

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Projeto Estrutural de Estruturas
Metálicas segundo o Eurocódigo
utilizando o *software Robot Structural
Analysis Professional 2020* da
Autodesk®**

João Acácio Costa Pires



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Orientador: José Luís Soares Esteves

1 de Março de 2021

**Projeto Estrutural de Estruturas Metálicas segundo o
Eurocódigo utilizando o *software Robot Structural
Analysis Professional 2020* da Autodesk®**

João Acácio Costa Pires

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: José Dias Rodrigues

Arguente: Francisco Queirós de Melo

1 de Março de 2021

Abstract

With technological advances in terms of computational power, the use of 3D simulation and visualization software has become increasingly evident and necessary in engineering. The beginning of the development of BIM ("Building Information Modelling") technology dates back to the 1970s, and brought enormous benefits to the design of structures, both by the ease of visualizing the structure before it was built, and by the undeniable help in extensive and descriptive structural analysis. Thus, in an industrial environment, the importance of using these programs is evident in the interaction between the technical team and the developer, by visualizing the project and the more clarified discussion of details of the design, but also among designers, for being able to share models and keep records of calculations and simulations already done, all in an organized and reliable way.

Robot Structural Analysis Professional 2020, like other BIM software products, uses finite element meshes to discretize bars and surfaces, and distribute forces on them, while also allowing detailed visualization of calculation methods, including indications of the equations used and their location in the respective Eurocode.

In this document, the design of an industrial building is made using Robot Structural Analysis Professional 2020, and the considerations to be taken in the various stages of modelling, important for the correct use of this software, are explained. It is intended, therefore, that this program can be increasingly used and relied on as a main calculation tool in the area of steel structural design.

Resumo

Com o avanço tecnológico ao nível do poder computacional, a utilização de *software* de simulação e visualização 3D tem-se tornado cada vez mais evidente e necessária na engenharia.

O início do desenvolvimento da tecnologia BIM ("Building Information Modeling") data da década de 1970, e veio trazer enormes benefícios ao projeto de estruturas, quer pela facilidade de visualizar a estrutura antes de ser construído, quer pela ajuda inegável na análise estrutural extensa e descritiva. Assim, num ambiente industrial, a importância do uso destes programas evidencia-se na interação entre a equipa técnica e o dono de obra, pela visualização do projeto e discussão mais clarificada de pormenores de *design*, mas também entre projetistas, ao poderem partilhar modelos e manter registos de cálculos e simulações já feitas, tudo de uma forma organizada e fiável.

O *Robot Structural Analysis Professional 2020*, à semelhança de outros *softwares* de BIM, utiliza malhas de elementos finitos para discretizar barras e superfícies, e distribuir esforços pelos mesmos, permitindo ainda a visualização pormenorizada dos métodos de cálculo, incluindo indicações das equações utilizadas e a sua localização na respetiva norma europeia ou nacional.

No presente documento é feito o dimensionamento de um pavilhão industrial usando o *Robot Structural Analysis Professional 2020*, e explicadas as considerações a tomar nas várias fases da modelação, importantes para a correta utilização deste *software*. Pretende-se, assim, que se possa cada vez mais utilizar este programa de uma forma fidedigna, apoiando-se nele como ferramenta principal de cálculo na área do projeto de estruturas metálicas.

Ao meu Orientador, o Professor José Esteves, uma palavra de enorme apreço pela disponibilidade plena, pedagogia exímia, e pela ajuda incontornável que representou desde a conceção à realização desta dissertação.

Ao Ricardo (que estou seguro que não gostaria de ser tratado por Sr. Engenheiro Duarte), pela partilha da visão prática e laboral do tema explorado nesta dissertação, e por todas as reuniões (mesmo as do Zoom), sem as quais este trabalho não seria possível.

Ao Sr. Paulo Freitas da empresa "MBM - Metalurgica Briosa Maceira" pela disponibilização dos dados técnicos e desenho da ponte rolante utilizada no dimensionamento.

À minha mãe, que apesar dos avisos "por vezes" demasiado incisivos, nunca deixou de acreditar.

Ao meu pai que nunca acreditou, que não se preocupe que nunca vou deixar de parte a minha veia artística.

Ao meu irmão que, apesar de tudo, seguiu o telhado quando eu não pude.

Ao meu avô, pela esperança e confiança sem fim, e à minha avó, pela ternura e carinho, e pelas larocas!

À Tia Bia, pelo cuidado e ensinamentos de outrora, que hoje dão frutos.

A todos os meus amigos, em particular à Maria e ao Cuca, por serem a minha companhia de todas as horas e o meu suporte físico e emocional inviolável.

Ao Ananão, ao Che e ao Quim, pela revisão do presente documento simplesmente em troca de amizade.

Ao Djesse e à Oli pelo carinho constante, próprio da natureza canina, em todos os momentos do desenvolvimento deste trabalho.

“Sucesso antes do trabalho, só no dicionário.”

Beatriz Pires (Tia Bia)

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contexto	1
1.2	Motivação	1
1.3	Estrutura do Documento	1
1.4	Especificações Técnicas	2
2	Cálculos Analíticos	5
2.1	Ações Gerais na Estrutura	6
2.1.1	Ação da Neve	6
2.1.2	Ação do Vento	10
2.1.3	Sobrecarga	20
2.2	Dimensionamento dos Painéis de Revestimento	21
2.2.1	Cobertura	21
2.2.2	Fachada Lateral	22
2.2.3	Fachada da Empena	23
2.3	Dimensionamento das Madres	23
2.3.1	Fachada Lateral	24
2.3.2	Fachada de Empena	28
2.3.3	Cobertura	32
3	Modelação da Estrutura	37
3.1	Estrutura Principal	38
3.1.1	Eixos Estruturais	38
3.1.2	Tipos de Barras	41
3.1.3	Vigas Longitudinais	50
3.1.4	Pilares da Fachada de Empena	51
3.1.5	Tirantes	51
3.1.6	Contraventamentos	52
3.1.7	Madres	53
3.2	Zona de Escritórios	54
3.3	Ponte Rolante	57
4	Cargas	61
4.1	Superfícies	61
4.2	Cargas da Neve	66
4.3	Sobrecarga	67
4.4	Peso Próprio	68
4.5	Carga Térmica	71

4.6	Sobrecarga nos Escritórios	75
4.7	Cargas do Vento	78
4.8	Ponte Rolante	80
5	Análise Estrutural	83
5.1	Combinações de Ações	83
5.2	Grupos Codificados	84
5.3	Definições dos Cálculos	86
5.4	Dimensionamento	88
5.4.1	Cobertura	89
5.4.2	Pilares	110
5.4.3	Zona dos Escritórios	122
5.5	Verificação	132
5.5.1	Cobertura	132
5.5.2	Pilares	136
5.5.3	Zona dos Escritórios	138
6	Conclusão	143
6.1	Comparação de Desempenho	144
6.2	Trabalhos Futuros	145
6.3	Observações Finais	147
A	Proposta de Arquitetura do Pavilhão	149
B	Ficha Técnica da Ponte Rolante	151
	Referências	153

Lista de Figuras

2.1	Representação do pórtico com asna do pavilhão a ser dimensionado	6
2.2	Localização e altitude do terreno onde será implementado o pavilhão (TopoMap).	7
2.3	Distribuição da carga da neve ao nível do solo na Península Ibérica (Comité Europeu de Normalização (2009c)).	8
2.4	Distribuição da carga da neve ao nível do solo em Portugal Continental (Comité Europeu de Normalização (2009c)).	9
2.5	Valor básico da velocidade de referência do vento (Comité Europeu de Normalização (2010a)).	10
2.6	Categoria de terreno e respectivos parâmetros (Comité Europeu de Normalização (2010a)).	11
2.7	Descrição da Categoria do Terreno III (Comité Europeu de Normalização (2010a)).	11
2.8	Gráfico do valor de Coeficiente de Exposição (Comité Europeu de Normalização (2010a)).	13
2.9	Procedimento recomendado para a determinação do coeficiente de pressão exterior (Comité Europeu de Normalização (2010a)).	14
2.10	Altura de referência z_e e o perfil de pressão dinâmica (Comité Europeu de Normalização (2010a)).	14
2.11	Divisões da fachada perpendicular ao vento (Comité Europeu de Normalização (2010a)).	15
2.12	Quadro com os valores recomendados de c_{pe} para paredes verticais (Comité Europeu de Normalização (2010a)).	15
2.13	Ilustração de uma cobertura de duas vertentes (Comité Europeu de Normalização (2010a)).	16
2.14	Esquema das zonas em cobertura de duas vertentes ao vento transversal (Comité Europeu de Normalização (2010a)).	17
2.15	Tabela coeficientes de pressão para cobertura de duas vertentes ($\theta = 0^\circ$) (Comité Europeu de Normalização (2010a)).	17
2.16	Esquema das zonas em cobertura de duas vertentes ao vento longitudinal (Comité Europeu de Normalização (2010a)).	18
2.17	Tabela coeficientes de pressão para cobertura de duas vertentes ($\theta = 90^\circ$) (Comité Europeu de Normalização (2010a)).	18
2.18	Coeficiente de pressão interior no caso de aberturas uniformemente distribuídas (Comité Europeu de Normalização (2010a)).	19
2.19	Categorias de Cobertura (Comité Europeu de Normalização (2009b)).	20
2.20	Tabela de painéis de cobertura da empresa PERFITEC consoante espessura e distância entre madres (PERFITEC .Lda).	22
2.21	Tabela de painéis e fachada da empresa PERFITEC consoante espessura e distância entre madres (PERFITEC .Lda).	23

2.22	Esquema da estrutura de uma madre de 50 [m] comprimento (Multiframe).	24
2.23	Esquema de cargas a serem aplicadas na madre da fachada.	24
2.24	Diagrama de momentos fletores yy obtido para as madres da fachada lateral a partir do vento transversal (Multiframe).	25
2.25	Esquema de cargas do vento longitudinal aplicadas na madre (Multiframe).	25
2.26	Diagrama de momentos fletores em yy obtido para as madres da fachada lateral a partir do vento longitudinal (Multiframe).	26
2.27	Diagrama de momentos fletores zz obtido para as madres da fachada lateral a partir do peso dos painéis (Multiframe).	26
2.28	Propriedades do perfil escolhido para as madres da fachada lateral (UTILPERFIL.Lda).	27
2.29	Esquema de cargas a serem aplicadas na madre da fachada	28
2.30	Esquema de cargas vento transversal aplicadas na madre (Multiframe).	29
2.31	Diagrama de momentos fletores obtido para as madres da fachada empena a partir do vento transversal (Multiframe).	29
2.32	Diagrama de momentos fletores obtido para as madres da fachada empena a partir do vento longitudinal (Multiframe).	29
2.33	Diagrama de momentos fletores obtido para as madres da fachada empena a partir do peso dos painéis (Multiframe).	30
2.34	Propriedades do perfil escolhido para as madres da fachada empena (UTILPERFIL.Lda).	30
2.35	Esquema de cargas a serem aplicadas na madre da cobertura de inclinação 10°.	32
2.36	Esquema da carga aplicada segundo o eixo yy e diagrama de momentos fletores em zz (Multiframe).	34
2.37	Esquema da carga aplicada segundo o eixo zz e diagrama de momentos fletores em yy (Multiframe).	34
2.38	Propriedades do perfil escolhido para as madres da cobertura (UTILPERFIL.Lda).	35
3.1	Vista frontal do pavilhão totalmente modelado.	37
3.2	Vista das traseiras do pavilhão totalmente modelado.	38
3.3	Caixa de comandos para a criação dos eixos estruturais verticais.	39
3.4	Caixa de comandos para a criação dos eixos estruturais horizontais.	39
3.5	Representação do desenho de uma barra através da ligação dos nós definidos pelos eixos estruturais.	40
3.6	Ampliação da caixa de diálogo da Figura 3.5.	40
3.7	Representação dos eixos estruturais no pórtico da estrutural principal.	41
3.8	Caixa de diálogo para seleção do tipo de barra a utilizar ou editar.	42
3.9	Caixa de diálogo para definição dos parâmetros do tipo de barra selecionado.	42
3.10	Caixa de diálogo para definição dos comprimentos de encurvadura em z.	43
3.11	Caixa de diálogo referente aos travamentos à encurvadura em zz.	44
3.12	Caixa de diálogo referente aos travamentos à encurvadura em yy.	45
3.13	Caixa de diálogo referente aos travamentos do banzo superior à encurvadura lateral.	46
3.14	Caixa de diálogo referente aos travamentos do banzo inferior à encurvadura lateral.	47
3.15	Caixa de diálogo referente ao Estado Limite de Serviço.	48
3.16	Representação final do pórtico da estrutural principal.	48
3.17	Caixa de diálogo da cópia e colagem de elementos.	49
3.18	Representação de todos os pórticos da estrutural principal e os respetivos tipos de barras.	50

