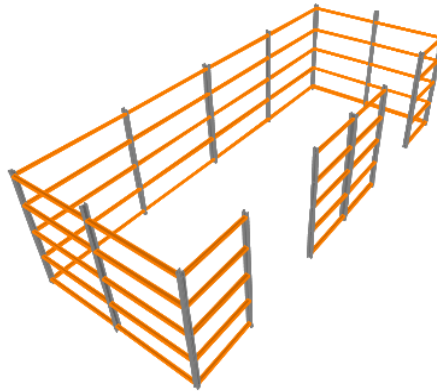


Figura 4.27 – Madres dos Alçados

4.3.5.1 Dimensionamento

a) Estados Limites Últimos

O dimensionamento das madres dos alçados teve em conta os resultados dos ficheiros de resultados do programa de cálculo automático.

Procedeu-se ao dimensionamento à flexão desviada para todas as seções transversais das madres numa folha de cálculo em "Excel".

Nas figuras seguintes identificam-se todas as barras das madres.

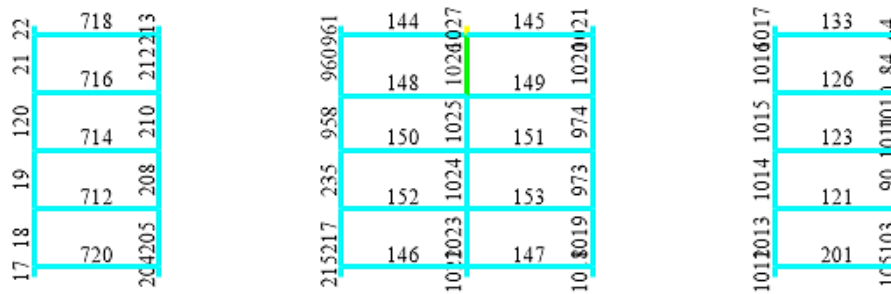


Figura 4.28 – Madres dos Alçados na zona dos Portões



Figura 4.29 – Madres dos Alçados na zona oposta aos Portões

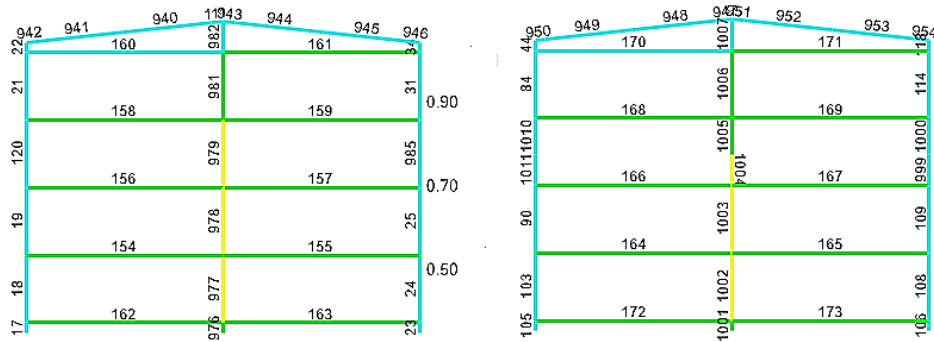


Figura 4.30 – Madres dos Alçados das Empenas

Tabela 4.58 – Características Gerais das barras das Madres

I - Elementos Gerais						II - Propriedades do Aço			
Elem.	Nº das Barras	Perfis	Classes	L [m]	Combinação condicionante	Tipo de Aço	f _y [MPa]	E [GPa]	G [GPa]
Madres dos Alçados dos Portões	121	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wxx(Temp+)	S235	235	210	81
	123	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wxx(Temp+)	S235	235	210	81
	126	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wxx(Temp+)	S235	235	210	81
	133	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wxx(Temp+)	S235	235	210	81
	144	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wx(Temp+)	S235	235	210	81
	145	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wx(Temp+)	S235	235	210	81
	146	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wxx(Temp+)	S235	235	210	81
	147	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wxx(Temp+)	S235	235	210	81
	148	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wx(Temp+)	S235	235	210	81
	149	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wxx(Temp-)	S235	235	210	81
	150	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wxx(Temp+)	S235	235	210	81
	151	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wxx(Temp+)	S235	235	210	81
	152	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wxx(Temp+)	S235	235	210	81
	153	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wxx(Temp+)	S235	235	210	81
	712	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wx(Temp+)	S235	235	210	81
	714	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wx(Temp+)	S235	235	210	81
	716	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wx(Temp+)	S235	235	210	81
	718	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wx(Temp+)	S235	235	210	81
	720	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wx(Temp+)	S235	235	210	81
	201	UPN120	Classe 1	2.9	ELU_Wxx(Temp+)	S235	235	210	81

Tabela 4.59 – Características Gerais das barras das Madres (cont.)

I - Elementos Gerais						II - Propriedades do Aço			
Elem.	Nº das Barras	Perfis	Classes	L [m]	Combinação condicionante	Tipo de Aço	f _y [MPa]	E [GPa]	G [GPa]
Madres dos Alçados na Zona oposta aos Portões	13	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp-)	S235	235	210	81
	20	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81
	26	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81
	28	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81
	27	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81
	29	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp-)	S235	235	210	81
	30	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81
	36	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81
	39	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81
	42	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81
	141	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81
	143	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81
	174	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81
	175	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81
	178	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81
	182	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81
183	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81	
186	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81	
190	UPN120	Classe 1	5.0	ELU_Wyy1(Temp+)	S235	235	210	81	
Madres dos Alçados das Empenas	154	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wx1(Temp-)	S236	235	210	81
	155	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wx1(Temp+)	S237	235	210	81
	156	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wx1(Temp+)	S238	235	210	81
	157	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wx1(Temp+)	S239	235	210	81
	158	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wx1(Temp+)	S240	235	210	81
	159	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wx1(Temp+)	S241	235	210	81
	160	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wx1(Temp+)	S242	235	210	81
	161	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wx1(Temp+)	S243	235	210	81
	162	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wx1(Temp+)	S244	235	210	81
	163	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wx1(Temp+)	S245	235	210	81
	164	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wy(Temp+)	S246	235	210	81
	165	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wyy(Temp+)	S247	235	210	81
	166	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wy(Temp+)	S248	235	210	81
	167	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wyy(Temp+)	S249	235	210	81
	168	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wy(Temp+)	S250	235	210	81
	169	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wyy(Temp+)	S251	235	210	81
170	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wy(Temp+)	S252	235	210	81	
171	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wyy(Temp+)	S253	235	210	81	
172	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wyy(Temp+)	S254	235	210	81	
173	UPN120	Classe 1	3.9	ELU_Wy(Temp+)	S255	235	210	81	

Tabela 4.60 – Características dos perfis das Madres

Elementos	Nº das Barras	III - Características Geométricas e Plásticas														
		Características Geométricas dos UPN							Características Plásticas dos UPN							
									Eixo yy -maior inércia				Eixo zz-menor inércia			
h [mm]	b [mm]	t _f [mm]	t _w [mm]	A [cm ²]	I _t [cm ⁴]	I _w [cm ⁶]	I _y [cm ⁴]	W _{pl,y} [cm ³]	i _y [cm]	A _{v,z} [cm ²]	I _z [cm ⁴]	W _{pl,z} [cm ³]	i _z [cm]	A _{v,y} [cm ²]		
Alçados Portões	121/123/126/144/145/146/147/148/149/150/151/152/153/712/714/716/718/720/201	120	55	7	9	17	3.8	1039.6	364	72.6	4.62	8.8	43.2	21.2	1.59	8.52
Alçados na Zona Oposta aos Portões	13/20/26/27/28/29/30/36/39/42/93/141/143/174/175/178/182/183/186/190	120	55	7	9	17	3.8	1039.6	364	72.6	4.62	8.8	43.2	21.2	1.59	8.52
Alçados das Empenas	154/155/156/157/158/159/160/61/162/163/164/165/166/167/168/169/170/171/172/173/	120	55	7	9	17	3.8	1039.6	364	72.6	4.62	8.8	43.2	21.2	1.59	8.52

Tabela 4.61 – Esforços Atuantes e Resistentes de Cálculo e Verificação das Secções à Flexão Desviada (cont.)

Elementos	Nº das Barras	III - Esforços de Cálculo		IV - Esforços Resistentes de Cálculo		V - Resistência à Flexão				VI - Flexão Desviada			
		M _{y,Ed} [kN.m]	M _{z,Ed} [kN.m]	M _{pl,y,Rd} [kN.m]	M _{pl,z,Rd} [kN.m]	Eixo y-y		Eixo z-z		α	β	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right]^\beta$	obs.
						$\frac{M_{Ed,y}}{M_{c,Rd,y}}$	obs.	$\frac{M_{Ed,z}}{M_{c,Rd,z}}$	obs.				
Madres dos Alçados na zona dos Portões	121	1.94	0.37	17.1	5.0	0.114	ok	0.075	ok	1	1	0.189	ok
	123	1.94	0.37	17.1	5.0	0.114	ok	0.075	ok	1	1	0.189	ok
	126	1.94	0.37	17.1	5.0	0.114	ok	0.075	ok	1	1	0.189	ok
	133	1.26	0.30	17.1	5.0	0.074	ok	0.061	ok	1	1	0.135	ok
	144	0.90	0.30	17.1	5.0	0.053	ok	0.061	ok	1	1	0.113	ok
	145	0.90	0.30	17.1	5.0	0.053	ok	0.061	ok	1	1	0.113	ok
	146	0.90	0.30	17.1	5.0	0.053	ok	0.061	ok	1	1	0.113	ok
	147	0.90	0.30	17.1	5.0	0.053	ok	0.061	ok	1	1	0.113	ok
	148	1.39	0.37	17.1	5.0	0.081	ok	0.075	ok	1	1	0.156	ok
	149	1.42	0.37	17.1	5.0	0.083	ok	0.075	ok	1	1	0.158	ok
	150	1.42	0.37	17.1	5.0	0.083	ok	0.075	ok	1	1	0.158	ok
	151	1.42	0.37	17.1	5.0	0.083	ok	0.075	ok	1	1	0.158	ok
	152	1.42	0.37	17.1	5.0	0.083	ok	0.075	ok	1	1	0.158	ok
	153	1.42	0.37	17.1	5.0	0.083	ok	0.075	ok	1	1	0.158	ok
	712	1.94	0.37	17.1	5.0	0.114	ok	0.075	ok	1	1	0.189	ok
	714	1.94	0.37	17.1	5.0	0.114	ok	0.075	ok	1	1	0.189	ok
	716	1.94	0.37	17.1	5.0	0.114	ok	0.075	ok	1	1	0.189	ok
718	1.26	0.30	17.1	5.0	0.074	ok	0.061	ok	1	1	0.135	ok	
720	1.10	0.30	17.1	5.0	0.065	ok	0.061	ok	1	1	0.125	ok	
Madres dos Alçados na zona oposta aos Portões	13	1.94	0.37	17.1	5.0	0.114	ok	0.075	ok	1	1	0.189	ok
	20	1.94	0.37	17.1	5.0	0.114	ok	0.075	ok	1	1	0.189	ok
	26	1.94	0.37	17.1	5.0	0.114	ok	0.075	ok	1	1	0.189	ok
	28	1.26	0.30	17.1	5.0	0.074	ok	0.061	ok	1	1	0.135	ok
	27	0.90	0.30	17.1	5.0	0.053	ok	0.061	ok	1	1	0.113	ok
	29	0.90	0.30	17.1	5.0	0.053	ok	0.061	ok	1	1	0.113	ok
	30	0.90	0.30	17.1	5.0	0.053	ok	0.061	ok	1	1	0.113	ok
	36	0.90	0.30	17.1	5.0	0.053	ok	0.061	ok	1	1	0.113	ok
	39	1.39	0.37	17.1	5.0	0.081	ok	0.075	ok	1	1	0.156	ok
	42	1.42	0.37	17.1	5.0	0.083	ok	0.075	ok	1	1	0.158	ok
	141	1.42	0.37	17.1	5.0	0.083	ok	0.075	ok	1	1	0.158	ok
	143	1.42	0.37	17.1	5.0	0.083	ok	0.075	ok	1	1	0.158	ok
	174	1.42	0.37	17.1	5.0	0.083	ok	0.075	ok	1	1	0.158	ok
	175	1.42	0.37	17.1	5.0	0.083	ok	0.075	ok	1	1	0.158	ok
	178	1.94	0.37	17.1	5.0	0.114	ok	0.075	ok	1	1	0.189	ok
	182	1.94	0.37	17.1	5.0	0.114	ok	0.075	ok	1	1	0.189	ok
	183	1.94	0.37	17.1	5.0	0.114	ok	0.075	ok	1	1	0.189	ok
186	1.26	0.30	17.1	5.0	0.074	ok	0.061	ok	1	1	0.135	ok	
190	1.10	0.30	17.1	5.0	0.065	ok	0.061	ok	1	1	0.125	ok	
13	1.94	0.37	17.1	5.0	0.114	ok	0.075	ok	1	1	0.189	ok	

Tabela 4.62 – Esforços Atuantes e Resistentes de Cálculo e Verificação das Secções à Flexão Desviada (cont.)

Elementos	Nº das Barras	III - Esforços de Cálculo		IV - Esforços Resistentes de Cálculo		V - Resistência à Flexão				VI - Flexão Desviada			
		M _{y,Ed} [kN.m]	M _{z,Ed} [kN.m]	M _{pl,y,Rd} [kN.m]	M _{pl,z,Rd} [kN.m]	Eixo y-y		Eixo z-z		α	β	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right]^\beta$	obs.
						Rácio	obs.	Rácio	obs.				
Madres dos Alçados das Empenas	154	2.56	0.67	17.1	5.0	$\frac{M_{Ed,y}}{M_{c,Rd,y}}$	ok	$\frac{M_{Ed,z}}{M_{c,Rd,z}}$	ok	1	1	0.285	ok
	155	2.56	0.67	17.1	5.0	0.150	ok	0.135	ok	1	1	0.285	ok
	156	2.56	0.67	17.1	5.0	0.150	ok	0.135	ok	1	1	0.285	ok
	157	2.56	0.67	17.1	5.0	0.150	ok	0.135	ok	1	1	0.285	ok
	158	2.557	0.673	17.1	5.0	0.150	ok	0.135	ok	1	1	0.285	ok
	159	2.397	0.631	17.1	5.0	0.140	ok	0.127	ok	1	1	0.267	ok
	160	1.420	0.545	17.1	5.0	0.083	ok	0.109	ok	1	1	0.193	ok
	161	1.420	0.545	17.1	5.0	0.083	ok	0.109	ok	1	1	0.193	ok
	162	1.42	0.55	17.1	5.0	0.083	ok	0.109	ok	1	1	0.193	ok
	163	1.42	0.55	17.1	5.0	0.083	ok	0.109	ok	1	1	0.193	ok
	164	3.37	0.67	17.1	5.0	0.197	ok	0.135	ok	1	1	0.332	ok
	165	3.36	0.67	17.1	5.0	0.197	ok	0.135	ok	1	1	0.332	ok
	166	3.37	0.67	17.1	5.0	0.197	ok	0.135	ok	1	1	0.332	ok
	167	3.36	0.67	17.1	5.0	0.197	ok	0.135	ok	1	1	0.332	ok
	168	3.365	0.673	17.1	5.0	0.197	ok	0.135	ok	1	1	0.332	ok
	169	3.361	0.673	17.1	5.0	0.197	ok	0.135	ok	1	1	0.332	ok
	170	1.915	0.545	17.1	5.0	0.112	ok	0.109	ok	1	1	0.222	ok
	171	1.913	0.545	17.1	5.0	0.112	ok	0.109	ok	1	1	0.222	ok
172	1.42	0.55	17.1	5.0	0.083	ok	0.109	ok	1	1	0.193	ok	
173	1.42	0.55	17.1	5.0	0.083	ok	0.109	ok	1	1	0.193	ok	

Conclusão:

Os perfis escolhidos para as madres dos alçados têm resistência necessária para suportarem os esforços máximos de cálculo.

b) Estados Limites de Utilização

A verificação de segurança em relação aos estados limites de deformação teve em consideração as flechas máximas determinados nos modelos de cálculo estudados, tendo os resultados sido comparados com os valores das flechas admissíveis.

Os resultados das verificações estão indicados na Tabela 4.62.

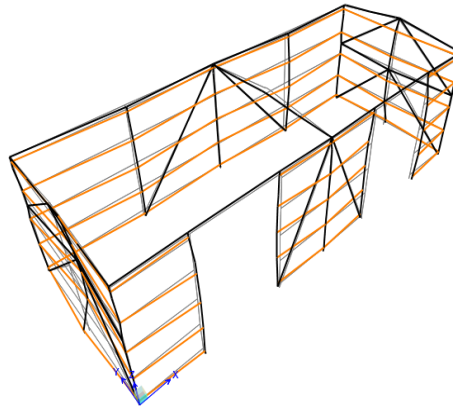


Figura 4.31 – Deformação das Madres dos Alçados

Tabela 4.63 – Deslocamentos Máximos das Madres dos Alçados

Elementos		δ_{\max} EC3	δ_{\max} admissível [cm]	$\delta_{v,\max}$ obtido "SAP2000" [cm]	Obs.
Madres dos Alçados	Alinhamento A	L/200	1.5	0.15	ok
	Alinhamento B	L/200	2.5	1.95	ok
	Alinhamento I	L/200	2.0	0.15	ok
	Alinhamento III	L/200	2.0	0.15	ok

4.4 Ligações Metálicas

As ligações desta estrutura são soldadas e aparafusadas.

Juntam-se alguns elementos que foram utilizados no dimensionamento das ligações.

4.4.2 Ligações Soldadas

As ligações soldadas foram dimensionadas a partir das expressões de dimensionamento já indicados na Memória Descritiva.

Na Figura 4.32 representa-se um conjunto de ábacos que permitem de um modo simples, proceder ao dimensionamento dos cordões das soldaduras de ângulo.

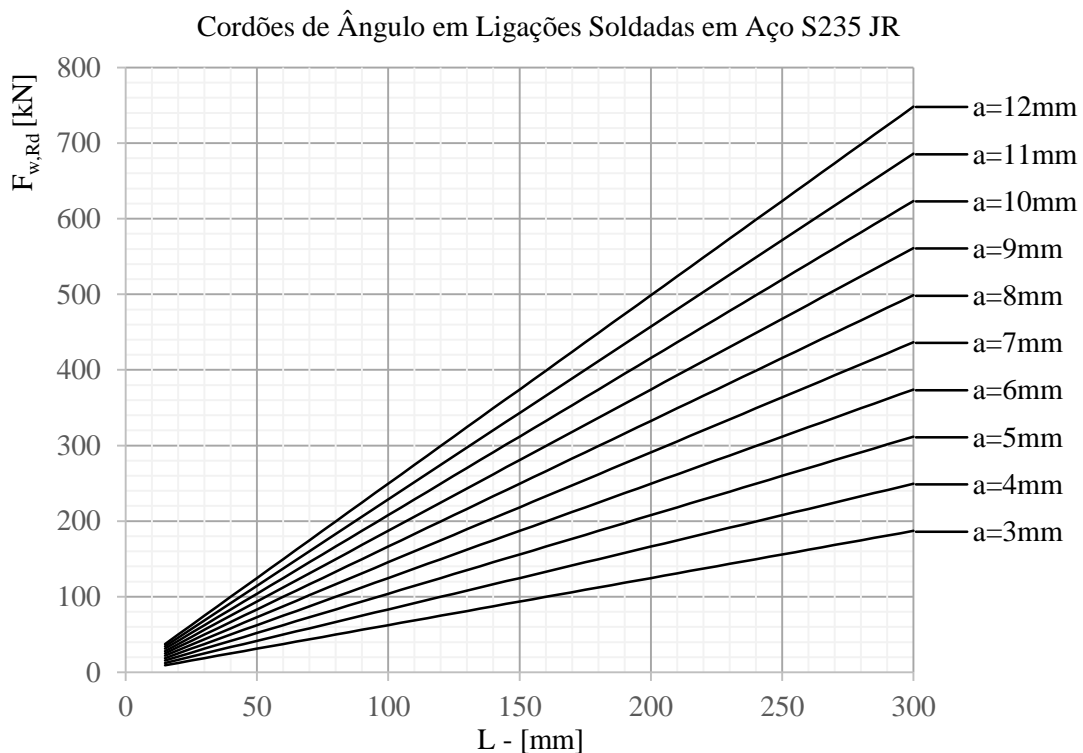


Figura 4.32 – Dimensionamento de Cordões de Soldadura em Aço S235 JR

em que:

- L – Comprimento do cordão;
- a – Espessura do cordão;
- $F_{w,Rd}$ – Esforço resistente máxima do cordão.

4.4.3 Ligações Aparafusadas

As ligações aparafusadas do presente Projeto foram calculadas a partir do *software* "Robot Strucural Analysis Professional" e referem-se a 4 nós tipo:

- Ligação Pilar – Travessa;
- Ligação entre Travessas;
- Ligação ao plinto de fundação de um pilar rotulado;
- Ligação ao plinto de fundação de um pilar encastrado.

O dimensionamento teve em conta as envolventes máximas dos esforços de cálculo nessas ligações.

No Anexo I junta-se um relatório mais detalhado de dimensionamento de uma destas ligações.

4.4.3.1 Ligação de Pilar - Travessa

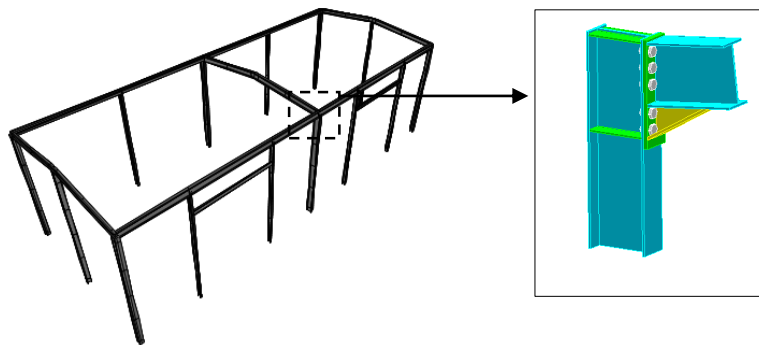


Figura 4.33 – Pormenor de ligação Pilar - Travessa

Esforços

$M_{b1,Ed} =$	-69.5	[kN.m]	Momento fletor na viga direita
$V_{b1,Ed} =$	76.2	[kN]	Força de cisalhamento na viga direita
$N_{b1,Ed} =$	-58.6	[kN]	Força axial na viga direita
$M_{c1,Ed} =$	-74.14	[kN.m]	Momento fletor no pilar inferior
$V_{c1,Ed} =$	38.4	[kN]	Força de cisalhamento no pilar inferior
$N_{c1,Ed} =$	-116.2	[kN]	Força axial no pilar inferior

Resultados do Dimensionamento**- Resistências da viga - Cisalhamento**

$V_{cb,Rd} = 452.32 \text{ kN}$ Resistência do projeto da seção ao cisalhamento

$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$ $0.17 < 1.00$ verificado

- Resistências da coluna**Painel da alma - cisalhamento**

$V_{wp,Rd} = 276.5 \text{ kN}$ Resistência do painel da alma do pilar em cisalhamento

$V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} \leq 1,0$ $0.73 < 1.00$ verificado

Resistência da conexão à compressão

$N_{j,Rd} = 852.29 \text{ kN}$ Resistência da conexão à compressão

$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$ $0.07 < 1.00$ verificado

Resistência da Conexão À Flexão $M_{j,Rd}$

$M_{j,Rd} = 106.86 \text{ [kN.m]}$ Resistência da conexão à flexão

$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0$ $0.65 < 1.00$ verificado

Verificação da interação M+N

$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} + N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1$

$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} + N_{b1,Ed} / N_{j,Rd}$ $0.72 < 1.00$ verificado

Resistência da conexão ao cisalhamento

$V_{j,Rd} = 744.91 \text{ kN}$ Resistência da conexão ao cisalhamento

$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0$ $0.10 < 1.00$ verificado

A conexão está em conformidade com a norma.

Relação 0.73

4.4.3.2 Ligação Travessa – Travessa

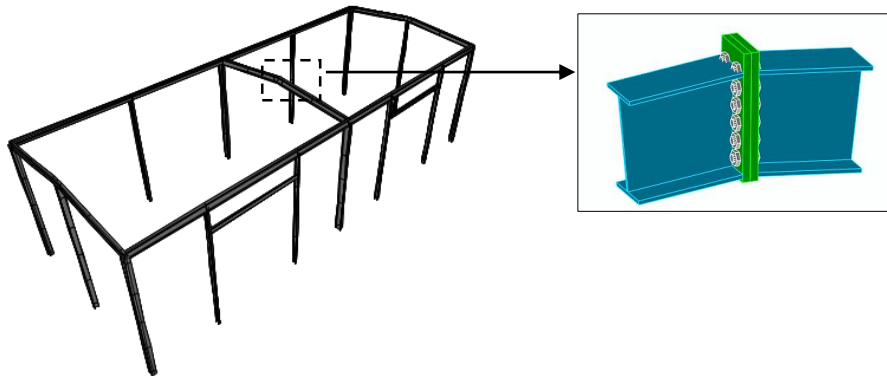


Figura 4.34 – Pormenor de ligação Travessa - Travessa

Esforços

$M_{b1,Ed} =$	76.22	[kN*m]	Momento fletor na viga direita
$V_{b1,Ed} =$	0.33	[kN]	Força de cisalhamento na viga direita
$N_{b1,Ed} =$	50.5	[kN]	Força axial na viga direita

Resultados do Dimensionamento

Resistências da viga - cisalhamento

$V_{cb,Rd} = 300.37$ [kN] Resistência do projeto da seção ao cisalhamento

$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$ $0.00 < 1.00$ **verificado**

Resistência da conexão à tração

$N_{j,Rd} = 1079.71$ [kN] Resistência da conexão à tração

$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$ $0.05 < 1.00$ **verificado**

Resistência da Conexão à Flexão

$M_{j,Rd} = 90.15$ [kN.m] Resistência da conexão à flexão

$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0$ $0.85 < 1.00$ **verificado**

Resistência da conexão ao cisalhamento

$V_{j,Rd} = 895.69$ [kN] Resistência da conexão ao cisalhamento

$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0$ $0.00 < 1.00$ **verificado**

A conexão está em conformidade com a norma. Relação 0.85

4.4.3.3 Ligação base do Pilar Rotulado

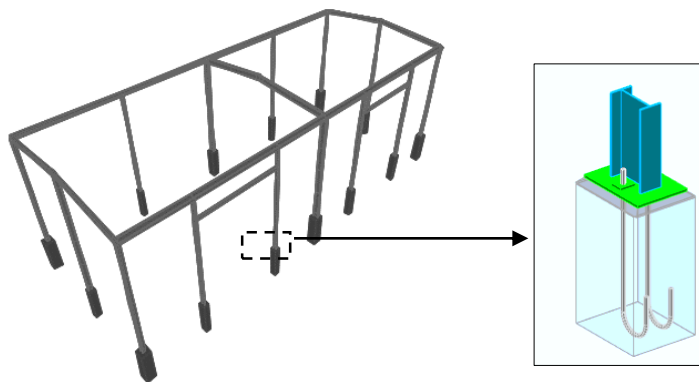


Figura 4.35 – Pormenor de ligação da base do pilar rotulado

Esforços

$N_{j,Ed} =$	4.31	[kN]	Força axial
$V_{j,Ed,y} =$	3.5	[kN]	Força de cisalhamento
$V_{j,Ed,z} =$	0.3	[kN]	Força de cisalhamento