3.19	Representação da estrutura principal adicionando as vigas longitudinais de ligação entre os pórticos.	50
3.20	Representação da estrutura principal adicionando os pilares das fachadas de empena.	51
3.21	Representação da estrutura principal adicionando os tirantes.	52
3.22	Representação de todos os pórticos da estrutural principal e os respectivos tipos de barras, adicionando os contraventamentos.	52
3.23	Representação de todos os pórticos da estrutural principal e os respectivos tipos de barras, incluindo as madres.	54
3.24	Representação da zona de escritórios inserida no pavilhão.	55
3.25	Representação isolada da zona dos escritórios com as travessas e pilares de apoio ao primeiro piso.	55
3.26	Representação isolada da zona dos escritórios com as travessas, pilares de apoio ao primeiro piso, e vigas laterais.	56
3.27	Representação isolada da zona dos escritórios com as travessas, pilares de apoio ao primeiro piso, e vigas laterais.	57
3.28	Representação isolada de um pilar com a configuração de "baioneta" (Reis Gomes (2014)).	58
3.29	Representação isolada de um pórtico com aplicação da solução construtiva do pilar de "baioneta".	58
3.30	Representação detalhada do perfil do carril apoiado nos respectivos pórtico.	59
3.31	Representação isolada dos pilares de "baioneta" dos pórticos que delimitam a área de ação da ponte rolante.	59
4.1	Representação da modelação das superfícies exteriores do pavilhão.	62
4.2	Representação da modelação das superfícies da zona de escritórios.	62
4.3	Representação da distribuição de esforços pelas superfícies nas fachadas de empena.	63
4.4	Representação da distribuição de esforços pelas superfícies nas fachadas laterais.	63
4.5	Representação da distribuição de esforços pelas superfícies na cobertura.	64
4.6	Representação dos eixos locais das superfícies da zona de escritórios.	64
4.7	Representação da distribuição de esforços pelas superfícies do pavimento do primeiro piso e da cobertura dos escritórios.	65
4.8	Representação da distribuição de esforços pelas superfícies das paredes exteriores dos escritórios.	65
4.9	Caixa de diálogo da definição do caso de carga da neve.	66
4.10	Representação das cargas da neve a atuar sobre a estrutura principal.	66
4.11	Caixa de diálogo da definição do caso de carga da sobrecarga sobre a estrutura principal.	67
4.12	Representação da sobrecarga a atuar sobre a estrutura principal.	67
4.13	Caixa de diálogo da definição do caso de carga do peso próprio.	68
4.14	Representação do peso próprio dos painéis de revestimento nas superfícies onde atuam.	69
4.15	Representação do peso próprio de todas as barras da estrutura, acentuada por um contorno de cor azul nas mesmas.	69
4.16	Caixa de diálogo da definição da carga do peso próprio para toda a estrutura.	70
4.17	Caixa de diálogo da definição da carga do peso próprio para toda a estrutura.	71
4.18	Quadros NA-5.1 e NA-5.2 do Anexo Nacional do EC1-5 (Comité Europeu de Normalização (2009d)).	72
4.19	Caixa de diálogo para definição da carga térmica aplicada a barras.	73

4.20	Caixa de diálogo para definição da carga térmica referente à estação do Verão aplicada segundo o eixo yy.	73
4.21	Caixa de diálogo para definição da carga térmica referente à estação do Inverno aplicada segundo o eixo zz.	74
4.22	Representação da carga térmica aplicada a toda a estrutura.	74
4.23	Caixa de diálogo para definição do caso de carga referente à sobrecarga da zona dos escritórios.	75
4.24	Tabela do catálogo da empresa "O FELIZ" referente à "Laje Mista"H60 utilizada (O FELIZ).	76
4.25	Representação da colocação da solução proposta de laje no pavimento do primeiro piso do escritório.	77
4.26	Caixa de diálogo da simulação das cargas do vento.	78
4.27	Caixa de diálogo da criação dos casos de carga para as simulações do vento nas quatro direções principais.	79
4.28	Representação da distribuição de pressão devido à carga do vento segundo o sentido positivo do eixo yy aplicada na estrutura.	79
4.29	Caixa de diálogo para definição da carga da ponte rolante.	80
4.30	Caixa de diálogo para definição do veículo na nova <i>database</i> "USER".	81
4.31	Caixa de diálogo para definição das coordenadas da rota da carga.	82
4.32	Caixa de diálogo para definição dos parâmetros do caso de carga.	82
5.1	Caixa de diálogo para definição do método para geração das combinações de ações.	83
5.2	Caixa de diálogo para definição dos casos de carga a ter em conta para as combinações de ações.	84
5.3	Caixa de diálogo para definição dos Estados Limite a ter em conta para a combinação de ações.	84
5.4	Caixa de diálogo para definição dos grupos codificados.	85
5.5	Caixa de diálogo para definição das secções possíveis para um grupo codificado.	85
5.6	Caixa de diálogo referente às várias opções de cálculo.	86
5.7	Caixa de diálogo para definição do critério de otimização.	87
5.8	Janela informativa referente aos cálculos realizados para os pilares dos pórticos, excluindo os que dão apoio aos escritórios.	87
5.9	Janela informativa referente aos cálculos realizados para o pilar número 304.	88
5.10	Janela informativa referente aos cálculos realizados para o grupo codificado das madres da cobertura.	89
5.11	Nota de cálculo referente aos cálculos realizados para a madre número 25.	90
5.12	Nota de cálculo referente aos cálculos realizados para a madre número 25, referentes também ao SLS.	91
5.13	Janela informativa referente aos resultados do cálculo das madres da cobertura, com as sugestões das secções de cada tipo.	91
5.14	Janela informativa referente aos resultados do cálculo dos contraventamentos da cobertura ao ULS.	92
5.15	Janela informativa referente aos resultados do cálculo de todos os elementos de contraventamento da cobertura.	93
5.16	Representação das diagonais dos contraventamentos da cobertura em falha.	93
5.17	Representação das diagonais dos contraventamentos da cobertura em instabilidade devido à encurvadura.	94
5.18	Janela informativa referente ao cálculo de otimização das diagonais dos contraventamentos da cobertura em falha.	94

5.19	Janela informativa referente ao cálculo de otimização das diagonais dos contra-ventamentos da cobertura em instabilidade devido à encurvadura.	95
5.20	Janela informativa referente ao cálculo do grupo codificado das vigas longitudinais.	96
5.21	Janela informativa referente ao cálculo de todos os elementos do grupo codificado das vigas longitudinais.	96
5.22	Janela informativa referente ao cálculo de otimização das vigas longitudinais centrais.	97
5.23	Janela informativa referente ao cálculo de otimização das vigas longitudinais das extremidades.	97
5.24	Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS realizados, para todas as travessas da cobertura.	98
5.25	Janela informativa referente aos vários passos do cálculos de verificação ao ULS realizados, para a travessa da cobertura número 333.	99
5.26	Janela informativa referente aos vários passos do cálculo de verificação ao ULS realizado, para todas a travessas da cobertura.	100
5.27	Representação da estrutura realçando as travessas da cobertura em falha ao ULS.	100
5.28	Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS e SLS para todas a travessas da cobertura, já com a mudança da secção dos elementos referidos para "IPE 300".	101
5.29	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do SLS para o elemento da asna correspondente ao pior caso.	102
5.30	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS para o elemento da asna correspondente ao pior caso.	103
5.31	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS para o elemento da asna correspondente ao pior caso.	103
5.32	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS para a barra número 161.	104
5.33	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS aos tirantes.	104
5.34	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS a todos os tirantes.	105
5.35	Janela informativa referente aos cálculos de otimização do ULS ao pior caso.	105
5.36	Janela informativa referente aos cálculos de otimização do SLS ao pior caso, já com a secção "TCAR 70x3,2".	106
5.37	Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para todas as travessas longitudinais, apresentado os resultados para o pior caso.	106
5.38	Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao SLS para todas as travessas longitudinais, apresentado os resultados para o pior caso.	107
5.39	Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para todas as travessas longitudinais.	107
5.40	Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para as travessas longitudinais dos topos.	108
5.41	Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para as travessas longitudinais diretamente por cima da zona dos escritórios.	108
5.42	Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para todas as restantes travessas longitudinais.	108
5.43	Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS e SLS para todas as travessas longitudinais.	109

5.44	Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para o pior caso das madres das fachadas.	110
5.45	Janela informativa referente aos cálculos de otimização, ao ULS, para o pior caso das madres das fachadas.	110
5.46	Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para o pior caso dos contraventamentos nas fachadas.	111
5.47	Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS e SLS para todos os contraventamentos nas fachadas.	111
5.48	Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para as diagonais dos contraventamentos mais esforçados das fachadas.	112
5.49	Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para as diagonais dos contraventamentos menos esforçados das fachadas.	112
5.50	Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para os montantes dos contraventamentos das fachadas, exceto a barra número 542.	113
5.51	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS para os carris da ponte rolante.	113
5.52	Caixa de diálogo para definição dos travamentos à encurvadura no eixo zz dos carris da ponte.	114
5.53	Caixa de diálogo para definição dos travamentos à encurvadura no eixo zz dos carris da ponte.	114
5.54	Janela informativa referente aos cálculos de otimização com verificação do ULS dos carris da ponte, utilizando como perfil de base o "HEA 320".	115
5.55	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS dos elementos da treliça dos pilares "em baioneta"(Reis Gomes (2014)).	115
5.56	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do SLS dos elementos da treliça dos pilares "em baioneta"(Reis Gomes (2014)).	116
5.57	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do SLS dos elementos da treliça dos pilares "em baioneta", ignorando os deslocamentos nodais globais (Reis Gomes (2014)).	116
5.58	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS dos pilares interiores dos pilares "em baioneta".	117
5.59	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do SLS dos pilares interiores dos pilares "em baioneta".	117
5.60	Janela informativa referente aos cálculos de todos os pilares interiores dos pilares "em baioneta".	117
5.61	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS dos pilares dos pórticos.	118
5.62	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do SLS dos pilares dos pórticos.	118
5.63	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS de todos os pilares dos pórticos.	119
5.64	Janela informativa referente aos cálculos de otimização dos pilares do último pórtico.	119
5.65	Janela informativa referente aos cálculos de otimização dos pilares que não estão "em baioneta" (Reis Gomes (2014)).	120
5.66	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS dos pilares das fachadas de empena.	120
5.67	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os pilares das fachadas de empena.	121