Resultados do Dimensionamento

Controle de resistência da conexão		
$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$ (6.24)	$0.34 < 1.00$	verificado
Controle de Cisalhamento		
$V_{j,Rd,y} = 13.62$ [kN]	Resistência da conexão ao cisalhamento	
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0$	$0.26 < 1.00$	verificado
$V_{j,Rd,z} = 13.62$ [kN]	Resistência da conexão ao cisalhamento	
$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$	$0.02 < 1.00$	verificado
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$	$0.28 < 1.00$	verificado
A conexão está em conformidade com a norma.	Relação	0.34

4.4.3.4 Ligação base do Pilar Encastrado

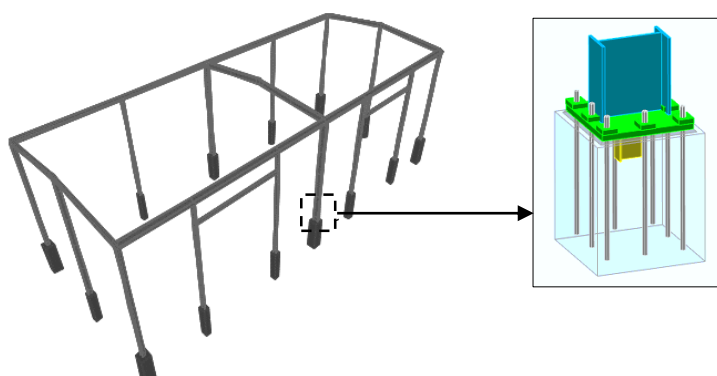


Figura 4.36 – Pormenor de ligação da base do pilar Encastrado

Cargas

$N_{j,Ed} =$	-14.2	[kN]	Força axial
$V_{j,Ed,y} =$	-0.4	[kN]	Força de cisalhamento
$V_{j,Ed,z} =$	-18	[kN]	Força de cisalhamento
$M_{j,Ed,y} =$	-16	[kN*m]	Momento fletor
$M_{j,Ed,z} =$	0.62	[kN*m]	Momento fletor

Resultados

Controle de resistência da conexão		
$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$ (6.24)	$0.00 < 1.00$	verificado
$M_{j,Rd,y} = 17.34$ [kN*m]	Resistência da conexão à flexão	
$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} \leq 1,0$ (6.23)	$0.92 < 1.00$	verificado
$M_{j,Rd,z} = 11.54$ [kN*m]	Resistência da conexão à flexão	
$M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0$ (6.23)	$0.05 < 1.00$	verificado
$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} + M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0$	$0.98 < 1.00$	verificado
Controle do Cisalhamento		
$V_{j,Rd,y} = 5637.12$ [kN]	Resistência da conexão ao cisalhamento	
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0$	$0.00 < 1.00$	verificado
$V_{j,Rd,z} = 3227.37$ [kN]	Resistência da conexão ao cisalhamento	
$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$	$0.01 < 1.00$	verificado
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$	$0.01 < 1.00$	verificado
A conexão está em conformidade com a norma.	Relação	0.98

5 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO

Neste capítulo apresenta-se o dimensionamento das Estruturas de Betão Armado.

O dimensionamento foi realizado a partir de Tabelas de cálculo, segundo os critérios de dimensionamento estipulados no EC2-1, com recurso também a outros *softwares*, tais como o "Gala Reinforcement".

Na Figura 5.1 representa-se a planta de fundação do Pavilhão com a indicação de todos os elementos de betão armado.

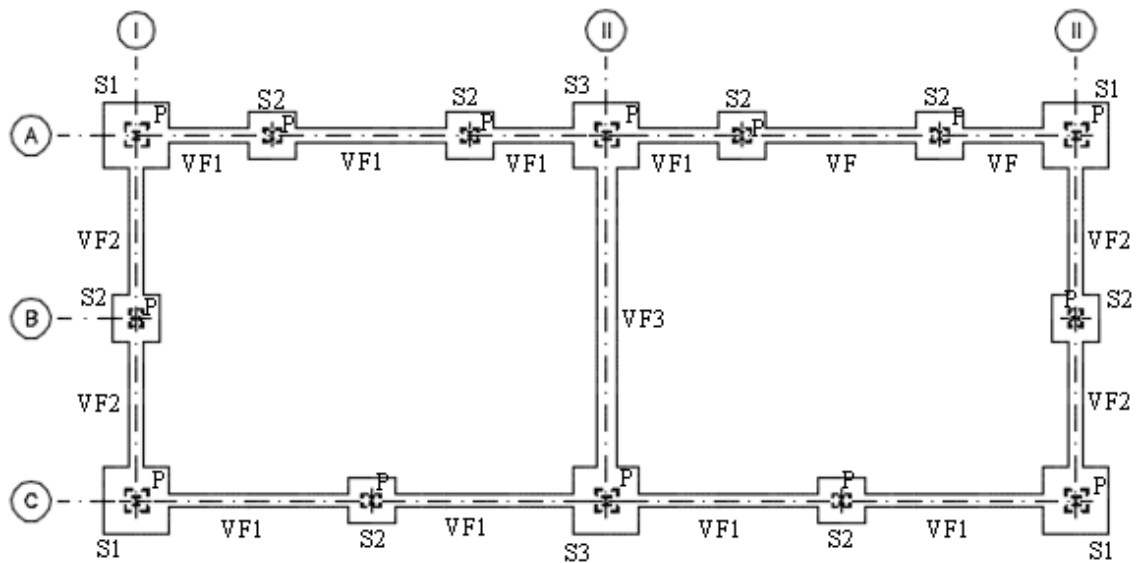


Figura 5.1 – Planta de Fundações

Nomenclatura

P – Plintos

VF – Vigas de Fundação

S - Sapatas

5.2 Dimensionamento dos Plintos

De modo a efetuar-se mais facilmente o dimensionamento dos plintos, consideraram-se quatro grupos A, B, C e D em função dos esforços as que estão sujeitos.

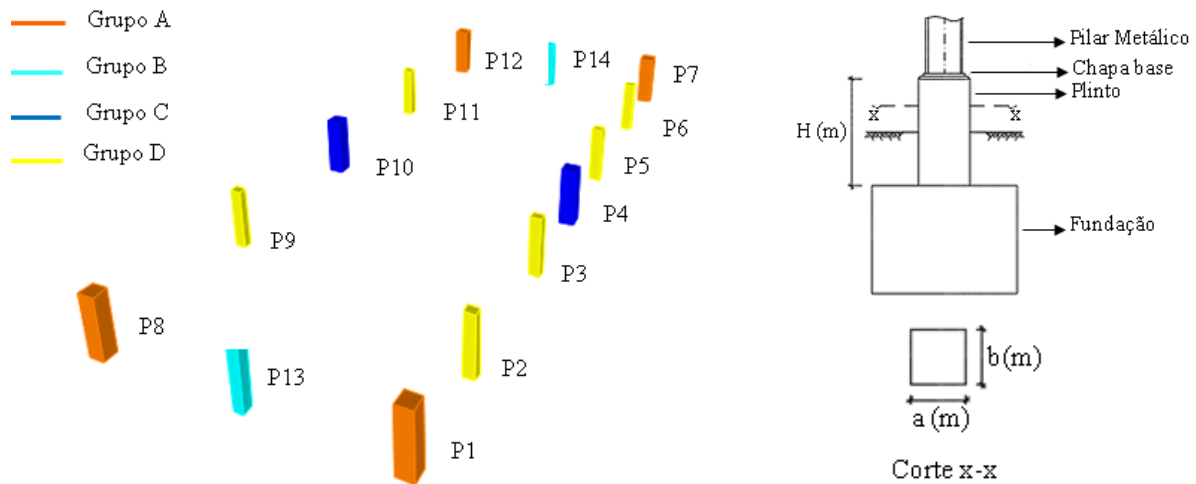


Figura 5.2 – Identificação dos Plintos

Tabela 5.1 – Geometria dos Plintos

Plintos	Grupos	Secção Transversal		Altura
		a [m]	b [m]	H [m]
P1	A	0.42	0.42	1.70
P2	D	0.25	0.30	1.70
P3	D	0.25	0.30	1.70
P4	C	0.42	0.50	1.70
P5	D	0.25	0.30	1.70
P6	D	0.25	0.30	1.70
P7	A	0.42	0.42	1.70
P8	A	0.42	0.42	1.70
P9	D	0.25	0.30	1.70
P10	C	0.42	0.42	1.70
P11	D	0.25	0.30	1.70
P12	A	0.42	0.42	1.70
P13	B	0.30	0.25	1.70
P14	B	0.30	0.25	1.70

5.2.2 Estados Limites Últimos

Os plintos foram calculados a partir dos esforços combinados $N_{x,Ed} + M_{y,Ed} + M_{z,Ed}$, correspondentes às combinações de ações dos estados limite últimos mais condicionantes. O programa utilizado no dimensionamento foi o "*Gala Reinforcement*".

Consideraram-se várias seções resistentes tipo, definidas a partir da geometria de diferentes seções geométricas e orgânicas, tendo em conta as dimensões das chapas bases dos pilares metálicos do Pavilhão a que estão ligados.

Foram considerados para os materiais dos plintos o betão da classe C25/30 e para as armaduras ordinárias o aço A 400 NR.

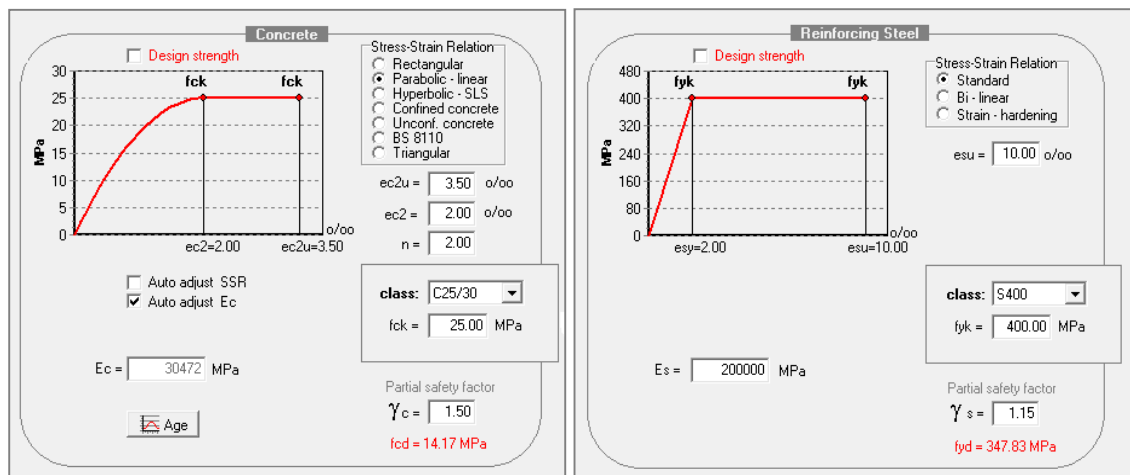


Figura 5.3 – Características dos Materiais

Os restantes elementos respeitantes aos cálculos realizados estão individualizados para cada um dos diferentes grupos de plintos.

5.2.2.1 Estado Limite Último de Resistência à Flexão Desviada com Esforço Axial

Plintos do Grupo A

▪ Dimensionamento das Armaduras Longitudinais

Na Tabela 5.2 estão indicadas as armaduras que foram consideradas (*) para os plintos do Grupo A.

Tabela 5.2 – Armaduras longitudinais dos Plintos do Grupo A

Secção (0.42m x 0.42m)	ϕ_{\min} [mm]	$A_{s,\min}$ [cm ²]	$A_{s,\text{cal}}$ [cm ²]	$A_{s,\text{máx}}$ [cm ²]	Armaduras (*)
	8	2.7	13.56	70.56	12 ϕ 12

Nota: As armaduras longitudinais cumprem as condições estipuladas no EC2-1 na parte respeitante às armaduras máximas e mínimas regulamentares ($A_{s,\min} \leq A_{s,\text{cal}} \leq A_{s,\text{máx}}$).

▪ Verificações dos Espaçamentos dos Varões

$$S_{\min} = \max \{k_1\phi; dg + k_2; 20\text{mm}\} = \max \{1 \times 8; 25 + 5; 20\text{mm}\} = 30\text{mm}$$

$$S_{\text{adop}} = [b - (2 \times \text{rec} + 2 \times \phi_{\text{est}} + 4 \times x)] / 3 = 420 - (2 \times 30 + 2 \times 8 + 4 \times 12) = 99\text{mm}$$

Conclusão: $S_{\text{adop}} > S_{\min}$

▪ Ábacos de Flexão Desviada com Esforço Axial

Na Figura 5.4 indica-se os ábacos de flexão desviada com esforço axial que serviram para o dimensionamento dos plintos.

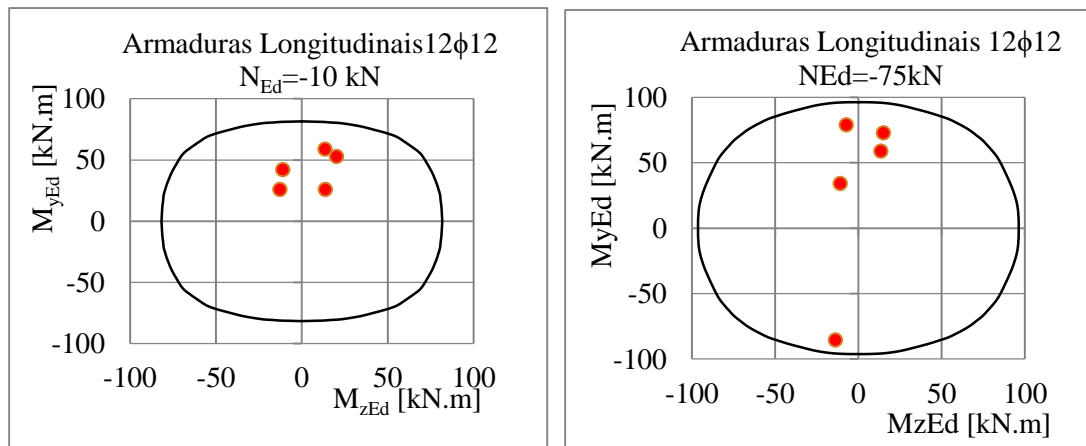


Figura 5.4 – Ábacos de Flexão Desviada com Esforço Axial dos Plintos do Grupo A

Conclusão:

Conclui-se que as armaduras calculadas verificam a segurança ao estado limite último de flexão desviada com esforço axial.

Plintos do Grupo B

▪ Dimensionamento das Armaduras Longitudinais

Na Tabela 5.3 estão indicadas as armaduras calculadas (*) para os plintos.

Tabela 5.3 – Armaduras Longitudinais dos Plintos do Grupo B

Secção (0.30m x 0.25m)	ϕ_{\min} [mm]	$A_{s,\min}$ [cm ²]	$A_{s,\text{cal}}$ [cm ²]	$A_{s,\max}$ [cm ²]	Armaduras (*)
	8	1.1	6.32	30	8 ϕ 10

Nota: As armaduras longitudinais $A_{s,\max}$ e $A_{s,\min}$ cumprem as condições estipuladas no EC2.

▪ Verificações dos Espaçamentos entre Varões

Segundo o EC2 têm-se:

$$S_{\min} = \max \{k_1\phi; d_g + k_2; 20\text{mm}\} = \max \{1 \times 8; 25 + 5; 20\text{mm}\} = 30\text{mm}$$

$$S_{\text{adop,direção } x} = [b - (2 \times \text{rec} + 2 \times \phi_{\text{est}} + 4 \times \phi)] / 3 = 300 - (2 \times 30 + 2 \times 8 + 4 \times 12) = 59\text{mm}$$

$$S_{\text{adop,direção } y} = [h - (2 \times \text{rec} + 2 \times \phi_{\text{est}} + 4 \times \phi)] / 3 = 250 - (2 \times 30 + 2 \times 8 + 4 \times 12) = 42\text{mm}$$

Conclusão: $S_{\text{adop}} > S_{\min}$

▪ Ábacos de Flexão Desviada com Esforço Axial

Na Figura 5.5 representa-se os ábacos de flexão desviada com o esforço axial utilizados no cálculo dos plintos.

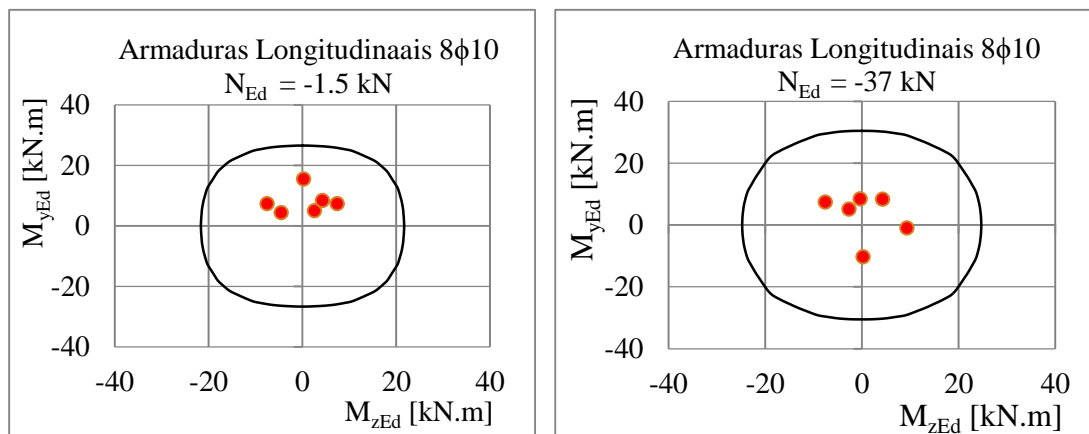


Figura 5.5 – Ábacos de Flexão Desviada com Esforço Axial dos Plintos do Grupo B

Conclusão:

Conclui-se que as armaduras calculadas através do "Gala", para as combinações mais desfavoráveis, verificam a segurança ao estado limite último de flexão desviada com esforço axial.

Plintos do Grupo C

▪ Dimensionamento das Armaduras Longitudinais

Na Tabela 5.4 indica-se as armaduras longitudinais (*) consideradas para os plintos.

Tabela 5.4 – Armaduras longitudinais dos Plintos do Grupo C

Secção (0.42m x 0.42m)	ϕ_{\min} [mm]	$A_{s,\min}$ [cm ²]	$A_{s,\text{cal}}$ [cm ²]	$A_{s,\max}$ [cm ²]	Armaduras (*)
	8	2.7	13.56	70.56	12 ϕ 12

Nota: As armaduras longitudinais são superiores às mínimas e inferiores as máximas regulamentares.

▪ Verificações dos Espaçamentos dos Varões

$$S_{\min} = \max \{k_1\phi; dg + k_2; 20\text{mm}\} = \max \{1 \times 8; 25 + 5; 20\text{mm}\} = 30\text{mm}$$

$$S_{\text{adop,direção x}} = [b - (2 \times \text{rec} + 2 \times \phi_{\text{est}} + 4 \times \phi)] / 3 = 250 - (2 \times 30 + 2 \times 8 + 4 \times 12) = 42\text{mm}$$

$$S_{\text{adop,direção y}} = [h - (2 \times \text{rec} + 2 \times \phi_{\text{est}} + 4 \times \phi)] / 3 = 300 - (2 \times 30 + 2 \times 8 + 4 \times 12) = 59\text{mm}$$

Conclusão: $S_{\text{adop}} > S_{\min}$

▪ Ábacos de Flexão Desviada com Esforço Axial

Na Figura 5.6 apresenta-se os ábacos que serviram para o dimensionamento.

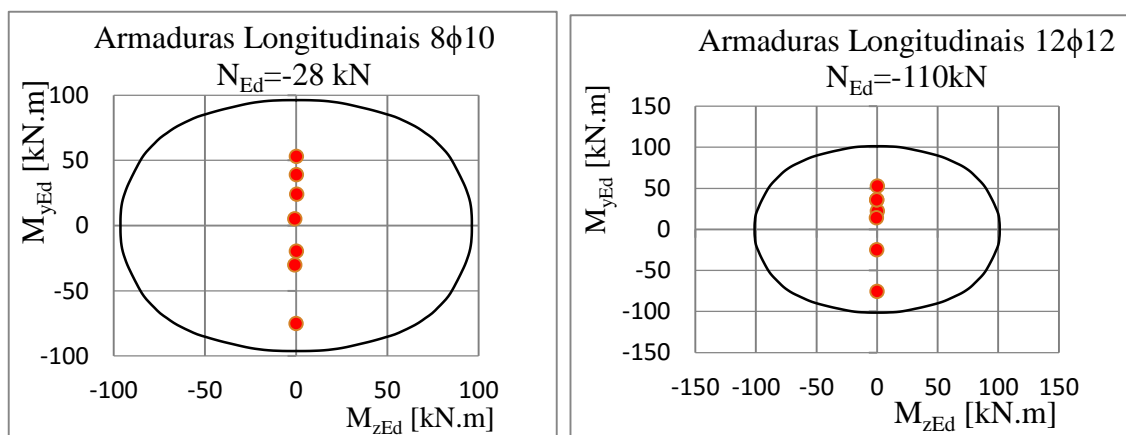


Figura 5.6 – Ábacos de Flexão Desviada com Esforço Axial dos Plintos do Grupo C

Conclusão:

Conclui-se que as armaduras longitudinais verificam a segurança ao estado limite último de flexão desviada com esforço axial.

Plintos do Grupo D

▪ Dimensionamento das Armaduras Longitudinais

Na Tabela 5.5 indica-se as armaduras longitudinais que foram atribuídas (*) para os plintos.

Tabela 5.5 – Armaduras Longitudinais dos Plintos do Grupo D

Secção (0.25m x 0.30m)	ϕ_{\min}	$A_{s,\min}$ [cm ²]	$A_{s,\text{cal}}$ [cm ²]	$A_{s,\text{máx}}$ [cm ²]	Armaduras (*)
	8	1.1	6.32	30	8 ϕ 10

Nota: As armaduras longitudinais são superiores as mínimas e inferiores as máximas regulamentares.

▪ Verificações dos Espaçamentos dos Varões

$$S_{\min} = \max \{k_1\phi; dg + k_2; 20\text{mm}\} = \max \{1 \times 8; 25 + 5; 20\text{mm}\} = 30\text{mm}$$

$$S_{\text{adop}} = [b - (2 \times \text{rec} + 2 \times \phi_{\text{est}} + 4 \times \phi)] / 3 = 420 - (2 \times 30 + 2 \times 8 + 4 \times 12) = 99\text{mm}$$

Conclusão: $S_{\text{adop}} > S_{\min}$

▪ Ábaco de Flexão Desviada com Esforço Axial

Na Figura apresenta-se os ábacos de flexão desviada com esforço axial do dimensionamento dos plintos.

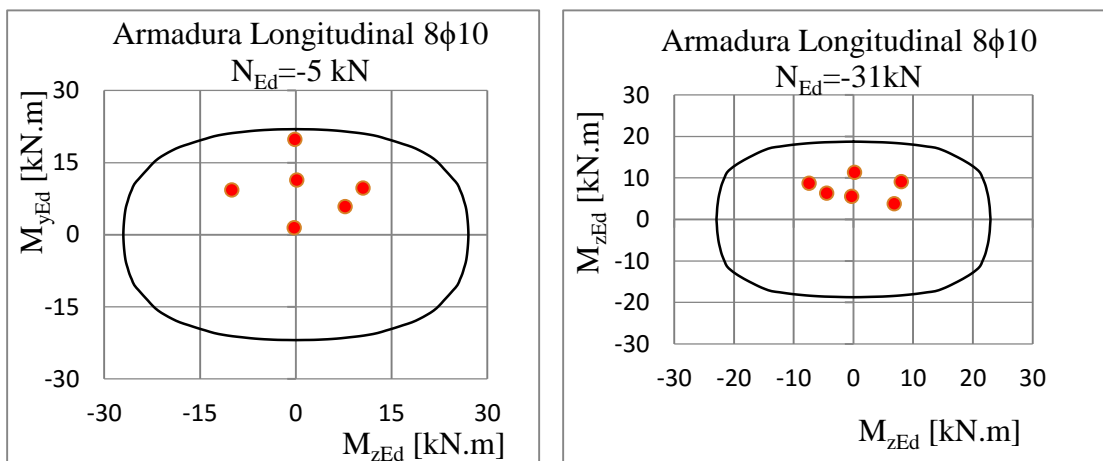


Figura 5.7 – Ábacos de Flexão Desviada com Esforço Axial dos Plintos do Grupo D

Conclusão

Conclui-se que as armaduras longitudinais cumprem a segurança ao estado limite último de flexão desviada com esforço axial.

5.2.2.2 Estado Limite Último de Resistência ao Esforço Transverso dos Plintos dos grupos A, B, C e D

O dimensionamento foi realizado com base nos esforços transversos máximos de cálculo $V_{Ed,máx}$, para as combinações de ações referentes aos estados limites últimos, a partir das expressões de dimensionamento que constam na Memória Descritiva.

Tabela 5.6 – Dimensionamento das Armaduras Transversais

Plintos	Secções	Combinação Esforço máx.	$V_{z,Ed}$ [kN]	$V_{y,ED}$ [kN]	α_{cw}	f_{ck} [MPa]	f_{cd} [MPa]	f_{yk} [MPa]	f_{yd} [MPa]	v_1	bw [m]	h [m]	d [m]	z [m]	$V_{Rd,máx}$ [kN]	V_{ED} [kN]	$V_{Ed} \leq V_{Rd,máx}$
Grupo A	(0.42mx0.42m)	ELU.máx.	8.0	51.4	1.0	25	16.67	400	347.8	0.54	0.42	0.42	0.39	0.35	663.4	51.4	(*)
Grupo B	(0.30mx0.25m)	ELU.máx.	9.4	9.4	1.0	25	16.67	400	347.8	0.54	0.30	0.25	0.22	0.20	267.3	9.4	(*)
Grupo C	(0.42mx0.42m)	ELU.máx.	0.6	24.6	1.0	25	16.67	400	347.8	0.54	0.42	0.42	0.39	0.35	663.4	24.6	(*)
Grupo D	(0.25mx0.30m)	ELU.máx.	-16.1	-11.9	1.0	25	16.67	400	347.8	0.54	0.25	0.30	0.27	0.24	273.4	16.1	(*)

Tabela 5.7 – Dimensionamento das Armaduras Transversais (cont.)