5.68	Janela informativa referente aos cálculos de otimização dos pilares das fachadas de empena.	121
5.69	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS de todos os pilares das fachadas de empena.	122
5.70	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS de todos os pilares das fachadas de empena.	122
5.71	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os elementos constituintes da cobertura dos escritórios.	123
5.72	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os elementos constituintes da cobertura dos escritórios, já com as novas secções. . .	124
5.73	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os elementos constituintes do pavimento do primeiro piso dos escritórios.	125
5.74	Janela informativa referente aos cálculos de otimização ao ULS para as vigas secundárias do pavimento do primeiro piso dos escritórios.	125
5.75	Janela informativa referente aos cálculos de otimização ao SLS para as vigas secundárias do pavimento do primeiro piso dos escritórios.	126
5.76	Janela informativa referente aos cálculos de otimização ao ULS para as vigas laterais do pavimento do primeiro piso dos escritórios.	126
5.77	Janela informativa referente aos cálculos de otimização ao SLS para as vigas laterais do pavimento do primeiro piso dos escritórios.	127
5.78	Janela informativa referente aos cálculos de otimização ao ULS para as travessas do pavimento do primeiro piso dos escritórios.	127
5.79	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os elementos constituintes do pavimento do primeiro piso dos escritórios.	128
5.80	Janela informativa referente aos cálculos de otimização ao ULS para as vigas centrais do pavimento do primeiro piso dos escritórios.	128
5.81	Janela informativa referente aos cálculos de otimização ao SLS para as vigas centrais do pavimento do primeiro piso dos escritórios.	128
5.82	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os elementos constituintes do pavimento do primeiro piso dos escritórios, com os perfis finais.	129
5.83	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os pilares mistos.	130
5.84	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os pilares mistos, já com as alterações dos perfis.	130
5.85	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os pilares interiores.	131
5.86	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os pilares interiores, já com as alterações dos perfis.	131
5.87	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os pilares de apoio.	132
5.88	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os pilares de apoio, já com as alterações dos perfis.	132
5.89	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do dimensionamento das travessas longitudinais e das travessas da cobertura.	133
5.90	Janela informativa referente aos cálculos de otimização do dimensionamento das travessas da cobertura.	133

5.91	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do dimensionamento das travessas longitudinais e da cobertura, após alterações, mas com falha dos perfis "HEA 320".	134
5.92	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do dimensionamento das travessas longitudinais e da cobertura, após alteração para o perfil "HEA 340". . .	134
5.93	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do grupo codificado das diagonais e montantes da asna.	135
5.94	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do grupo codificado dos restantes elementos da cobertura.	135
5.95	Representação da cobertura com legenda dos perfis utilizados nos vários elementos.	136
5.96	Janela informativa referente aos cálculos de verificação dos grupos codificados das madres e contraventamentos da fachada, e da estrutura reticulada dos pilares "em baioneta" /Reis Gomes (2014)).	136
5.97	Janela informativa referente aos cálculos de verificação dos grupos codificados dos vários pilares.	137
5.98	Representação dos pilares com legenda dos perfis utilizados nos vários elementos.	137
5.99	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS, dos grupos codificados dos vários elementos da cobertura dos escritórios.	138
5.100	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do SLS, dos grupos codificados dos vários elementos da cobertura dos escritórios.	138
5.101	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS dos grupos codificados dos vários elementos do primeiro piso dos escritórios.	138
5.102	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do SLS dos grupos codificados dos vários elementos do primeiro piso dos escritórios.	139
5.103	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS dos grupos codificados dos vários pilares da zona dos escritórios.	139
5.104	Janela informativa referente aos cálculos de verificação do SLS dos grupos codificados dos vários pilares da zona dos escritórios.	139
5.105	Representação dos escritórios com legenda dos perfis utilizados nos vários elementos.	140
5.106	Representação de toda a estrutura com legenda dos perfis utilizados nos vários elementos.	140
6.1	Comparação dos perfis em "C" com a solução do <i>software</i> , os perfis "TCAR 70x3,2", no seu Módulo de Resistência.	144
6.2	Caixa de diálogo referente aos parâmetros da ligação entre um pilar de um pórtico e uma travessa longitudinal.	145
6.3	Desenho 3D da ligação entre um pilar de um pórtico e uma travessa longitudinal.	146
6.4	Esquema 2D da ligação entre um pilar de um pórtico e uma travessa longitudinal.	146

Lista de Tabelas

2.1	Tabela dos coeficientes de pressão exterior para o vento transversal nas fachadas.	15
2.2	Tabela dos coeficientes de pressão exterior para o vento longitudinal nas fachadas.	16
2.3	Tabela dos coeficientes de pressão exterior para o vento transversal na cobertura.	17
2.4	Tabela dos coeficientes de pressão exterior para o vento longitudinal na cobertura.	18
2.5	Tabela da resultante dos coeficientes de pressão do vento transversal e longitudinal, para as fachadas e cobertura.	20

Abreviaturas e Símbolos

BIM	Building Information Modeling
EC0	Eurocódigo - Base para projecto de estruturas
EC1-1	Eurocódigo 1 - Acções em estruturas - Parte 1-1: Acções Gerais - Pesos Volú- micos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios. Comité Europeu de Normali- zação (2009b)
EC1-3	Eurocódigo 1 - Acções em estruturas - Parte 1-3: Acções Gerais - Acções da neve. Comité Europeu de Normalização (2009c)
EC1-4	Eurocódigo 1 - Acções em estruturas - Parte 1-4: Acções Gerais - Acções do vento. Comité Europeu de Normalização (2010a)
EC1-5	Eurocódigo 1 - Acções em estruturas - Parte 1-5: Acções Gerais - Acções térmicas. Comité Europeu de Normalização (2009d)
EC3-1	Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas em aço - Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.
EC3-8	Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas em aço - Parte 1-8: Projecto de ligações. Comité Europeu de Normalização (2010b)
CAD	Computer-Aided Design
ULS	Estado Limite Último (<i>Ultimate Limit State</i>). Comité Europeu de Normaliza- ção (1993)
SLS	Estado Limite de Utilização (<i>Service Limit State</i>). Comité Europeu de Norma- lização (1993)
<i>Robot</i>	<i>Robot Structural Analysis Professional 2020</i> (Autodesk (2010)).
<i>Lay</i>	Coefficiente de Esbelteza em yy
<i>Laz</i>	Coefficiente de Esbelteza em zz

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contexto

É inerente a um tema de dissertação de Engenharia no século XXI a abordagem da componente computacional como apoio do dimensionamento de estruturas metálicas. Estando a presente dissertação no âmbito do ramo de Projeto e Construção Mecânica, é de esperar que esta se prenda maioritariamente com um problema de índole técnica e relacionada com uma situação mais real e, por isso, seja de interesse ter em conta os *softwares* utilizados industrialmente como complemento (ou até mesmo ferramenta principal) para o dimensionamento estrutural e análise do cálculo. No caso em questão, aborda-se o dimensionamento de uma estrutura metálica, mais concretamente um pavilhão industrial, com especificações técnicas passíveis de serem aplicadas numa situação corrente.

1.2 Motivação

O interesse na utilização do *Robot Structural Analysis* da Autodesk® neste trabalho adveio da confiança depositada nesta empresa por uma grande parte dos projetistas a nível mundial nos seus vários programas como o *AutoCAD*, *MAYA*, *Revit*, *Inventor*, entre outros. O *Robot Structural Analysis* insere-se na categoria de *BIM Softwares*, na qual o *CYPECAD* deteria o primeiro lugar, por ser, até à relativamente pouco tempo, o mais utilizado para cálculo estrutural com modelação 3D integrada e análise de cálculo computacional (?). Porém, à medida que as atualizações foram sendo lançadas, o *Robot* tornou-se capaz de integrar a concorrência e hoje partilha o pódio com o *CYPE*, sendo o maior fator decisivo entre um e o outro a preferência pessoal do projetista ou da empresa.

1.3 Estrutura do Documento

Reiterando a ideia de que uma dissertação nesta área de Projeto e Construção Mecânica trata o dimensionamento concreto de uma estrutura metálica, é um trabalho bastante prático e direto, o

presente documento está escrito de forma concisa e objetiva, e estruturado em seis capítulos:

- Capítulo 1 - Introdução: Contexto, motivação, especificações técnicas da estrutura,
- Capítulo 2 - Cálculos Analíticos: cálculos preliminares das ações gerais na estrutura, para posterior inserção em *software*, dimensionamento dos painéis de revestimento e madres para as fachadas e cobertura.
- Capítulo 3 - Modelação: considerações iniciais, modelação 3D da estrutura no *Robot*, pontos de interesse relacionados com erros comuns e avisos do *software*.
- Capítulo 4 - Cargas: Descrição do processo de inserção das ações da estrutura e os cuidados a ter com o *Robot* neste processo.
- Capítulo 5 - Análise Estrutural: Dimensionamento e análise estrutural, verificação dos estados limite, analisando os componentes da estrutura caso a caso.
- Capítulo 6 - Conclusão: avaliação do desempenho do *software*, ilações finais, reflexão sobre o processo de aprendizagem na realização do dimensionamento, dificuldades e ferramentas usadas para ultrapassá-las.

1.4 Especificações Técnicas

O enunciado prevê o dimensionamento da estrutura resistente principal, dos pilares das fachadas de empena e dos contraventamentos, e a seleção dos painéis de revestimento e dimensionamento das respetivas madres, para a cobertura e fachadas. Para tal, são especificadas as dimensões, requisitos e demais considerações técnicas iniciais:

- Localização: Distrito da Guarda, Cidade de Seia, Rua Cândido dos Reis;
- Pórtico encastrado na base dos pilares;
- Cobertura e paredes impermeáveis ao vento;
- Um portão de entrada de dimensões de 4 [m] de largura por 4 [m] de altura e de uma porta de entrada de 0,8 [m] de largura por 2 [m] de altura, na fachada de empena;
- Contraventamentos (convencionalmente entre o primeiro e segundo pórtico e entre o penúltimo e último pórtico);
- Vão - 30 [m];
- Comprimento da Nave - 50 [m];
- Distância entre pórticos - 5 [m];
- Altura do Pilar - 8 [m];

- Distância entre Madres - entre 1,5 [m] e 3 [m];
- Inclinação da Vertente - 10 °;
- Zona de escritórios à entrada do pavilhão implantada numa área de 8,57x15,00 [m] e com dois pisos perfazendo uma altura total da estrutura de 6 [m];
- Pilares dos pórticos em baioneta como preparação para aplicação de uma ponte rolante com capacidade máxima de 32 [ton], com uma área de trabalho de 29x29 [m].

Capítulo 2

Cálculos Analíticos

Neste capítulo serão apresentados os cálculos que levaram à quantificação das ações de natureza ambiental e humana que poderão atuar na estrutura durante o seu tempo de vida útil. Estas ações dependem da localização geográfica onde a estrutura será construída e também da sua envolvente, como o tipo de edifícios ou vegetação circundante.

Numa primeira abordagem, será necessário especificar as dimensões gerais do pavilhão em estudo, dimensões estas predefinidas no enunciado e que serão as usadas para os cálculos de dimensionamento.

Dada a altura vertical da cobertura, z_p :

$$\tan(10^\circ) = \frac{z_p}{15} \Leftrightarrow z = 2,645 \text{ [m]} \quad (2.1)$$

Logo, a altura do pavilhão na cumieira é de $h_p = 8 + 2,645 = 10,645 \text{ [m]}$.

O comprimento da travessa da cobertura, l_c , é dado por:

$$\cos(10^\circ) = \frac{15}{l_c} \Leftrightarrow l_c = 15,231 \text{ [m]} \quad (2.2)$$

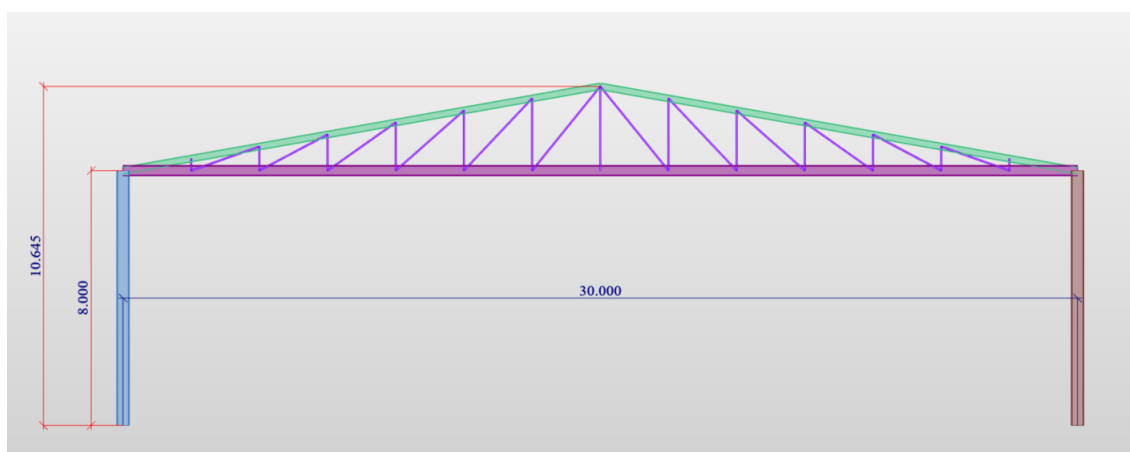


Figura 2.1: Representação do pórtico com asna do pavilhão a ser dimensionado

2.1 Ações Gerais na Estrutura

As ações gerais na estrutura são calculadas com base no EC1, sendo a parte 1-1 (?) para as ações da sobrecarga, a parte 1-3 ([Comité Européu de Normalização \(2009c\)](#)) para as ações da neve, e a parte 1-4 (?) para as ações do vento.

2.1.1 Ação da Neve

No âmbito do cálculo da ação da neve, o fator de maior influência é a altitude do terreno onde será construída a estrutura que, neste caso, se realizará na Rua Cândido Reis, Cidade de Seia, Guarda. Por consulta do pt-pt.topographic-map.com (TopoMap), verificou-se que este se encontra a 540 [m] de altitude.

Os próximos passos dizem respeito ao cálculo da respetiva ação, seguindo as diretivas presentes no EC1-3 ([Comité Européu de Normalização \(2009c\)](#)).

2.1.1.1 Disposição da Carga

Conforme o disposto no EC1-3 ([Comité Européu de Normalização \(2009c\)](#)):

$$S = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (2.3)$$

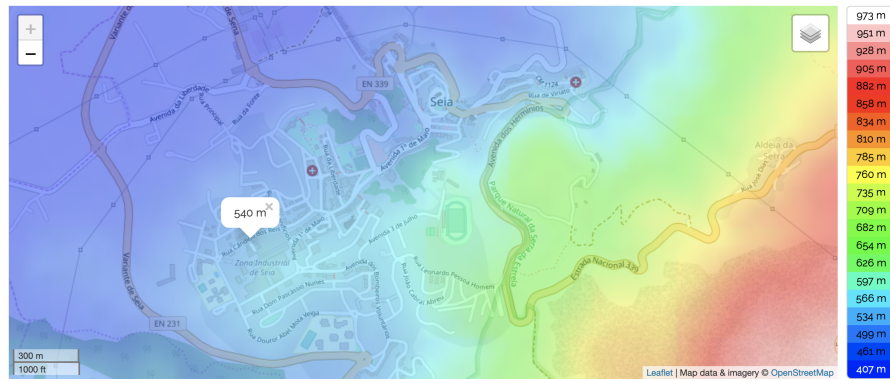


Figura 2.2: Localização e altitude do terreno onde será implementado o pavilhão (TopoMap).

Prossegue-se à definição dos parâmetros supra mencionados:

- μ_i - Coeficiente de forma para a carga da neve.
Sendo que a cobertura é de duas vertentes, ambas com uma inclinação de 10° , para $0^\circ < \alpha < 30^\circ$, estamos perante o caso (i). Posto isto, o valor de μ_i será de 0,8.
- C_e - Coeficiente de exposição.
O terreno encontra-se na categoria "Normal", pelo que $C_e = 1$.
- C_t - Coeficiente térmico.
Este coeficiente utiliza-se para prever grandes reduções da carga de neve devido a transmissões térmicas elevadas ($> 1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) pelo que, no caso em estudo, não se justifica, usando-se então $C_t = 1$.
- s_k - Valor característico da carga ao nível do solo.
Conforme disposto no Anexo B do EC1-3 (Comité Europeu de Normalização (2009c)), verifica-se que, inserindo-se na Península Ibérica o terreno, o valor de s_k será dado pela expressão:

$$s_k = (0,190 \cdot Z - 0,095) \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{524} \right)^2 \right] \quad (2.4)$$

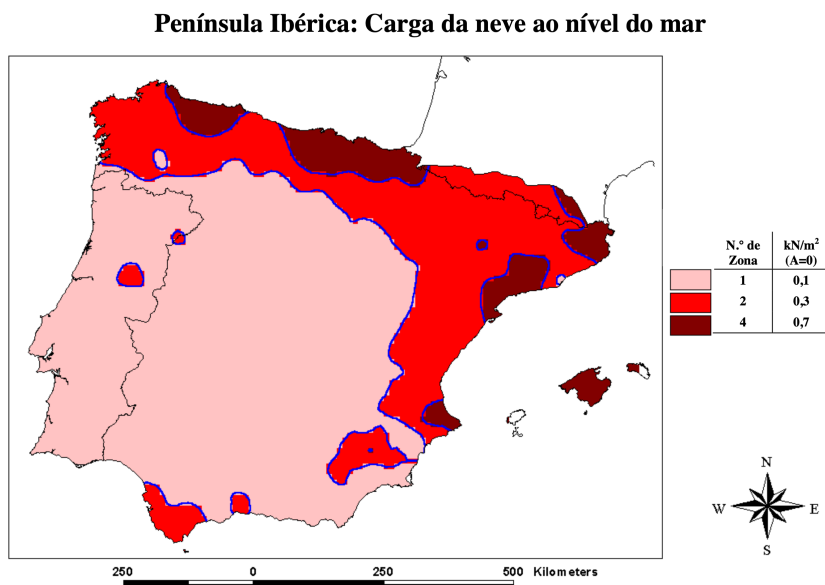


Figura 2.3: Distribuição da carga da neve ao nível do solo na Península Ibérica ([Comité Europeu de Normalização \(2009c\)](#)).

O parâmetro A representa a altitude do local acima do nível do mar que, como já referido, é de 540 [m]. O parâmetro Z é o número da zona indicado no mapa, que por consulta da figura C.5 do Anexo C, este assume o valor de 2 que corresponde à Zona 1 ([Comité Europeu de Normalização \(2009c\)](#)). Assim sendo:

$$s_k = (0,190 \cdot 2 - 0,095) \cdot \left[1 + \left(\frac{540}{524} \right)^2 \right] = 0,5877 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (2.5)$$

Pelo Anexo Nacional tem-se que:

$$S_k = C_z \cdot \left[1 + \left(\frac{H}{500} \right)^2 \right] \quad (2.6)$$

O valor de H refere-se à altitude do terreno que, ou seja, $H = 540$. O Distrito da Guarda insere-se na Zona 2, pelo que o valor de C_z é de 0,30, vindo:

$$S_k = 0,30 \cdot \left[1 + \left(\frac{540}{500} \right)^2 \right] = 0,6499 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (2.7)$$

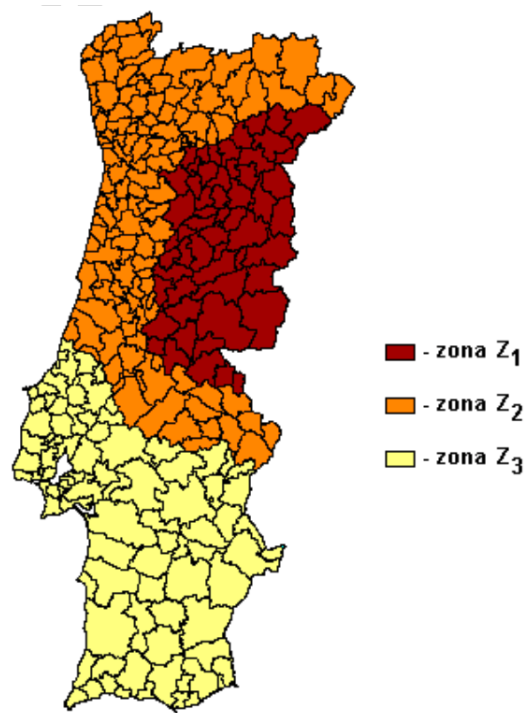


Figura 2.4: Distribuição da carga da neve ao nível do solo em Portugal Continental ([Comité Européen de Normalização \(2009c\)](#)).

O valor calculado pelo Anexo Nacional é o que será considerado para o cálculo final. O valor final da ação da neve, S , vem:

$$S = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,6499 = 0,5199 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (2.8)$$

2.1.2 Ação do Vento

As ações provocadas pelo vento na estrutura devem ser calculadas com base no EC1-4 ([Comité Europeu de Normalização \(2010a\)](#)).

Estas ações variam em função do tempo e podem atuar sobre as superfícies exteriores das construções, sob a forma de pressão, bem como sobre as superfícies interiores em construções abertas ou devido à permeabilidade da superfície.

Das pressões que atuam sobre elementos da superfície resultam forças perpendiculares à superfície da construção ou dos elementos de revestimento individuais.

2.1.2.1 Valores de Referência

O valor de referência da velocidade do vento pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (2.9)$$

Em que:

- $v_{b,0}$, valor básico da velocidade de referência do vento
- c_{dir} , coeficiente de direcção
- c_{season} , coeficiente de sazão

O valor recomendado para c_{dir} e c_{season} é 1. Para definir o valor de $v_{b,0}$ será necessário consultar o Anexo Nacional do EC1-3 ([Comité Europeu de Normalização \(2009c\)](#)). Para efeitos de quantificação do valor básico da velocidade de referência do vento, $v_{b,0}$, considera-se o país dividido em duas regiões. Para o nosso caso, a Cidade da Seia, Distrito da Guarda, encontra-se na Zona A, devido à altitude da cidade ser inferior a 600 [m].

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

Figura 2.5: Valor básico da velocidade de referência do vento ([Comité Europeu de Normalização \(2010a\)](#)).

Logo,

$$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 27 = 27 \text{ [m/s]} \quad (2.10)$$

2.1.2.2 Vento Médio

A velocidade do vento médio, $v_m(z)$, depende da altitude z acima do solo, da rugosidade do terreno, $c_r(z)$, da ortografia $c_o(z)$ e do valor de referência, v_b .

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (2.11)$$

Considera-se o valor de coeficiente de ortografia, $c_o(z)$, igual a 1.
Para o cálculo do valor do coeficiente de rugosidade, $c_r(z)$, será necessário obter os valores de z_{min} e z_{max} . Para tal, recorre-se ao anexo nacional, que nos diz em que tipo de zona se encontra o pavilhão. Por consulta da tabela da figura 2.6, pode-se concluir que o pavilhão se encontra na Zona III.

Categoria de terreno		z_0 [m]	z_{min} [m]
I	Zona costeira exposta aos ventos de mar	0,005	1
II	Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura	0,05	3
III	Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: zonas suburbanas, florestas permanentes)	0,3	8
IV	Zona na qual pelo menos 15 % da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m	1,0	15
<i>NOTA 1: As categorias de terreno II, III e IV estão ilustradas em A.1.</i>			
<i>NOTA 2: O coeficiente de rugosidade, $c_r(z)$, é ilustrado na Figura NA.1.</i>			

Figura 2.6: Categoria de terreno e respectivos parâmetros (Comité Europeu de Normalização (2010a)).

Categoria de terreno III

Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: aldeias, zonas suburbanas, florestas permanentes)

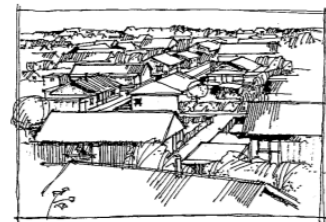


Figura 2.7: Descrição da Categoria do Terreno III (Comité Europeu de Normalização (2010a)).

A altura do pavilhão é de $10,64 [m] > 8 [m]$, logo usar-se-á a expressão seguinte.