$\rho_{w,min}$	$(A_{sw/s})_{min}$ [cm ² /m]	$(A_{sw/s})$ [cm ² /m]	Verificação da Condição $(A_{sw/s}) \geq (A_{sw/s})_{min}$	$(A_{sw/s})_{cal}$ [cm ² /m]	$(A_{sw/s})_{max}$ [cm ² /m]	nº ramos	$(A_{sw/s})_{cál}/2$ ramos [cm ² /m]	$(A_{sw/s})_{adop}$ [cm ² /m]	Estribos	Verificação dos Espaçamentos	
										$S_{l,máx}$ [mm]	S_{adop} [mm]
0.001	4.2	4.2	Verifica	4.21	54	2	2.1	2	ø8//0.10	160	ok
0.001	3.0	1.4	Não verifica	3.00	39	2	1.5	2	ø8//0.10	160	ok
0.001	4.2	2.0	Não verifica	4.20	54	2	2.1	2	ø8//0.10	160	ok
0.001	2.5	1.9	Não verifica	2.50	32	2	1.3	2	ø8//0.10	160	ok

(*) – É necessário proceder ao cálculo das armaduras de esforço transverso.

Conclusão:

As armaduras de Esforço Transverso e os espaçamentos considerados entre cintas cumprem os requisitos estipulados no EC2.

5.2.3 Estados Limites de Utilização

5.2.3.1 Estados Limites de Fendilhação

A verificação da segurança em relação ao controlo de fendilhação foi feita pelo método indireto, descrito na Memória Descritiva, a partir dos procedimentos a seguir indicados.

- **Armaduras Mínimas de Fendilhação**

Tabela 5.8 – Determinação das Armaduras Mínimas de Fendilhação dos Plintos

Plintos	k	k_c	$f_{ct,eff}$ [Mpa]	A_{ct} [cm ²]	σ_s [MPa]	$A_{s,min}$ [cm ² /m]
Grupo A (0.42mx0.42m)	1	0.4	2.6	882	200	4.6
Grupo B (0.30mx0.25m)	1	0.4	2.6	375	200	2.0
Grupo C (0.42mx0.42m)	1	0.4	2.6	882	200	4.6
Grupo D (0.25mx0.30m)	1	0.4	2.6	375	200	2.0

- **Valores máximos admissíveis das Aberturas das Fendas**

A abertura de fendas foi efetuada admitindo um limite máximo de aberturas de 0.3mm, para a combinação frequente, em virtude do Pavilhão se encontrar num ambiente pouco agressivo.

- **Verificação dos diâmetros e espaçamentos máximos dos varões para Controlo da Fendilhação**

Os diâmetros e os espaçamentos máximos para o controlo da fendilhação constam na cláusula 7.3.3 (2) e nos Quadros 7.2N e 7.3N do EC2 e estão resumidos na Tabela 5.9, tendo sido aplicados no controlo da fendilhação das estruturas de betão armado do Pavilhão, para uma tensão no aço das armaduras de 200 MPa.

Tabela 5.9 – Controlo da Fendilhação pelo Método Indireto - $w_k = 0.3mm$

Plintos	Tensão no aço [Mpa]	Verificação dos diâmetros			Verificação dos espaçamentos		
		ϕ [mm]	$\phi_{máx}$ [mm]	$\Phi \leq \phi_{máx}$	S_{adop} [mm]	$S_{máx}$ [mm]	$S_{adop} \leq S_{máx}$
Grupo A	200	12	25	ok	100	250	ok
Grupo B	200	10	25	ok	60	250	ok
Grupo C	200	12	25	ok	100	250	ok
Grupo D	200	10	25	ok	45	250	ok

Conclusão

As condições anteriores são verificadas, não sendo pois necessário proceder à verificação do cálculo de abertura das fendas.

As armaduras adotadas cumprem todos os requisitos necessários para a verificação da segurança ao estado limite de fendilhação.

5.3 Dimensionamento das Vigas de Fundações

Tal como nos plintos a verificação da segurança das vigas de fundação aos estados limites últimos e de utilização foi realizada de acordo com os EC2-1 e EC7, através de uma Tabela de Cálculo realizada em "Excel", tendo-se também utilizado o *software* "Gala Reinforcement".

Na Figura 5.8 representa-se a planta das vigas de fundação.

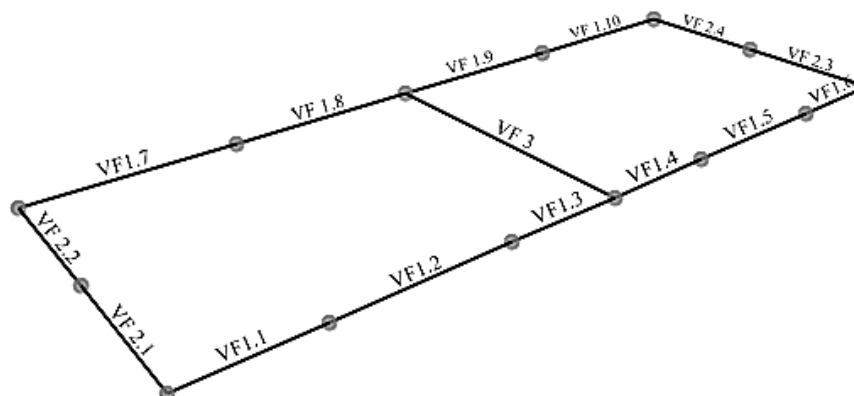


Figura 5.8 – Identificação das Vigas de Fundação

Tabela 5.10 – Dimensões das Seções Transversais das Vigas de Fundação

Vigas	b [m]	h [m]
VF1.1	0.30	0.60
VF1.2	0.30	0.60
VF1.3	0.30	0.60
VF1.4	0.30	0.60
VF1.5	0.30	0.60
VF1.6	0.30	0.60
VF1.7	0.30	0.60
VF1.8	0.30	0.60
VF1.9	0.30	0.60
VF1.10	0.30	0.60
VF2.1	0.30	0.60
VF2.2	0.30	0.60
VF2.3	0.30	0.60
VF2.4	0.30	0.60
VF3	0.30	0.80

5.3.2 Estados Limites Últimos

O dimensionamento das vigas de fundação foi realizado aos estados limites últimos através da verificação da resistência à flexão simples e ao esforço transverso.

Para o efeito foram considerados os esforços de cálculo de flexão e de esforço transverso correspondentes à combinação envolvente dos estados limites últimos (ELU_ENV).

5.3.2.1 Envolventes Máximas dos Esforços de Cálculo

Nas Figuras 5.9 e 5.10 representam-se os diagramas das envolventes dos esforços de cálculo máximos dos momentos fletores e dos esforços transversos nas vigas de fundação.

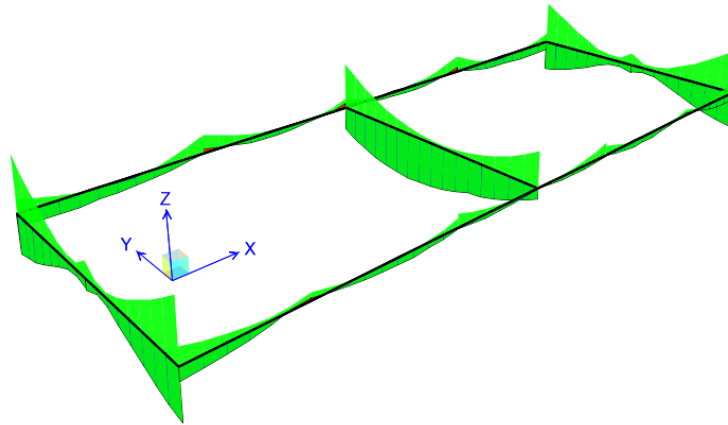


Figura 5.9 – Envolvente dos diagramas M_{yy}

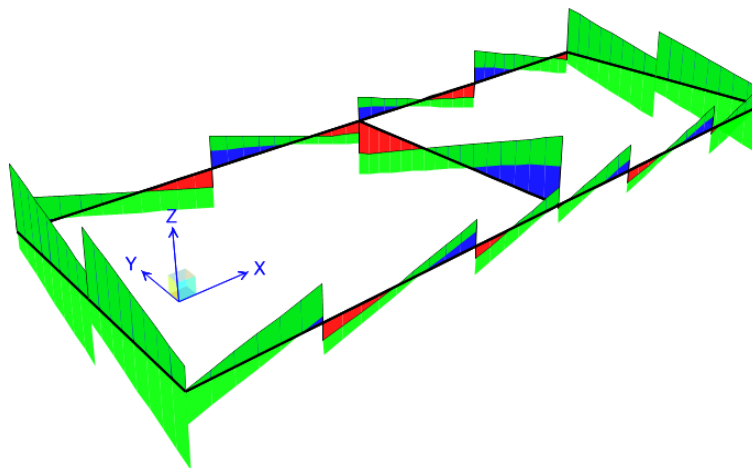


Figura 5.10 – Envolvente dos diagramas V_{zz}

5.3.2.2 Estado Limite Último de Resistência à Flexão

Dimensionamento das Armaduras Longitudinais de Flexão

Tabela 5.11 – Armaduras de Flexão

Alinhamentos	Vigas	Seções	Combinação Momento Máx.	M _{Ed máx.} [kN.m]	f _{cd} [MPa]	f _{syd} [MPa]	b _t [m]	h [m]	d [m]	Segundo o EC2-1				Segundo o "Gala Reinforcement "		Armaduras de Flexão					Verificação dos Espaçamentos das Armaduras de Flexão					
										μ	μ ≤ 0.39	ω	A _{s,cal} [cm ²]	A _{s,cal} [cm ²]	A _{s,cal} (*) [cm ²]	A _{s,min} [cm ²]	A _{s,máx} [cm ²]	Armaduras adotadas		k ₁	k ₂	d _g	s _{min}	s _{cal}	s _{cal} > s _{min}	
																		A _{s,adop.} [cm ²]	Varões							
Alinhamento A	VF1.1	Apoio esq.	ELU.máx	-21.4	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.014	ok	0.014	1.11	1.10	1.11	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Meio vão		9.8	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.006	ok	0.006	0.50	0.50	0.50	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Apoio dirt.		-10.4	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.007	ok	0.007	0.54	0.53	0.54	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
	VF1.2	Apoio esq.	ELU.máx	-10.7	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.007	ok	0.007	0.55	0.55	0.55	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Meio vão		9.3	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.006	ok	0.006	0.48	0.47	0.48	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Apoio dirt.		-13.6	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.009	ok	0.009	0.70	0.70	0.70	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
	VF1.3	Apoio esq.	ELU.máx	-19.9	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.013	ok	0.013	1.03	1.02	1.03	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Meio vão		5.5	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.004	ok	0.004	0.28	0.28	0.28	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Apoio dirt.		-3.1	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.002	ok	0.002	0.16	0.16	0.16	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
	VF1.4	Apoio esq.	ELU.máx	-3.0	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.002	ok	0.002	0.15	0.15	0.15	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Meio vão		5.8	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.004	ok	0.004	0.30	0.29	0.30	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Apoio dirt.		-19.4	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.012	ok	0.012	1.00	1.00	1.00	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
	VF1.5	Apoio esq.	ELU.máx	-14.1	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.009	ok	0.009	0.73	0.72	0.73	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Meio vão		9.1	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.006	ok	0.006	0.47	0.46	0.47	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Apoio dirt.		-10.4	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.007	ok	0.007	0.53	0.53	0.53	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
	VF1.6	Apoio esq.	ELU.máx	-10.1	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.006	ok	0.006	0.52	0.52	0.52	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Meio vão		9.3	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.006	ok	0.006	0.48	0.47	0.48	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Apoio dirt.		-19.8	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.013	ok	0.013	1.02	1.02	1.02	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
Alinhamento C	VF1.7	Apoio esq.	ELU.máx	-29.9	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.019	ok	0.019	1.55	1.55	1.55	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Meio vão		16.6	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.011	ok	0.011	0.86	0.85	0.86	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Apoio		-21.5	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.014	ok	0.014	1.11	1.11	1.11	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
	VF1.8	Apoio esq.	ELU.máx	-14.2	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.009	ok	0.009	0.73	0.73	0.73	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Meio vão		9.0	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.006	ok	0.006	0.46	0.46	0.46	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Apoio dirt.		-29.8	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.019	ok	0.019	1.55	1.54	1.55	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
	VF1.9	Apoio esq.	ELU.máx	-29.4	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.019	ok	0.019	1.52	1.54	1.52	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Meio vão		9.4	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.006	ok	0.006	0.48	0.48	0.48	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Apoio dirt.		-14.3	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.009	ok	0.009	0.74	0.73	0.74	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
	VF1.10	Apoio esq.	ELU.máx	-20.2	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.013	ok	0.013	1.05	1.04	1.05	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
Meio vão		16.1		16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.010	ok	0.010	0.83	0.83	0.83	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok		
Apoio dirt.		-29.8		16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.019	ok	0.019	1.55	1.55	1.55	2.84	72	3.39	3φ12	1	2	25	27	58.7	ok		

(*) - A_{s,cal} – Áreas calculadas a partir de todas as verificações do dimensionamento ao E.L. Último de Flexão incluindo as verificações das áreas mínimas e máximas das armaduras regulamentadas definidas no EC2.

Tabela 5.12 – Armaduras de Flexão (cont.)