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0}, \text{ para } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (2.12)$$

É necessário então calcular o coeficiente do terreno k_r , que é dado pela seguinte equação:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215 \quad (2.13)$$

Com $z_{0,II} = 0,05$ [m]. Logo,

$$c_r(z) = 0,215 \cdot \ln \frac{10,64}{0,3} = 0,767 \quad (2.14)$$

Finalmente,

$$v_m = 0,767 \cdot 1 \cdot 27 = 20,709 \text{ [m/s]} \quad (2.15)$$

2.1.2.3 Turbulência do Vento

A intensidade de turbulência à altura z , $I_v(z)$, é definida como o quociente entre o desvio padrão da turbulência e a velocidade média do vento.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}, \text{ para } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (2.16)$$

O valor do desvio padrão da turbulência, σ_v , poderá ser determinado através da seguinte equação. Considera-se para o valor de k_1 igual a 1.

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_1 = 0,215 \cdot 27 \cdot 1 = 5,805 \text{ [m/s]} \quad (2.17)$$

$$I_v(z) = \frac{5,805}{20,709} = 0,280 \quad (2.18)$$

2.1.2.4 Pressão Dinâmica de Pico

Este parâmetro resulta da velocidade média e das flutuações de curta duração da velocidade do vento. Neste caso, o cálculo será feito por dois métodos diferentes.

Para o primeiro método:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (2.19)$$

O valor da massa volúmica do ar é de $\rho = 1,25$ [kg/m³], logo

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,280] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20,709^2 = 793,4 \text{ [N/m}^2\text{]} \quad (2.20)$$

Para o segundo método:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = c_e(z) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (2.21)$$

Para o valor de coeficiente de exposição, c_e , recorre-se ao seguinte gráfico do Anexo Nacional:

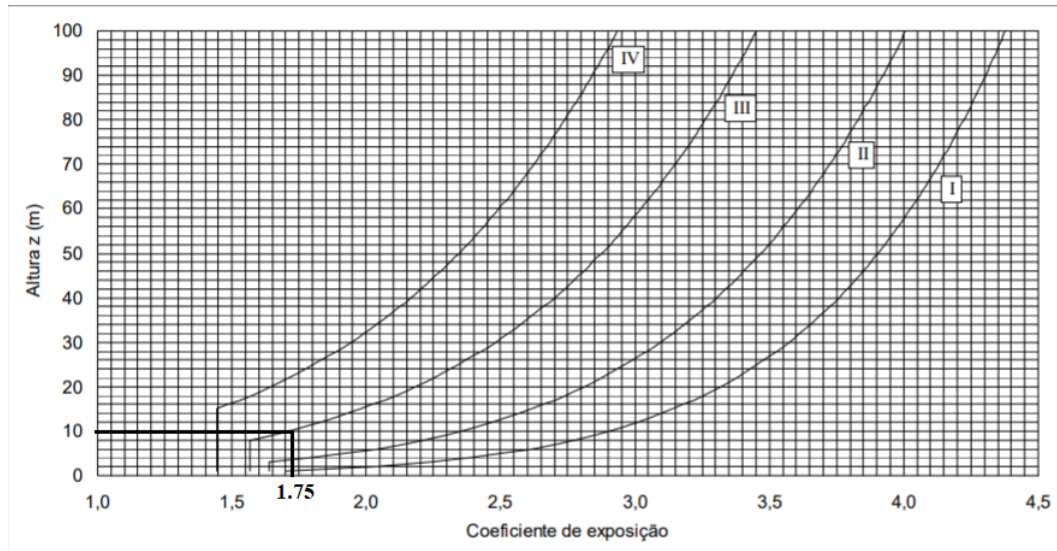


Figura 2.8: Gráfico do valor de Coeficiente de Exposição (Comité Europeu de Normalização (2010a)).

Para um pavilhão com altura de $10,64 \text{ [m]}$ e localizado na Zona III, o coeficiente de exposição tem o valor de $c_e = 1,75$, logo:

$$q_p = 1,75 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27^2 = 797,34 \text{ [N/m}^2\text{]} \quad (2.22)$$

A pressão exercida pelo vento nas superfícies exteriores, w_e , é calculada pela expressão:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (2.23)$$

E a pressão exercida nas superfícies interior, w_i :

$$w_i = q_p(z_e) \cdot c_{pi} \quad (2.24)$$

Em que:

- c_{pe} , coeficiente de pressão exterior
- c_{pi} , coeficiente de pressão interior

2.1.2.5 Coeficientes de Pressão

Coeficiente de Pressão Exterior

Os coeficientes de pressão (c_p) a ser calculados dependem das dimensões da superfície da estrutura a ser estudada, nomeadamente da área. Os valores apresentados nas tabelas são relativos a superfícies de $1 \text{ [m}^2\text{]}$ ($c_{pe,1}$, coeficientes locais) e de $10 \text{ [m}^2\text{]}$ ($c_{pe,10}$, coeficientes globais).

Como se pode concluir pela análise da figura 2.9, os coeficiente a retirar da tabela serão os globais ($c_{pe,110}$), dado que toas as superfícies têm uma área superior a $10 \text{ [m}^2\text{]}$.

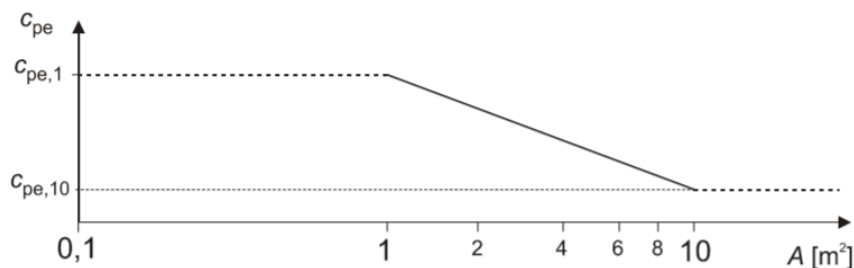


Figura 2.9: Procedimento recomendado para a determinação do coeficiente de pressão exterior (Comité Européu de Normalização (2010a)).

I - Paredes Verticais de Planta Regular

As alturas de referência, z_e , para as paredes rectangulares dependem da relação h/b . Neste caso, como a altura h é inferior a b deverá ser considerado como tendo uma única parte, figura 2.10. Para o caso em questão, $h = 10,64$ [m] e $b = 50$ [m].

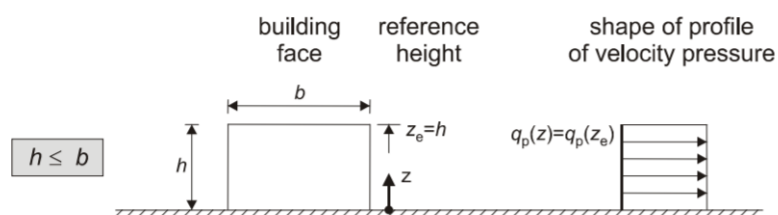


Figura 2.10: Altura de referência z_e e o perfil de pressão dinâmica (Comité Européu de Normalização (2010a)).

Vento Transversal

Na figura 2.11 é apresentado um esquema das várias divisões da fachada perpendicular ao vento para $e < d$, sendo e o menor valor entre b ou $2h$, ou seja, $e = 2h = 21,28$.

No caso do vento transversal o valor das dimensões são:

- $h = 10,64$ [m]
- $b = 50$ [m]
- $d = 30$ [m]

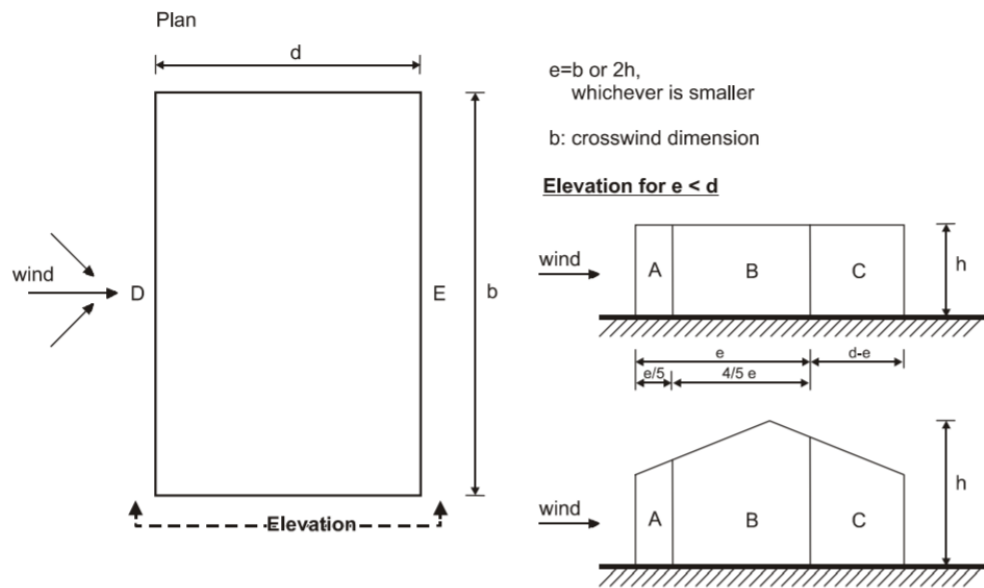


Figura 2.11: Divisões da fachada perpendicular ao vento (Comité Européen de Normalização (2010a)).

Para analisar os valor da tabela da figura 2.12, será necessário calcular a relação h/d .

$$\frac{h}{d} = \frac{10,64}{30} = 0,355 \quad (2.25)$$

Zona	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Figura 2.12: Quadro com os valores recomendados de c_{pe} para paredes verticais (Comité Européen de Normalização (2010a)).

Por interpolação dos valores da tabela da figura 2.12, obtivemos os valor dos coeficientes de pressão exterior para o vento transversal:

A	B	C	D	E
-1,2	-0,8	-0,5	+0,714	-0,328

Tabela 2.1: Tabela dos coeficientes de pressão exterior para o vento transversal nas fachadas.

Vento Longitudinal

No caso do vento longitudinal, o processo é idêntico ao anterior, sendo necessário a alteração

dos valores de b e d . O valor das dimensões são:

- $h = 10,64$ [m]
- $b = 30$ [m]
- $d = 50$ [m]

É necessário calcular o valor de e para definir o tipo de perfil a analisar, sendo que este tomará o menor valor entre b ou $2h$, ou seja, $e = 2h = 21,28$.

Para analisar os valor da tabela da figura 2.12, será necessário calcular a relação h/d .

$$\frac{h}{d} = \frac{10,64}{50} = 0,2128 \quad (2.26)$$

Por interpolação dos valores da tabela da figura 2.12, obtêm-se os valor dos coeficientes de pressão exterior para o vento longitudinal:

A	B	C	D	E
-1,2	-0,8	-0,5	+0,7	-0,3

Tabela 2.2: Tabela dos coeficientes de pressão exterior para o vento longitudinal nas fachadas.

II- Coberturas de Duas Vertentes

Para o caso em questão, considerou-se a cobertura de duas vertentes (Figura 2.13).

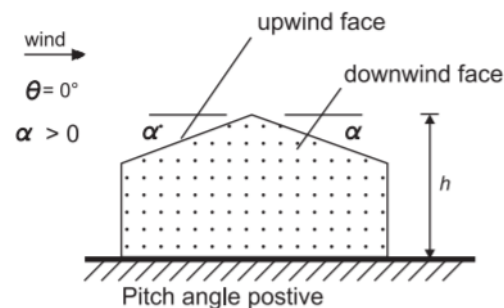


Figura 2.13: Ilustração de uma cobertura de duas vertentes (Comité Européu de Normalização (2010a)).

Vento Transversal

No caso do vento transversal ($\theta = 0^\circ$) a cobertura é dividida em cinco zonas diferentes. Na cobertura podem surgir duas situações: ou existe somente sucção nas duas vertentes, ou pressão numa vertente e sucção noutra. Os coeficientes foram obtidos do quadro da Figura 2.15. Sendo o ângulo da vertente igual a $\alpha = 10^\circ$, será necessário interpolar os valores da tabela para obter os $c_{pe,10}$.