Alinhamentos	Vigas	Seções	Combinação Momento máx.	M _{máx} [kN.m]	f _{cd} [MPa]	f _{syd} [MPa]	b _t [m]	h [m]	d [m]	Segundo o EC2-1				Segundo "Gala Reinforcement"		Armaduras de Flexão						Verificação dos Espaçamentos das Armaduras de Flexão					
										μ		ω	A _{s,cal} [cm ²]	A _{s,cal} [cm ²]	A _{s,cal} (*) [cm ²]	A _{s,min} [cm ²]	A _{s,máx} [cm ²]	A _{s,cal,adop} (*) [cm ²]	Armaduras	Varões	k ₁	k ₂	d _g	S _{min}	S _{cal}	S _{cal} > S _{min}	
										μ ≤ 0.39							A _{s,adop} (*) [cm ²]										
Alinhamentos I e III	VF2.1	Apoio esq.	ELU.máx	-78.8	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.050	ok	0.052	4.15	4.14	4.15	2.84	72	4.15	4.52	4φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Meio vão		32.2	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.021	ok	0.021	1.67	1.67	1.67	2.84	72	2.84	4.52	4φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Apoio dirt.		-23.5	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.015	ok	0.015	1.22	1.21	1.22	2.84	72	2.84	4.52	4φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
	VF2.2	Apoio esq.	ELU.máx	-23.0	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.015	ok	0.015	1.19	1.19	1.19	2.84	72	2.84	4.52	4φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Meio vão		29.7	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.019	ok	0.019	1.54	1.54	1.54	2.84	72	2.84	4.52	4φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Apoio dirt.		-85.4	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.054	ok	0.056	4.51	4.49	4.51	2.84	72	4.51	4.52	4φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
	VF2.3	Apoio esq.	ELU.máx	-78.9	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.050	ok	0.052	4.16	4.14	4.16	2.84	72	4.16	4.52	4φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Meio vão		32.2	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.021	ok	0.021	1.67	1.67	1.67	2.84	72	2.84	4.52	4φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Apoio dirt.		-23.5	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.015	ok	0.015	1.22	1.21	1.22	2.84	72	2.84	4.52	4φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
	VF2.4	Apoio esq.	ELU.máx	-23.0	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.015	ok	0.015	1.19	1.19	1.19	2.84	72	2.84	4.52	4φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Meio vão		29.7	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.019	ok	0.019	1.54	1.54	1.54	2.84	72	2.84	4.52	4φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Apoio dirt.		-85.5	16.7	348	0.3	0.6	0.56	0.055	ok	0.056	4.52	4.49	4.52	2.84	72	4.52	4.52	4φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
Alinhamento II	VF3	Apoio esq.	ELU.máx	-54.8	16.7	348	0.3	0.8	0.76	0.019	ok	0.019	2.09	2.86	2.09	2.96	96	2.96	4.52	4φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Meio vão		72.3	16.7	348	0.3	0.8	0.76	0.025	ok	0.025	2.77	3.79	2.77	2.96	96	2.96	4.52	4φ12	1	2	25	27	58.7	ok	
		Apoio dirt.		-78.2	16.7	348	0.3	0.8	0.76	0.027	ok	0.027	3.00	4.11	3.00	2.96	96	3.00	4.52	4φ12	1	2	25	27	58.7	ok	

(*) - A_{s,cal} – Áreas calculadas a partir de todas as verificações do dimensionamento ao E.L.Último de Flexão incluindo as verificações das áreas mínimas e máximas das armaduras regulamentadas definidas no EC2.

Tabela 5.13 – Armaduras Mínimas e Máximas em Vigas

Alinhamentos	Vigas	f _{ctm} [Mpa]	f _{yk} [Mpa]	b _t [m]	h [m]	A _c [m ²]	Rec. [m]	d [m]	A _{s,min} [cm ² /m]	Verificação		A _{s,máx} [cm ² /m]
										A _{s,min} ≥ 0.0013 x b _t x d	ok	
A	VF1.1	2.6	400	0.3	0.6	0.18	0.04	0.56	2.84	2.18	ok	72
	VF1.2	2.6	400	0.3	0.6	0.18	0.04	0.56	2.84	2.18	ok	72
	VF1.3	2.6	400	0.3	0.6	0.18	0.04	0.56	2.84	2.18	ok	72
	VF1.4	2.6	400	0.3	0.6	0.18	0.04	0.56	2.84	2.18	ok	72
	VF1.5	2.6	400	0.3	0.6	0.18	0.04	0.56	2.84	2.18	ok	72
	VF1.6	2.6	400	0.3	0.6	0.18	0.04	0.56	2.84	2.18	ok	72
C	VF1.7	2.6	400	0.3	0.6	0.18	0.04	0.56	2.84	2.18	ok	72
	VF1.8	2.6	400	0.3	0.6	0.18	0.04	0.56	2.84	2.18	ok	72
	VF1.9	2.6	400	0.3	0.6	0.18	0.04	0.56	2.84	2.18	ok	72
	VF1.10	2.6	400	0.3	0.6	0.18	0.04	0.56	2.84	2.18	ok	72
I e III	VF2.1	2.6	400	0.3	0.6	0.18	0.04	0.56	2.84	2.18	ok	72
	VF2.2	2.6	400	0.3	0.6	0.18	0.04	0.56	2.84	2.18	ok	72
	VF2.3	2.6	400	0.3	0.6	0.18	0.04	0.56	2.84	2.18	ok	72
	VF2.4	2.6	400	0.3	0.6	0.18	0.04	0.56	2.84	2.18	ok	72
II	VF3	2.6	400	0.3	0.8	0.24	0.04	0.76	3.85	2.96	ok	96

5.3.2.3 Estado Limite de Resistência ao Esforço Transverso

Dimensionamento das Armaduras Transversais de Esforço Transverso

Tabela 5.14 – Armaduras de Esforço Transverso

Alinhamentos	Vigas	Seções	Comb. Esforço Máx.	V _{máx} [kN]	α_{cw}	f _{ck} [MPa]	f _{cd} [MPa]	f _{yk} [MPa]	f _{yd} [MPa]	v _l	bw [m]	h [m]	d [m]	z [m]	V _{Rd,máx} [kN]	V _{Ed} [kN]	$\frac{V_{Ed} \leq V_{Rd,máx}}{V_{Rd,máx}}$	$\rho_{w,min}$	(A _{sw/s}) _{m in} [cm ² /m]	(A _{sw/s}) _{m ax} [cm ² /m]	(A _{sw/s}) _{cal} [cm ² /m]	nº Ramos	(A _{sw/s}) _{cálc} / 2 Ramos [cm ² /m]	(A _{sw/s}) _{adop} [cm ² /m]	S _{l,máx} [mm]	Estribos adoptados
Alinhamento A	VF1.1	Apoio esq.	ELU.máx	-14.7	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	14.7	(*)	0.001	3	39	0.83	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Meio vão		9.3	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	9.3	(*)	0.001	3	39	0.52	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Apoio dirt.		18.1	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	18.1	(*)	0.001	3	39	1.01	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
	VF1.2	Apoio esq.	ELU.máx	-15.7	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	15.7	(*)	0.001	3	39	0.88	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Meio vão		-2.9	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	2.9	(*)	0.001	3	39	0.16	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Apoio dirt.		14.1	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	14.1	(*)	0.001	3	39	0.79	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
	VF1.3	Apoio esq.	ELU.máx	-15.5	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	15.5	(*)	0.001	3	39	0.87	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Meio vão		-6.7	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	6.7	(*)	0.001	3	39	0.37	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Apoio dirt.		10.4	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	10.4	(*)	0.001	3	39	0.58	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
	VF1.4	Apoio esq.	ELU.máx	-10.5	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	10.5	(*)	0.001	3	39	0.59	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Meio vão		6.6	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	6.6	(*)	0.001	3	39	0.37	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Apoio dirt.		15.4	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	15.4	(*)	0.001	3	39	0.86	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
VF1.5	Apoio esq.	ELU.máx	-14.3	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	14.3	(*)	0.001	3	39	0.8	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25	
	Meio vão		2.7	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	2.7	(*)	0.001	3	39	0.15	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25	
	Apoio dirt.		15.5	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	15.5	(*)	0.001	3	39	0.87	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25	
VF1.6	Apoio esq.	ELU.máx	-17.5	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	17.5	(*)	0.001	3	39	0.98	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25	
	Meio vão		-8.7	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	8.7	(*)	0.001	3	39	0.48	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25	
	Apoio dirt.		14.1	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	14.1	(*)	0.001	3	39	0.79	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25	
Alinhamento C	VF1.7	Apoio esq.	ELU.máx	18.1	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	18.1	(*)	0.001	3	39	1.02	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Meio vão		-9.3	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	9.3	(*)	0.001	3	39	0.52	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Apoio dirt.		-24.5	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	24.5	(*)	0.001	3	39	1.37	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
	VF1.8	Apoio esq.	ELU.máx	19.7	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	19.7	(*)	0.001	3	39	1.1	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Meio vão		4.5	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	4.5	(*)	0.001	3	39	0.25	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Apoio dirt.		-16.2	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	16.2	(*)	0.001	3	39	0.91	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
	VF1.9	Apoio esq.	ELU.máx	16.1	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	16.1	(*)	0.001	3	39	0.9	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Meio vão		-4.5	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	4.5	(*)	0.001	3	39	0.25	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Apoio dirt.		-19.6	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	19.6	(*)	0.001	3	39	1.1	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
VF1.10	Apoio esq.	ELU.máx	24.2	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	24.2	(*)	0.001	3	39	1.36	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25	
	Meio vão		9	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	9	(*)	0.001	3	39	0.51	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25	
	Apoio dirt.		-17.9	1	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	17.9	(*)	0.001	3	39	1	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25	

(*) – É necessário proceder ao cálculo das armaduras transversais.

Tabela 5.15 – Armaduras de Esforço Transverso (cont.)

Alinhamentos	Vigas	Secções	Comb. Esforço Máx.	V _{máx} [kN]	α_{cw}	f _{ck} [MPa]	f _{cd} [MPa]	f _{yk} [MPa]	f _{yd} [MPa]	ν_l	b _w [m]	h [m]	d [m]	z [m]	V _{Rd,máx} [kN]	V _{Ed} [kN]	V _{Ed} ≤ V _{Rd,máx}	$\rho_{w,min}$	(A _{sw/s}) _{min} [cm ² /m]	(A _{sw/s}) _{max} [cm ² /m]	(A _{sw/s}) _{cal} [cm ² /m]	(A _{sw/s}) _{max} [cm ² /m]	n ^o Ramos	(A _{sw/s}) _{cál} /2ramos [cm ² /m]	(A _{sw/s}) _{adop} [cm ² /m]	S _{l,máx} [mm]	Estribos adoptados
Alinhamentos I e III	VF2.1	Apoio esq.	ELU.máx	-34.7	1.0	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	34.7	(*)	0.001	3.00	39	1.95	39	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Meio vão		-22.9	1.0	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	22.9	(*)	0.001	3.00	39	1.28	39	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Apoio dirt.		34.5	1.0	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	34.5	(*)	0.001	3.00	39	1.94	39	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
	VF2.2	Apoio esq.	ELU.máx	-32.8	1.0	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	32.8	(*)	0.001	3.00	39	1.84	39	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Meio vão		24.7	1.0	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	24.7	(*)	0.001	3.00	39	1.38	39	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Apoio dirt.		34.5	1.0	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	34.5	(*)	0.001	3.00	39	1.93	39	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
	VF2.3	Apoio esq.	ELU.máx	-34.8	1.0	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	34.8	(*)	0.001	3.00	39	1.95	39	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Meio vão		-22.9	1.0	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	22.9	(*)	0.001	3.00	39	1.29	39	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Apoio dirt.		34.6	1.0	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	34.6	(*)	0.001	3.00	39	1.94	39	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
	VF2.4	Apoio esq.	ELU.máx	-32.9	1.0	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	32.9	(*)	0.001	3.00	39	1.84	39	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Meio vão		24.7	1.0	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	24.7	(*)	0.001	3.00	39	1.38	39	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
		Apoio dirt.		36.5	1.0	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.6	0.57	0.5	692.6	36.5	(*)	0.001	3.00	39	2.05	39	2	1.5	2	0.428	φ8//0.25
Alinhamento II	VF3	Apoio esq.	ELU.máx	38.8	1.0	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.8	0.77	0.7	935.6	38.8	(*)	0.001	3.00	39	1.61	39	2	1.5	2	0.578	φ8//0.25
		Meio vão		7.3	1.0	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.8	0.77	0.7	935.6	7.3	(*)	0.001	3.00	39	0.30	39	2	1.5	2	0.578	φ8//0.25
		Apoio dirt.		-38.4	1.0	25	16.7	400	347.8	0.54	0.3	0.8	0.77	0.7	935.6	38.4	(*)	0.001	3.00	39	1.59	39	2	1.5	2	0.578	φ8//0.25

(*) – É necessário proceder ao cálculo das armaduras transversais

5.3.3 Estados Limites de Utilização

5.3.3.1 Estado Limite de Deformação

A verificação do estado limite de deformação nas vigas foi realizada limitando a relação vão/altura, de acordo com os critérios definidos no EC2.

Tabela 5.16 – Verificação da Deformação (segundo a cláusula 7.4.2 do EC2)

Alinhamentos	Vigas	L [m]	b [m]	h [m]	d [m]	As [cm ²]	Ac [cm ²]	f _{ck} [Mpa]	K
A	VF1.1	2.9	0.30	0.60	0.57	4.52	1800	25	1
	VF1.2	4.2	0.30	0.60	0.57	4.52	1800	25	1
	VF1.3	2.9	0.30	0.60	0.57	4.52	1800	25	1
	VF1.4	2.9	0.30	0.60	0.57	4.52	1800	25	1
	VF1.5	4.2	0.30	0.60	0.57	4.52	1800	25	1
	VF1.6	2.9	0.30	0.60	0.57	4.52	1800	25	1
C	VF1.7	5.0	0.30	0.60	0.57	4.52	1800	25	1
	VF1.8	5.0	0.30	0.60	0.57	4.52	1800	25	1
	VF1.9	5.0	0.30	0.60	0.57	4.52	1800	25	1
	VF1.10	5.0	0.30	0.60	0.57	4.52	1800	25	1
I e III	VF2.1	3.9	0.30	0.60	0.57	4.52	1800	25	1
	VF2.2	3.9	0.30	0.60	0.57	4.52	1800	25	1
	VF2.3	3.9	0.30	0.60	0.57	4.52	1800	25	1
	VF2.4	3.9	0.30	0.60	0.57	4.52	1800	25	1
II	VF3	7.8	0.30	0.80	0.77	4.52	2400	25	1

Tabela 5.17 – Verificação da Deformação (segundo a cláusula 7.4.2 do EC2) (cont.)