F	G	H	I	J
-1,30 e +0,10	-1,00 e +0,10	-0,45 e +0,10	-0,50 e -0,30	-0,40 e -0,30

Tabela 2.3: Tabela dos coeficientes de pressão exterior para o vento transversal na cobertura.

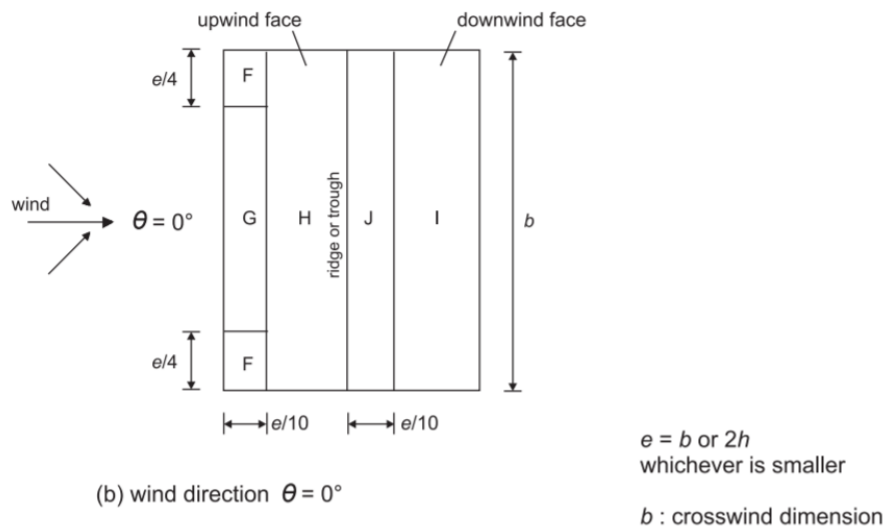


Figura 2.14: Esquema das zonas em cobertura de duas vertentes ao vento transversal (Comité Européen de Normalização (2010a)).

Ângulo de inclinação α	Zona; Direcção do vento $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

Figura 2.15: Tabela coeficientes de pressão para cobertura de duas vertentes ($\theta = 0^\circ$) (Comité Européen de Normalização (2010a)).

Vento Longitudinal

No caso do vento longitudinal ($\theta = 90^\circ$) a cobertura é dividida em 4 zonas diferentes e apenas existe sucção.

Os coeficientes foram obtidos do quadro da figura 2.17. Sendo o ângulo da vertente igual a $\alpha = 10^\circ$, será necessário interpolar os valores da tabela para obter os $c_{pe,10}$.

F	G	H	I
-1,45	-1,30	-0,65	-0,55

Tabela 2.4: Tabela dos coeficientes de pressão exterior para o vento longitudinal na cobertura.

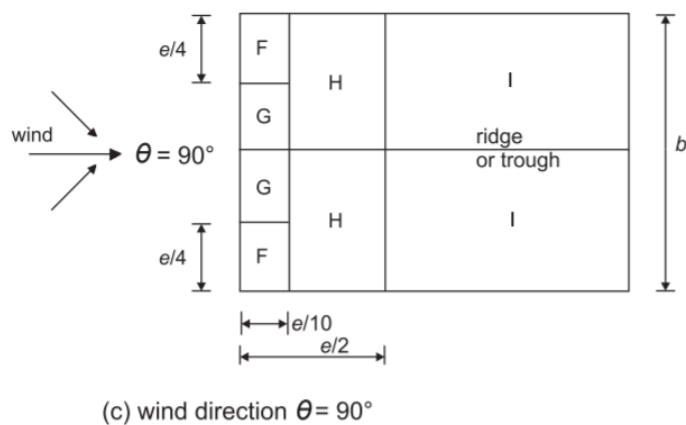


Figura 2.16: Esquema das zonas em cobertura de duas vertentes ao vento longitudinal (Comité Européu de Normalização (2010a)).

Ângulo de inclinação α	Zona; Direcção do vento $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Figura 2.17: Tabela coeficientes de pressão para cobertura de duas vertentes ($\theta = 90^\circ$) (Comité Européu de Normalização (2010a)).

Coefficiente de Pressão Interior

O coeficiente de pressão interior, c_{pi} , depende da dimensão e da distribuição das aberturas na envolvente do edifício.

Para obter o valor do c_{pi} será necessário calcular o valor do μ , em função da área da face em questão, o valor de $\frac{h}{d}$ e, de seguida, retirar o valor de c_{pi} do gráfico da figura 2.18.

$$\mu = \frac{\sum \text{área das aberturas em que } c_{pe} \text{ é negativo ou } -0,0}{\sum \text{área de todas as aberturas}} \quad (2.27)$$

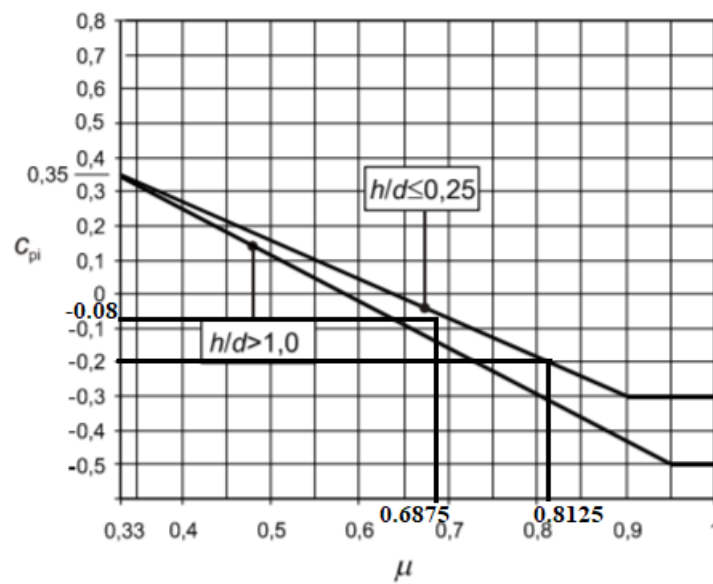


Figura 2.18: Coeficiente de pressão interior no caso de aberturas uniformemente distribuídas (Comité Européen de Normalização (2010a)).

Vento Transversal

$$\mu = \frac{30 \times 2 + 50}{(30 + 50) \times 2} = 0,6875 \quad (2.28)$$

$$\frac{h}{d} = \frac{10,64}{30} = 0,355 \quad (2.29)$$

Por consulta do gráfico da figura 2.18, obteve-se o valor do c_{pi} :

Vento Transversal: -0,08

Vento Longitudinal

$$\mu = \frac{50 \times 2 + 30}{(30 + 50) \times 2} = 0,8125 \quad (2.30)$$

$$\frac{h}{d} = \frac{10,64}{50} = 0,2128 \quad (2.31)$$

Por consulta do gráfico da figura 2.18, obteve-se o valor do c_{pi} :

Vento Longitudinal: -0,2

Resultante dos Coeficientes de Pressão

Como os coeficientes de pressão interior atuam da mesma forma em todas as superfícies, será oportuno calcular a resultante dos coeficientes de pressão do pavilhão.

Resultante dos Coeficientes de Pressão						
Vento Transversal	Fachadas	A	B	C	D	E
		-1,12	-0,72	-0,42	+0,794	-0,248
	Cobertura	F	G	H	I	J
		-1,22 e +0,18	-0,92 e +0,18	-0,37 e +0,18	-0,42 e -0,22	-0,32 e -0,22
Vento Longitudinal	Fachadas	A	B	C	D	E
		-1,00	-0,60	-0,30	+0,90	-0,10
	Cobertura	F	G	H	I	
		-1,25	-1,10	-0,45	-0,35	

Tabela 2.5: Tabela da resultante dos coeficientes de pressão do vento transversal e longitudinal, para as fachadas e cobertura.

2.1.3 Sobrecarga

Por consulta do EC1-1, pode-se concluir qual o valor de sobrecarga a adotar, mediante o tipo de cobertura do pavilhão (Figura 2.19). O pavilhão em causa enquadra-se na categoria H: "Coberturas não acessíveis, excepto para operações de manutenção e reparação correntes" (Comité Européu de Normalização (2009b)).

Categoria	Utilização específica
H	Coberturas não acessíveis, excepto para operações de manutenção e reparação correntes
I	Coberturas acessíveis com utilizações definidas nas Categorias A a G
K	Coberturas acessíveis para utilizações especiais, tais como aterragem de helicópteros

Figura 2.19: Categorias de Cobertura (Comité Européu de Normalização (2009b)).

Logo,

$q_k = 0,4 \text{ [kN/m}^2\text{]}$ - valor característico de uma carga uniformemente distribuída

$Q_k = 1 \text{ [kN]}$ - valor característico de uma carga concentrada variável

2.2 Dimensionamento dos Painéis de Revestimento

Para a escolha dos painéis optou-se por usar apenas o catálogo da empresa PERFITEC ([PERFITEC .Lda](#)). Os fatores tidos em conta para esta seleção foram a redução de custos, atendendo à economia de escala, e do peso, através da adoção de painéis de menor espessura e com a maior distância entre madres possível.

2.2.1 Cobertura

Para a cobertura, fez-se a combinação de ações devido a esta poder estar sujeita a vários casos de carregamento.

2.2.1.1 Combinação de Ações

Conforme o que consta no EC0 ([Comité Europeu de Normalização \(2009a\)](#)):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G''_{k,j} + \gamma_P \cdot P'' \gamma_{Q,1} \cdot Q''_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.32)$$

Serão considerados os valores já calculados anteriormente, $S = 519,90[N/m^2]$ para a neve, e $q = 797,34[N/m^2]$ para o vento. Para o vento são considerados os coeficientes de pressão que correspondem aos piores casos, $+0,18$ para a pressão e $-1,25$ para a sucção.

Os valores dos coeficientes ψ foram obtidos dos quadros A1.1 e A1.2 do EC0 e os valores de γ foram obtidos do quadro NA-A1.2 do nexo Nacional do mesmo documento ([Comité Europeu de Normalização \(2009a\)](#)).

Para este caso teremos cinco tipos de combinações diferentes:

- 1. Ação Variável de Base do Vento (sucção):

$$q = 797,34 \cdot 1,25 \cdot 1,5 = 1495,01[N/m^2] \quad (2.33)$$

- 2. Ação Variável de Base da Neve:

$$q = 519,90 \cdot 1,5 = 779,85[N/m^2] \quad (2.34)$$

- 3. Ação Variável de Base da Neve conjunta com a Ação Variável do Vento (pressão):

$$q = 519,90 \cdot 1,5 + 797,34 \cdot 1,5 \cdot 0,18 \cdot 0,6 = 909,02[N/m^2] \quad (2.35)$$

- 4. Ação Variável de Base da Neve conjunta com a Ação Variável do Vento (pressão):

$$q = 519,90 \cdot 1,5 \cdot 0,5 + 797,34 \cdot 0,18 \cdot 1,5 = 605,21[N/m^2] \quad (2.36)$$

- 5. Ação Variável de Base da Sobrecarga combinada com as Ações Variáveis da Neve e do Vento (pressão):

$$q = 400 \cdot 1,5 + 519,90 \cdot 1,5 \cdot 0,5 + 797,34 \cdot 0,18 \cdot 1,5 \cdot 0,6 = 1119,09 [N/m^2] \quad (2.37)$$

Verifica-se então que o pior caso é o primeiro. Assim sendo procede-se à escolha do painel, com base na tabela seguinte.

CONDIÇÕES DE CARGA					CARGA ÚTIL UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA EM KG/m² - KN/m²												
ESP s mm	K		PESO PAINEL Kg/m²		U. M.												
	Kcal m².h.°C	W m².K	0,5+0,4	0,4+0,4		2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50
30	0,53	0,62	9,46	8,55	Kg/m² KN/m²	222 2,17	142 1,39	99 0,97	72 0,70	55 0,53	28 0,27	234 2,29	177 1,73	124 1,21	90 0,88	69 0,67	38 0,37
40	0,42	0,48	9,88	8,97	Kg/m² KN/m²	280 2,74	208 2,03	108 1,05	84 0,82	65 0,63	48 0,47	313 3,06	230 2,25	169 1,65	114 1,11	84 0,82	68 0,66
50	0,34	0,39	10,30	9,39	Kg/m² KN/m²	338 3,31	234 2,29	127 1,24	95 0,93	73 0,71	56 0,54	350 3,43	260 2,54	191 1,87	128 1,25	96 0,94	79 0,77
60	0,29	0,33	10,71	9,81	Kg/m² KN/m²	377 3,70	261 2,55	171 1,67	125 1,22	95 0,93	72 0,70	386 3,78	268 2,62	228 2,23	166 1,62	125 1,22	100 0,98
80	0,22	0,25	11,56	10,65	Kg/m² KN/m²	507 4,96	340 3,33	251 2,45	186 1,82	136 1,33	108 1,05	534 5,23	358 3,50	264 2,58	204 2,00	168 1,64	135 1,32
100	0,19	0,22	12,39	11,48	Kg/m² KN/m²	—	—	365 3,57	312 3,05	234 2,29	201 1,97	—	—	—	325 3,18	282 2,76	237 2,32

N.B.: Os valores nesta tabela são para uma flecha $f \leq 1/200$ de vão l (m) e referem-se a painéis com a espessura de chapa de 0,5+0,4mm

Figura 2.20: Tabela de painéis de cobertura da empresa PERFITEC consoante espessura e distância entre madres (PERFITEC .Lda).

O painel escolhido para a cobertura é então o "ROOFTEC - 3 (1000) S30, 2,5" (PERFITEC .Lda).

2.2.2 Fachada Lateral

Para a fachada lateral usa-se, naturalmente, o valor do coeficiente de pressão correspondente ao pior caso de carregamento na parte lateral do pavilhão devido ao vento longitudinal, que neste caso é 1,0 e, associando o fator de segurança, vem:

$$w = 797,34 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1196,01 [N/m^2] \quad (2.38)$$

Diagrama de uma fachada lateral com painéis e madres. A largura total é de 1000 mm e a distância entre as madres é de 83 mm.

CONDIÇÕES DE CARGA					CARGA ÚTIL UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDA EM KG/m² - KN/m²												
ESP s mm	K		PESO PAINEL Kg/m²		U.M.												
	Kcal m².h.°C	W m².K	0,5+0,4	0,6+0,4		2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50
40	0,44	0,51	9,32	10,16	Kg/m² KN/m²	166 1,63	125 1,22	90 0,88	70 0,68	55 0,54	40 0,39	178 1,74	140 1,37	108 1,05	85 0,83	70 0,68	58 0,56
50	0,36	0,41	9,74	10,59	Kg/m² KN/m²	225 2,21	160 1,57	120 1,18	90 0,88	70 0,68	50 0,49	245 2,41	182 1,78	140 1,37	115 1,13	80 0,78	70 0,68
60	0,30	0,35	10,16	11,00	Kg/m² KN/m²	289 2,83	216 2,12	132 1,29	98 0,96	85 0,83	95 0,53	321 3,15	237 2,32	181 1,77	139 1,36	98 0,96	80 0,78
80	0,23	0,26	11,00	11,84	Kg/m² KN/m²	455 4,46	316 3,09	182 1,78	125 1,22	89 0,87	74 0,72	500 4,91	347 3,40	220 2,15	176 1,72	150 1,47	116 1,13
100	0,20	0,23	11,83	12,66	Kg/m² KN/m²	—	—	210 2,06	172 1,68	135 1,32	108 1,06	—	—	—	210 2,06	177 1,73	131 1,28

N.B.: Os valores nesta tabela são para uma flecha $f \leq 1/200$ de vão / (m) e referem-se a painéis com a espessura de chapa de 0,5+0,4mm

Figura 2.21: Tabela de painéis e fachada da empresa PERFITEC consoante espessura e distância entre madres (PERFITEC .Lda).

O painel escolhido para a fachada lateral é então o "WALLTEC - N (1000) S40, 2,0"(PERFITEC .Lda).

2.2.3 Fachada da Empena

Para a fachada da empena usa-se igualmente o valor do coeficiente de pressão correspondente ao pior caso de carregamento na parte da empena do pavilhão devido ao vento transversal, que neste caso é 1,12 e, associando o fator de segurança, vem:

$$w = 797,34 \cdot 1,12 \cdot 1,5 = 1339,53 \text{ [N/m}^2\text{]} \quad (2.39)$$

O painel escolhido para a fachada da empena é o mesmo que para a fachada lateral, e é então o "WALLTEC - N (1000) S40, 2,0"(PERFITEC .Lda).

2.3 Dimensionamento das Madres

Para o dimensionamento das madres, foi consultado o catálogo "Utilperfil - Perfil C"(UTILPERFIL .Lda).

Tem de se considerar as ações de base, ações variáveis e ações permanentes em cada caso. De seguida, apresentam-se os diagramas de momentos fletores e os valores dos máximos, com o auxílio do software *Multiframe 4D* (Multiframe).

Para a definição de cada tipo de ação ter-se-á como base o EC0 (Comité Européu de Normalização (2009a)).



Figura 2.22: Esquema da estrutura de uma madre de 50 [m] comprimento (Multiframe).

2.3.1 Fachada Lateral

Consoante a escolha dos painéis de revestimento da fachada lateral, o comprimento das madres é de 50 [m], e a distância entre elas é de 2,0 [m].

De acordo com o Quadro NA-A12(B) do Anexo Nacional do EC1-4 (Comité Européu de Normalização (2009a)), a ação do vento terá de ser majorada com um fator $\gamma_{Q,1} = 1,5$ e o peso das madres e painéis serão majoradas com um fator $\gamma_{Gj,sup} = 1,35$.

O valor da carga do vento, conforme utilizado nos cálculos anteriores, é de $797,34[N/m^2]$. Para o peso dos painéis, considerou-se a espessura de chapa de $0,6 + 0,6$, que resulta num peso por área de $101,6[N/m^2]$.

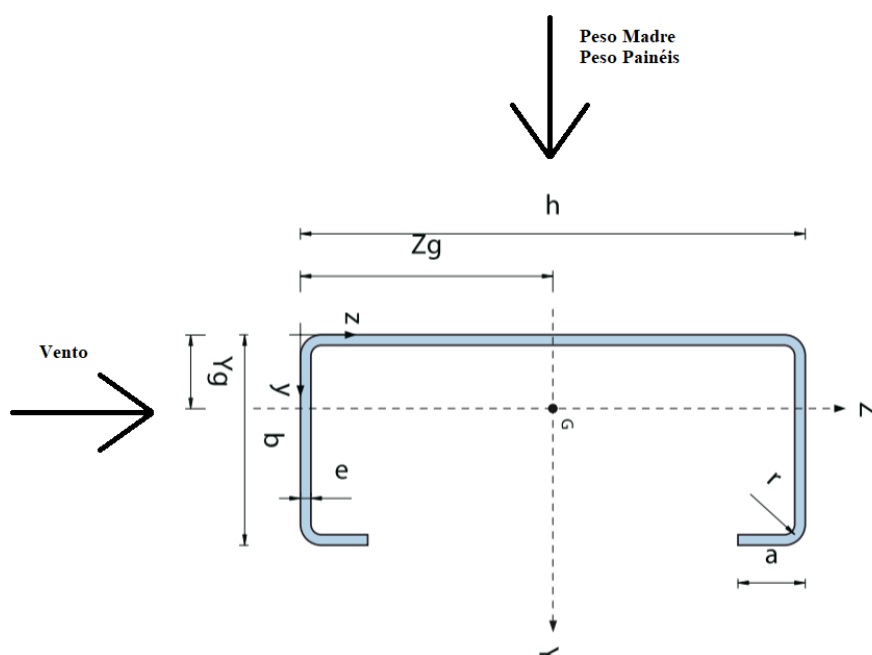


Figura 2.23: Esquema de cargas a serem aplicadas na madre da fachada.

2.3.1.1 Vento Transversal

Para o caso do vento transversal, o valor do coeficiente de pressão correspondente ao pior caso é $c_{P,D} = +0,794$, portanto:

$$q_{v,t} = 797,34 \cdot 0,794 \cdot 1,5 \cdot 2 = 1899,26 \text{ [N/m]} \quad (2.40)$$

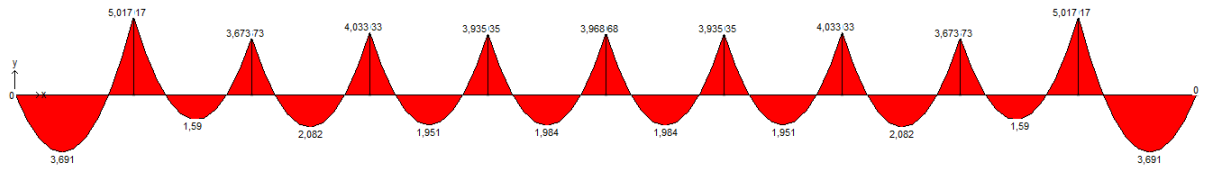


Figura 2.24: Diagrama de momentos fletores yy obtido para as madres da fachada lateral a partir do vento transversal (Multiframe).

Sendo o momento fletor máximo:

$$M_{mx,vt} = 5017,00 \text{ [Nm]} \quad (2.41)$$

2.3.1.2 Vento Longitudinal

A distribuição dos esforços causados pelo vento longitudinal na fachada lateral não é uniforme, pelo que estes se calculam contando com os vários coeficientes de pressão, já vistos anteriormente: $c_{P,A} = -1,0$, $c_{P,B} = -0,6$ e $c_{P,C} = -0,3$. Posto isto:

$$q_{vA,l} = 797,34 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 2 = 2392,02 \text{ [N/m]} \text{ , entre 0 e 4,26 [m]} \quad (2.42)$$

$$q_{vB,l} = 797,34 \cdot 0,6 \cdot 1,5 \cdot 2 = 1435,21 \text{ [N/m]} \text{ , entre 4,26 e 21,28 [m]} \quad (2.43)$$

$$q_{vC,l} = 797,34 \cdot 0,3 \cdot 1,5 \cdot 2 = 717,61 \text{ [N/m]} \text{ , entre 21,28 e 50 [m]} \quad (2.44)$$

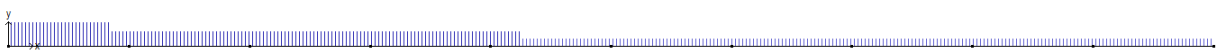


Figura 2.25: Esquema de cargas do vento longitudinal aplicadas na madre (Multiframe).

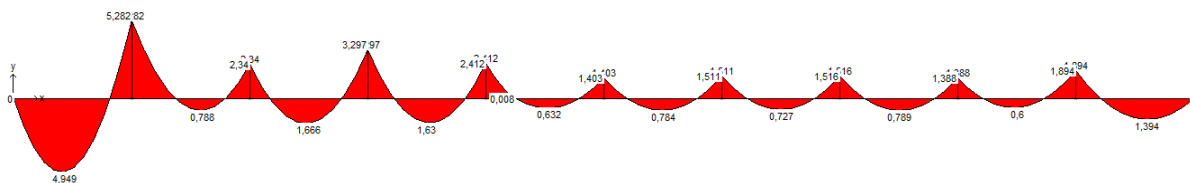


Figura 2.26: Diagrama de momentos fletores em yy obtido para as madres da fachada lateral a partir do vento longitudinal (Multiframe).