Vigas	$\rho = A_{sl} / A_c$	ρ_0	Verificação $\rho \leq \rho_0$	Exp(1)	σ_s [MPa]	fator corretivo(*)	Exp(2)
VF1.1	0.0025	0.005	ok	25	200	1.6	38.7
VF1.2	0.0025	0.005	ok	25	200	1.6	38.7
VF1.3	0.0025	0.005	ok	25	200	1.6	38.7
VF1.4	0.0025	0.005	ok	25	200	1.6	38.7
VF1.5	0.0025	0.005	ok	25	200	1.6	38.7
VF1.6	0.0025	0.005	ok	25	200	1.6	38.7
VF1.7	0.0025	0.005	ok	25	200	1.6	38.7
VF1.8	0.0025	0.005	ok	25	200	1.6	38.7
VF1.9	0.0025	0.005	ok	25	200	1.6	38.7
VF1.10	0.0025	0.005	ok	25	200	1.6	38.7
VF2.1	0.0025	0.005	ok	25	200	1.6	38.7
VF2.2	0.0025	0.005	ok	25	200	1.6	38.7
VF2.3	0.0025	0.005	ok	25	200	1.6	38.7
VF2.4	0.0025	0.005	ok	25	200	1.6	38.7
VF3	0.0019	0.005	ok	29	200	1.6	44.9

Tabela 5.18 – Verificação da Deformação (segundo a clausula 7.4.2 do EC2) (cont.)

Vigas	d	L/Exp(2)	d > L/Exp(2)
VF1.1	0.57	0.07	ok
VF1.2	0.57	0.11	ok
VF1.3	0.57	0.07	ok
VF1.4	0.57	0.07	ok
VF1.5	0.57	0.11	ok
VF1.6	0.57	0.07	ok
VF1.7	0.57	0.13	ok
VF1.8	0.57	0.13	ok
VF1.9	0.57	0.13	ok
VF1.10	0.57	0.13	ok
VF2.1	0.57	0.10	ok
VF2.2	0.57	0.10	ok
VF2.3	0.57	0.10	ok
VF2.4	0.57	0.10	ok
VF3	0.77	0.17	ok

Em que:

- L – Vão da viga;
- b – Largura da viga;
- h – Altura da viga;
- d – Altura útil da viga;
- As – Área das armaduras longitudinais;
- Ac – Área das secções transversais da viga;
- K – Coeficiente que tem em conta os diferentes sistemas estruturais;
- ρ_0 – Taxa de armaduras de referência = $10^{-3} (f_{ck})^{(1/2)}$;
- ρ – Taxa de armaduras de tração necessária a meio vão para equilibrar o momento devido às ações de cálculo;
- σ_s – Tensão de tração no aço a meio vão para as ações de cálculo no estado limite de utilização.

$$\text{Exp}(1) = k \left[11 + 1.5 \times \sqrt{f_{ck}} \times \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \times \sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{(3/2)} \right]$$

$$\text{Fator corretivo} = 310 / \sigma_s$$

$$\text{Exp}(2) = \text{Exp}(1) \times \text{Fator corretivo}$$

(*) – Fator corretivo atendendo que o aço das vigas de fundação é o A400NR.

5.3.3.2 Estado Limite de Fendilhação

Os procedimentos utilizados nas vigas de fundação para o controlo da fendilhação foram os mesmos dos plintos.

▪ Armaduras Mínimas

Tabela 5.19 – Determinação das Armaduras Mínimas de Fendilhação

Vigas	k	k_c	$f_{ct,eff}$ [Mpa]	A_{ct} [cm ²]	σ_s [Mpa]	$A_{s,min}$ [cm ² /m]
VF (0.30m x 0.60m)	1	0.4	2.6	900	200	4.68
VF (0.30m x 0.80m)	1	0.4	2.6	1200	200	6.24

▪ Valores máximos admissíveis das Abertura de Fendas

O valor máximo das aberturas de fendas foi realizado considerando um limite máximo de 0.3mm para combinação frequente, em virtude de se tratar de um ambiente pouco agressivo.

▪ Verificação dos diâmetros e espaçamentos máximos dos varões para Controlo da Fendilhação

Os diâmetros e os espaçamentos máximos para o controlo da fendilhação estão indicados nos Quadros 7.2N e 7.3 N do EC2, tendo-se considerado para a tensão do aço das armaduras 200 MPa e para abertura máxima de fendas $W_{k,máx} = 0.3$ mm.

Na Tabela 5.20 resumem-se as condições utilizadas na verificação da fendilhação pelo Método Indireto.

Tabela 5.20 – Controlo da Fendilhação pelo Método Indireto – $w_k = 0.3$ mm

Vigas	Tensão no aço [Mpa]	Verificação dos Diâmetros			Verificação dos Espaçamentos		
		Φ [mm]	$\Phi_{máx}$ [mm]	$\Phi \leq \Phi_{máx}$	S_{adop} [mm]	$S_{máx}$ [mm]	$\Phi \leq \Phi_{máx}$
VF (0.30m x 0.60m)	200	12	25	ok	58.7	250	ok
VF (0.30m x 0.80m)	200	12	25	ok	58.7	250	ok

5.4 Dimensionamento das Sapatas de Fundação

Como se referiu na Memória Descritiva do Pavilhão foram utilizadas fundações diretas realizadas a partir de sapatas rígidas ligadas por vigas de fundação.

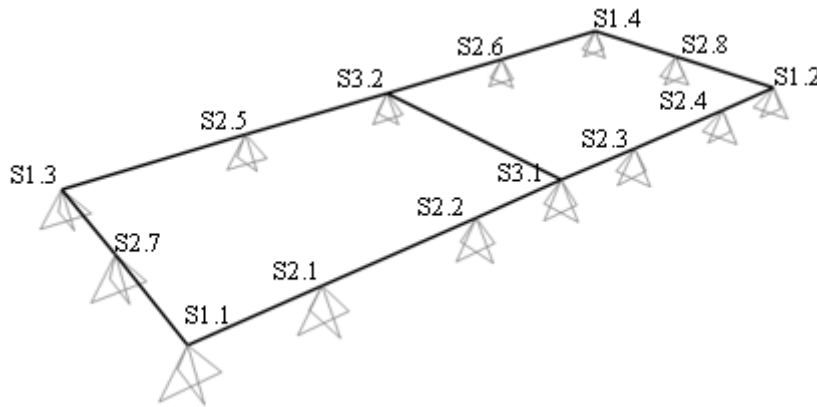


Figura 5.11 – Sapatas de Fundação

Na Tabela 5.21 indicam-se a geometria de todas as sapatas do Pavilhão.

Tabela 5.21 – Dimensões das Sapatas de Fundação

Sapatas	Dimensão das Sapatas		
	A [m]	B [m]	H [m]
S1.1	1.2	1.2	1.0
S2.1	1.0	1.0	1.0
S2.2	1.0	1.0	1.0
S3.1	1.2	1.2	1.0
S2.3	1.0	1.0	1.0
S2.4	1.0	1.0	1.0
S1.2	1.2	1.2	1.0
S1.3	1.2	1.2	1.0
S2.5	1.0	1.0	1.0
S3.2	1.2	1.2	1.0
S2.6	1.0	1.0	1.0
S1.4	1.2	1.2	1.0
S2.7	1.0	1.0	1.0
S2.8	1.0	1.0	1.0

5.4.2 Estados Limites Últimos

A verificação da segurança das tensões admissíveis no terreno de fundação bem como o cálculo das armaduras das sapatas foram feitos a partir de uma folha de cálculo em "Excel".

Para o cálculo das sapatas consideraram-se os seguintes esforços:

- Esforços dos plintos provenientes de todas as ações da superestrutura;

- Peso da terra sobre as sapatas;
- Peso próprio das sapatas;
- Tensões admissíveis no terreno de fundação de 0.15 MPa e de 0.225 MPa para as combinações raras e sísmicas respetivamente.

5.4.2.1 Estado Limite Último de Resistência à Rotura por Corte

A verificação deste estado limite foi realizado de um modo simples a partir da verificação da segurança do solo de fundação.

Considerou-se para as combinações raras e sísmicas tensões no solo σ_{solo} , valores sempre inferiores à tensão admissível σ_{adm} .

Nas Tabelas 5.22, 5.23 e 5.24 indicam-se as verificações que foram realizadas para o dimensionamento das sapatas.

Tabela 5.22 – Verificação da Segurança do Solo de Fundação

Alinhamentos	Sapatas	I. Características Geométricas					
		Dimensões das Sapatas			Dimensão dos Plintos		Altura da Terra
		Direção X	Direção Y	H[m]	Direção X	Direção Y	H ₁ [m]
		A [m]	B [m]		a [m]	b[m]	
A	S1.1	1.2	1.2	1.0	0.42	0.42	0.70
	S2.1	1.0	1.0	1.0	0.25	0.30	0.70
	S2.2	1.0	1.0	1.0	0.25	0.30	0.70
	S3.1	1.2	1.2	1.0	0.42	0.42	0.70
	S2.3	1.0	1.0	1.0	0.25	0.30	0.70
	S2.4	1.0	1.0	1.0	0.25	0.30	0.70
	S1.2	1.2	1.2	1.0	0.42	0.42	0.70
B	S2.7	1.0	1.0	1.0	0.30	0.25	0.70
	S2.8	1.0	1.0	1.0	0.30	0.25	0.70
C	S1.3	1.2	1.2	1.0	0.42	0.42	0.70
	S2.5	1.0	1.0	1.0	0.25	0.30	0.70
	S3.2	1.2	1.2	1.0	0.42	0.42	0.70
	S2.6	1.0	1.0	1.0	0.25	0.30	0.70
	S1.4	1.2	1.2	1.0	0.42	0.42	0.70

Tabela 5.23 – Verificação da Segurança do Solo de Fundação (cont.)

Sapatas	II. Esforços Totais									
	Esforços na base dos Plintos [kN]				Peso da terra sobre as sapatas [kN]	Peso próprio das sapatas [kN]	Esforços totais na base das Sapatas [kN]			
	Combinações Raras		Combinações Sísmicas				Combinações Raras		Combinações Sísmicas	
S1.1	RAR_Wyy1(Temp+)	92.4	ELU_Sismo2y	62.1	15.9	36	RAR_Wyy1(Temp+)	144.3	ELU_Sismo2y	114.0
S2.1	RAR_Wx1(Temp-)	30.6	ELU_Sismo2X	27.5	11.7	25	RAR_Wx1(Temp-)	67.3	ELU_Sismo2X	64.2
S2.2	RAR_Wxx(Temp+)	42.9	ELU_Sismo2X	46.1	11.7	25	RAR_Wxx(Temp+)	79.6	ELU_Sismo2X	82.7
S3.1	RAR_SC(Temp-_Wyy1)	106.6	ELU_Sismo2y	69.8	15.9	36	RAR_SC(Temp-_Wyy1)	158.5	ELU_Sismo2y	121.8
S2.3	RAR_Wx(Temp+)	41.9	ELU_Sismo2X	46.1	11.7	25	RAR_Wx(Temp+)	78.6	ELU_Sismo2X	82.7
S2.4	RAR_Wxx1(Temp-)	29.7	ELU_Sismo2X	27.6	11.7	25	RAR_Wxx1(Temp-)	66.4	ELU_Sismo2X	64.2
S1.2	RAR_Wyy1(Temp+)	92.2	ELU_Sismo2y	62.0	15.9	36	RAR_Wyy1(Temp+)	144.1	ELU_Sismo2y	113.9
S2.7	RAR_SC(Temp-_Wx1)	50.1	ELU_Sismo2y	33.8	11.7	25	RAR_SC(Temp-_Wx1)	86.7	ELU_Sismo2y	70.5
S2.8	RAR_SC(Temp-_Wx1)	50.1	ELU_Sismo2y	33.8	11.7	25	RAR_SC(Temp-_Wx1)	86.8	ELU_Sismo2y	70.5
S1.3	RAR_Wy(Temp+)	103.6	ELU_Sismo2y	69.8	15.9	36	RAR_Wy(Temp+)	155.5	ELU_Sismo2y	121.8
S2.5	RAR_Wxx1(Temp+)	50.7	ELU_Sismo2X	50.7	11.7	25	RAR_Wxx1(Temp+)	87.4	ELU_Sismo2X	87.3
S3.2	RAR_SC(Temp-_Wy1)	127.9	ELU_Sismo2y	87.4	15.9	36	RAR_SC(Temp-_Wy1)	179.9	ELU_Sismo2y	139.3
S2.6	RAR_Wx1(Temp+)	49.8	ELU_Sismo2X	50.7	11.7	25	RAR_Wx1(Temp+)	86.5	ELU_Sismo2X	87.3
S1.4	RAR_Wy(Temp+)	103.6	ELU_Sismo2y	69.7	22.5	49	RAR_Wy(Temp+)	175.1	ELU_Sismo2y	141.2

Tabela 5.24 – Verificação da Segurança do Solo de Fundação (cont.)

Sapatas	III. Tensão no Solo de Fundação [kN/m ²]				$\sigma_{adm.máx}$	$\sigma_{adm.máx}$	Verificações	
	Combinações Raras		Combinações Sísmicas		Comb. Raras [kN/m ²]	Comb. Sísmicas [kN/m ²]	Comb. Raras	Comb. Sísmicas
							rácio = $\frac{\sigma_{solo}}{\sigma_{adm}}$	rácio = $\frac{\sigma_{solo}}{2 \times \sigma_{adm}}$
S1.1	RAR_Wyy1(Temp+)	100.2	ELU_Sismo2y	79.2	150	225	0.7	0.3
S2.1	RAR_Wx1(Temp-)	67.3	ELU_Sismo2X	64.2	150	225	0.4	0.2
S2.2	RAR_Wxx(Temp+)	79.6	ELU_Sismo2X	82.7	150	225	0.5	0.3
S3.1	RAR_SC(Temp-_Wyy1)	110.1	ELU_Sismo2y	84.6	150	225	0.7	0.3
S2.3	RAR_Wx(Temp+)	78.6	ELU_Sismo2X	82.7	150	225	0.5	0.3
S2.4	RAR_Wxx1(Temp-)	66.4	ELU_Sismo2X	64.2	150	225	0.4	0.2
S1.2	RAR_Wyy1(Temp+)	100.1	ELU_Sismo2y	79.1	150	225	0.7	0.3
S2.7	RAR_SC(Temp-_Wx1)	86.7	ELU_Sismo2y	70.5	150	225	0.6	0.2
S2.8	RAR_SC(Temp-_Wx1)	86.8	ELU_Sismo2y	70.5	150	225	0.6	0.2
S1.3	RAR_Wy(Temp+)	108	ELU_Sismo2y	84.6	150	225	0.7	0.3
S2.5	RAR_Wxx1(Temp+)	87.4	ELU_Sismo2X	87.3	150	225	0.6	0.3
S3.2	RAR_SC(Temp-_Wy1)	124.9	ELU_Sismo2y	96.8	150	225	0.8	0.3
S2.6	RAR_Wx1(Temp+)	86.5	ELU_Sismo2X	87.3	150	225	0.6	0.3
S1.4	RAR_Wy(Temp+)	89.3	ELU_Sismo2y	72	150	225	0.6	0.2

em que:

A, B e H – Dimensões da sapata;

H₁ – Altura da terra sobre a sapata;

a, b e h – Dimensões dos plintos;

Peso da terra sobre a sapata – [(A x B) - (a x b)] x H₁ x 18 kN/m³;

Peso próprio da sapata – [A x B x H] x 25 N/m³;

Conclusão:

Uma vez que as tensões no solo são inferiores às tensões admissíveis para as combinações de ações consideradas neste projeto, conclui-se que a segurança das sapatas está verificada.

5.4.2.2 Cálculo das Armaduras

O dimensionamento das armaduras das sapatas foi realizado pelo método das Bielas segundo as expressões que constam da Memória Descritiva

Nas Tabelas 5.25 a 5.26 estão indicadas as armaduras calculadas para as sapatas nas duas direções, considerando que os momentos são absorvidos pelas vigas de fundação.

Tabela 5.25 – Armaduras das Sapatas nas direções x e y

Alinhamentos	Sapatas	I. Características Geométricas						
		Dimensão das Sapatas			Dimensão dos Plintos		Altura da Terra	d [m]
		Direção x	Direção y	H [m]	Direção x	Direção y	H ₁ [m]	
		A [m]	B [m]		a [m]	b[m]		
A	S1.1	1.2	1.2	1.0	0.42	0.42	0.70	0.90
	S2.1	1.0	1.0	1.0	0.25	0.30	0.70	0.90
	S2.2	1.0	1.0	1.0	0.25	0.30	0.70	0.90
	S3.1	1.2	1.2	1.0	0.42	0.42	0.70	0.90
	S2.3	1.0	1.0	1.0	0.25	0.30	0.70	0.90
	S2.4	1.0	1.0	1.0	0.25	0.30	0.70	0.90
	S1.2	1.2	1.2	1.0	0.42	0.42	0.70	0.90
B	S2.7	1.0	1.0	1.0	0.30	0.25	0.70	0.90
	S2.8	1.0	1.0	1.0	0.30	0.25	0.70	0.90
C	S1.3	1.2	1.2	1.0	0.42	0.42	0.70	0.90
	S2.5	1.0	1.0	1.0	0.25	0.30	0.70	0.90
	S3.2	1.2	1.2	1.0	0.42	0.42	0.70	0.90
	S2.6	1.0	1.0	1.0	0.25	0.30	0.70	0.90
	S1.4	1.2	1.2	1.0	0.42	0.42	0.70	0.90

Tabela 5.26 – Armaduras das Sapatas nas direções x e y (cont.)

Alinhamentos	Sapatas	II. Esforços Totais									
		Esforços na base dos Plintos N [kN]				Peso da terra sobre as Sapatas [kN]	Peso próprio das Sapatas [kN]	Esforços na base das Sapatas [kN]			
		Combinação Fundamental		Combinação Sísmica				Combinação Fundamental		Combinação Sísmica	
A	S1.1	ELU_SC(Temp+_ Wyy1)	128.7	ELU_Sismo2y	62.1	15.9	36	ELU_SC(Temp+_ Wyy1)	180.6	ELU_Sismo2y	114.0
	S2.1	ELU_SC(Temp-_ Wx1)	40.4	ELU_Sismo2X	27.5	11.7	25	ELU_SC(Temp-_ Wx1)	77.0	ELU_Sismo2X	64.2
	S2.2	ELU_SC(Temp+_ Wxx)	59.9	ELU_Sismo2X	46.1	11.7	25	ELU_SC(Temp+_ Wxx)	96.6	ELU_Sismo2X	82.7
	S3.1	ELU_SC(Temp-_ Wyy1)	150.6	ELU_Sismo2y	72.4	15.9	36	ELU_SC(Temp-_ Wyy1)	202.5	ELU_Sismo2y	124.3
	S2.3	ELU_SC(Temp+_ Wx1)	58.7	ELU_Sismo2X	46.1	11.7	25	ELU_SC(Temp+_ Wx1)	95.4	ELU_Sismo2X	82.7
	S2.4	ELU_SC(Temp-_ Wxx1)	39.6	ELU_Sismo2X	27.6	11.7	25	ELU_SC(Temp-_ Wxx1)	76.2	ELU_Sismo2X	64.2
	S1.2	ELU_SC(Temp+_ Wyy1)	128.4	ELU_Sismo2y	62.0	15.9	36	ELU_SC(Temp+_ Wyy1)	180.3	ELU_Sismo2y	113.9
B	S2.7	ELU_SC(Temp-_ Wxx1)	71.9	ELU_Sismo2y	71.9	11.7	25	ELU_SC(Temp-_ Wxx1)	108.5	ELU_Sismo2y	108.5
	S2.8	ELU_SC(Temp-_ Wx1)	72.0	ELU_Sismo2y	72.0	11.7	25	ELU_SC(Temp-_ Wx1)	108.6	ELU_Sismo2y	108.6
C	S1.3	ELU_SC(Temp+_ Wy)	142.1	ELU_Sismo2y	69.8	15.9	36	ELU_SC(Temp+_ Wy)	194.0	ELU_Sismo2y	121.8
	S2.5	ELU_SC(Temp+_ Wxx1)	69.2	ELU_Sismo2X	50.7	11.7	25	ELU_SC(Temp+_ Wxx1)	105.9	ELU_Sismo2X	87.3
	S3.2	ELU_SC(Temp-_ Wy1)	180.4	ELU_Sismo2y	87.4	15.9	36	ELU_SC(Temp-_ Wy1)	232.3	ELU_Sismo2y	139.3
	S2.6	ELU_SC(Temp+_ Wx1)	68.4	ELU_Sismo2X	50.7	11.7	25	ELU_SC(Temp+_ Wx1)	105.1	ELU_Sismo2X	87.3
	S1.4	ELU_SC(Temp+_ Wy)	142.1	ELU_Sismo2y	69.7	15.9	36	ELU_SC(Temp+_ Wy)	194.0	ELU_Sismo2y	121.6

Tabela 5.27 – Armaduras das Sapatas nas direções x e y (cont.)

Sapatas	III.1 Dimensionamento Orgânico							
	$A_{sl,x}$ [cm ² /m]				$A_{sl,y}$ [cm ² /m]			
	Combinação Fundamental		Combinação Sísmica		Combinação Fundamental		Combinação Sísmica	
S1.1	ELU_SC(Temp+_ Wyy1)	0.47	ELU_Sismo2y	0.3	ELU_SC(Temp+_ Wyy1)	0.47	ELU_Sismo2y	0.3
S2.1	ELU_SC(Temp-_ Wx1)	0.23	ELU_Sismo2X	0.19	ELU_SC(Temp-_ Wx1)	0.22	ELU_Sismo2X	0.18
S2.2	ELU_SC(Temp+_ Wxx)	0.29	ELU_Sismo2X	0.25	ELU_SC(Temp+_ Wxx)	0.27	ELU_Sismo2X	0.23
S3.1	ELU_SC(Temp-_ Wyy1)	0.53	ELU_Sismo2y	0.32	ELU_SC(Temp-_ Wyy1)	0.53	ELU_Sismo2y	0.32
S2.3	ELU_SC(Temp+_ Wx1)	0.29	ELU_Sismo2X	0.25	ELU_SC(Temp+_ Wx1)	0.27	ELU_Sismo2X	0.23
S2.4	ELU_SC(Temp-_ Wxx1)	0.23	ELU_Sismo2X	0.19	ELU_SC(Temp-_ Wxx1)	0.21	ELU_Sismo2X	0.18
S1.2	ELU_SC(Temp+_ Wyy1)	0.47	ELU_Sismo2y	0.30	ELU_SC(Temp+_ Wyy1)	0.47	ELU_Sismo2y	0.3
S2.7	ELU_SC(Temp-_ Wxx1)	0.30	ELU_Sismo2y	0.30	ELU_SC(Temp-_ Wxx1)	0.33	ELU_Sismo2y	0.33
S2.8	ELU_SC(Temp-_ Wx1)	0.30	ELU_Sismo2y	0.30	ELU_SC(Temp-_ Wx1)	0.33	ELU_Sismo2y	0.33
S1.3	ELU_SC(Temp+_ Wy)	0.50	ELU_Sismo2y	0.32	ELU_SC(Temp+_ Wy)	0.50	ELU_Sismo2y	0.32
S2.5	ELU_SC(Temp+_ Wxx1)	0.32	ELU_Sismo2X	0.26	ELU_SC(Temp+_ Wxx1)	0.30	ELU_Sismo2X	0.24
S3.2	ELU_SC(Temp-_ Wy1)	0.60	ELU_Sismo2y	0.36	ELU_SC(Temp-_ Wy1)	0.60	ELU_Sismo2y	0.36
S2.6	ELU_SC(Temp+_ Wx1)	0.31	ELU_Sismo2X	0.26	ELU_SC(Temp+_ Wx1)	0.29	ELU_Sismo2X	0.24
S1.4	ELU_SC(Temp+_ Wy)	0.50	ELU_Sismo2y	0.32	ELU_SC(Temp+_ Wy)	0.50	ELU_Sismo2y	0.32

Tabela 5.28 – Armaduras das Sapatas nas direções x e y (cont.)

Sapatas	II.2 Dimensionamento Orgânico											
	A _{sl,x} , adotadas [cm ² /m]						A _{sl,y} , adotadas [kN]					
	Combinação Fundamental	Asl,x/s [cm ² /m]	Varões [Φ//s]	Combinação Sismica	Asl,x/s [cm ² /m]	Varões [Φ//s]	Combinação fundamental	Asl,y/s [cm ² /m]	Varões [Φ//s]	Combinação Sísmica	Asl,y/s [cm ² /m]	Varões [Φ//s]
S1.1	ELU_SC(Temp+_ Wyy1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2y	5	8//0.10	ELU_SC(Temp+_ Wyy1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2y	5.0	8//0.10
S2.1	ELU_SC(Temp-_ Wx1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2X	5	8//0.10	ELU_SC(Temp-_ Wx1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2X	5.0	8//0.10
S2.2	ELU_SC(Temp+_ Wxx)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2X	5	8//0.10	ELU_SC(Temp+_ Wxx)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2X	5.0	8//0.10
S3.1	ELU_SC(Temp-_ Wyy1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2y	5	8//0.10	ELU_SC(Temp-_ Wyy1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2y	5.0	8//0.10
S2.3	ELU_SC(Temp+_ Wx1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2X	5	8//0.10	ELU_SC(Temp+_ Wx1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2X	5.0	8//0.10
S2.4	ELU_SC(Temp-_ Wxx1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2X	5	8//0.10	ELU_SC(Temp-_ Wxx1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2X	5.0	8//0.10
S1.2	ELU_SC(Temp+_ Wyy1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2y	5	8//0.10	ELU_SC(Temp+_ Wyy1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2y	5.0	8//0.10
S2.7	ELU_SC(Temp-_ Wxx1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2y	5	8//0.10	ELU_SC(Temp-_ Wxx1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2y	5.0	8//0.10
S2.8	ELU_SC(Temp-_ Wx1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2y	5	8//0.10	ELU_SC(Temp-_ Wx1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2y	5.0	8//0.10
S1.3	ELU_SC(Temp+_ Wy)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2y	5	8//0.10	ELU_SC(Temp+_ Wy)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2y	5.0	8//0.10
S2.5	ELU_SC(Temp+_ Wxx1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2X	5	8//0.10	ELU_SC(Temp+_ Wxx1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2X	5.0	8//0.10
S3.2	ELU_SC(Temp-_ Wy1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2y	5	8//0.10	ELU_SC(Temp-_ Wy1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2y	5.0	8//0.10
S2.6	ELU_SC(Temp+_ Wx1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2X	5	8//0.10	ELU_SC(Temp+_ Wx1)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2X	5.0	8//0.10
S1.4	ELU_SC(Temp+_ Wy)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2y	5	8//0.10	ELU_SC(Temp+_ Wy)	5.0	8//0.10	ELU_Sismo2y	5.0	8//0.10