Sendo o momento fletor máximo:

$$M_{mx, vl} = 5282,00 \text{ [Nm]} \quad (2.45)$$

2.3.1.3 Peso dos Painéis

O peso do painel escolhido, já referido acima, é de $101,6 \text{ [N/m}^2\text{]}$. Como tal:

$$q_{p, paineis} = 101,6 \cdot 1,35 \cdot 2 = 274,32 \text{ [N/m]} \quad (2.46)$$

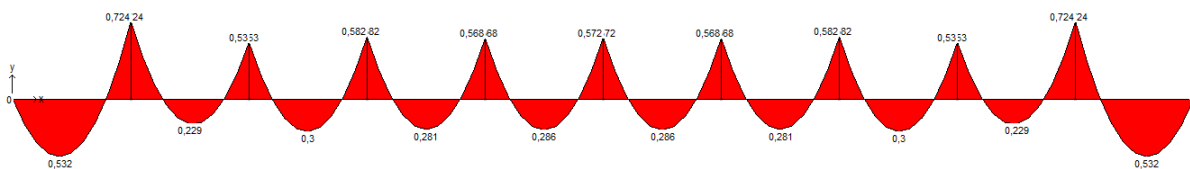


Figura 2.27: Diagrama de momentos fletores zz obtido para as madres da fachada lateral a partir do peso dos painéis (Multiframe).

Sendo o momento fletor máximo:

$$M_{mx, p} = 724,00 \text{ [Nm]} \quad (2.47)$$

2.3.1.4 Dimensionamento da Madre

Para a escolha das madres do pavilhão foi consultado o catálogo "Utiperfil - Perfil C"(?). O aço a ser analisado é o "SGD280", que tem $\sigma_{ced} = 280 \text{ [Mpa]}$ e $E = 210 \text{ [GPa]}$.

A partir dos momentos fletores obtidos anteriormente, o pior caso foi o do momento longitudinal $M_{vl} = 5282 \text{ [Nm]}$.

$$\sigma_{ced} = \frac{M_{vl}}{W_y} \Rightarrow W_y = \frac{5282}{280} = 18,86 \text{ [cm}^3\text{]} \quad (2.48)$$

O perfil escolhido, após algumas iterações, foi o "C200x55x3,0"(UTILPERFIL .Lda).

PERFIL	Dimensões					A (cm ²)	P (Kg/m)	Centro de Gravidade		Relação Y-Y			Relação Z-Z		
	h (mm)	B (mm)	a (mm)	e (mm)	r (mm)			Y _g (cm)	Z _g (cm)	I _y (cm ⁴)	W _y (cm ³)	i _y (cm)	I _z (cm ⁴)	W _z (cm ³)	i _z (cm)
C200x55x3.0	200	55	18	3,0	3,0	9,79	7,69	1,44	10,00	552,08	55,21	7,51	35,40	8,72	1,90

Figura 2.28: Propriedades do perfil escolhido para as madres da fachada lateral (UTILPERFIL.Lda).

O peso exercido pela madre é de:

$$q_m = 7,69 \cdot 9,81 \cdot 1,35 = 101,84 \text{ [N/m]} \quad (2.49)$$

E o momento fletor é:

$$M_f = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{101,84 \cdot 5^2}{8} = 318,26 \text{ [Nm]} \quad (2.50)$$

Assim, os momentos fletores finais são:

- Em y: $M_f = 5282 \text{ [Nm]}$
- Em z: $M_f = 318,26 + 724 = 1042,26 \text{ [Nm]}$

Verificação ao Estado Limite Último (ULS)

Consequentemente, é necessário fazer a verificação do ULS. Estando perante um caso de flexão desviada deve ser verificada a seguinte equação:

$$\sigma_{Sd} = \frac{M_y}{W_y} + \frac{M_z}{W_z} \leq \sigma_{Rd} \quad (2.51)$$

Assim,

$$\sigma_{Sd} = \frac{5282}{55,21} + \frac{1042,26}{8,72} = 215,20 < 280 \text{ [Mpa]} \quad (2.52)$$

Verificação ao Estado Limite de Utilização (SLS)

Para a verificação ao SLS, as ações terão de ser calculadas sem os respetivos coeficientes de segurança. Assim:

- $q_{v,l} = 797,34 \cdot 1 \cdot 2 = 1594,68 \text{ [N/m]}$
- $q_{p,paineis} = 101,6 \cdot 2 = 203,2 \text{ [N/m]}$
- $q_{p,madre} = 7,69 \cdot 9,81 = 75,44 \text{ [N/m]}$

Define-se o deslocamento máximo admissível:

$$\delta_{mx} = \frac{L}{200} = \frac{5}{200} = 0,025 \quad (2.53)$$

$$\delta_{y, mx} = \frac{q_y \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_z} = \frac{(203,2 + 75,44) \cdot 5^4}{384 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 35,40 \cdot 10^{-8}} = 0,0061 [m] \quad (2.54)$$

$$\delta_{z, mx} = \frac{q_z \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = \frac{1594,68 \cdot 5^4}{384 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 552,08 \cdot 10^{-8}} = 0,0022 [m] \quad (2.55)$$

Conclui-se que a madre "C200x55x3,0" verifica todas as condições ([UTILPERFIL .Lda](#)).

2.3.2 Fachada de Empena

Consoante a escolha dos painéis de revestimento da fachada da empena, a distância entre madres é então 2,0 [m]. Para o dimensionamento das madres serão consideradas as ações do vento e o peso dos painéis. O valor da carga do vento, conforme utilizado nos cálculos anteriores, é de 797,34[N/m²]. Para o peso dos painéis, considerou-se a espessura de chapa de 0,6 + 0,6, que resulta num peso por área de 101,6[N/m²]. Os coeficientes de segurança utilizados para o peso dos painéis e para o vento é de 1,35 e 1,5, respectivamente.

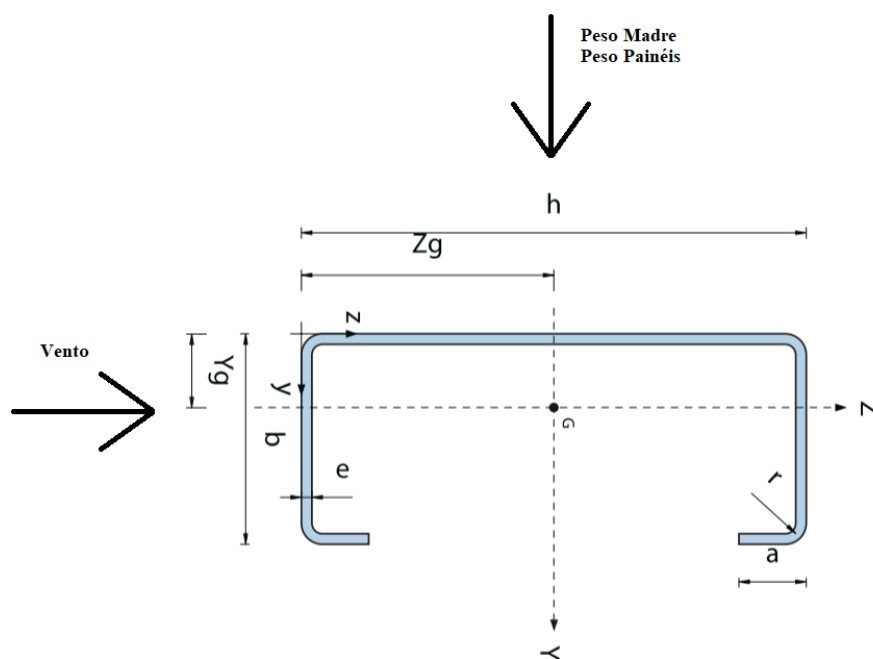


Figura 2.29: Esquema de cargas a serem aplicadas na madre da fachada

2.3.2.1 Vento Transversal

A distribuição dos esforços causados pelo vento transversal na fachada da empena não é uniforme, pelo que estes se calculam contando com os vários coeficientes de pressão, já vistos anteriormente: $c_{p,A} = -1,12$, $c_{p,B} = -0,72$ e $c_{p,C} = -0,42$. Posto isto:

$$q_{v,t} = 797,34 \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 2 = 2679,10 [N/m] \text{ , entre 0 e 4,26 [m]} \quad (2.56)$$

$$q_{v,t} = 797,34 \cdot 0,8 \cdot 1,5 \cdot 2 = 1722,30 \text{ [N/m]} , \text{ entre } 4,26 \text{ e } 21,28 \text{ [m]} \quad (2.57)$$

$$q_{v,t} = 797,34 \cdot 0,5 \cdot 1,5 \cdot 2 = 1004,60 \text{ [N/m]} , \text{ entre } 21,28 \text{ e } 30 \text{ [m]} \quad (2.58)$$



Figura 2.30: Esquema de cargas vento transversal aplicadas na madre (Multiframe).

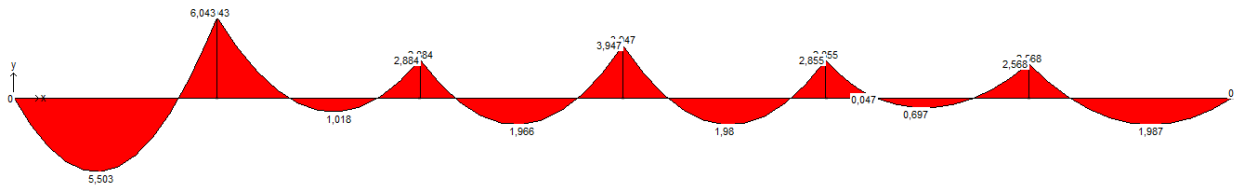


Figura 2.31: Diagrama de momentos fletores obtido para as madres da fachada empena a partir do vento transversal (Multiframe).

Sendo o momento fletor máximo:

$$M_{mx,vt} = 6430,00 \text{ [Nm]} \quad (2.59)$$

2.3.2.2 Vento Longitudinal

Para o caso do vento longitudinal, o valor do coeficiente de pressão correspondente ao pior caso é $c_p = 0,9$, portanto:

$$q_{v,l} = 797,34 \cdot 0,9 \cdot 1,5 \cdot 2 = 2152,818 \text{ [N/m]} \quad (2.60)$$

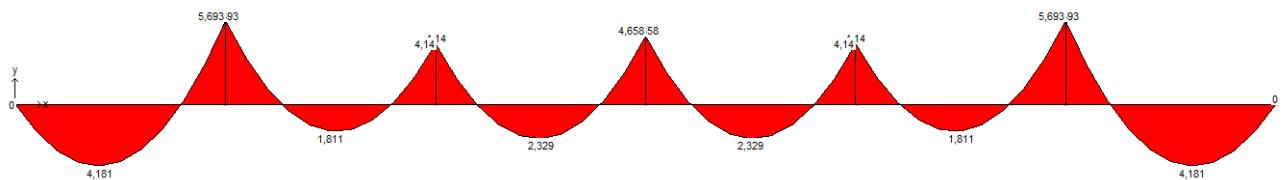


Figura 2.32: Diagrama de momentos fletores obtido para as madres da fachada empena a partir do vento longitudinal (Multiframe).

Sendo o momento fletor máximo:

$$M_{mx,vl} = 5693,00 \text{ [Nm]} \quad (2.61)$$

2.3.2.3 Peso dos Painéis

O peso do painel escolhido já referido acima é de $101,6 \text{ [N/m}^2\text{]}$, como tal:

$$q_{p,painéis} = 101,6 \cdot 1,35 \cdot 2 = 274,32 \text{ [N/m]} \quad (2.62)$$

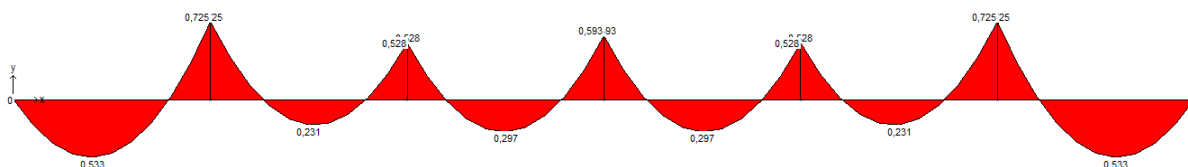


Figura 2.33: Diagrama de momentos fletores obtido para as madres da fachada empina a partir do peso dos painéis (Multiframe).

Sendo o momento fletor máximo:

$$M_{mx,p} = 724,00 \text{ [Nm]} \quad (2.63)$$

2.3.2.4 Dimensionamento da Madre

A partir dos momentos fletores obtidos anteriormente, o pior caso foi o do momento longitudinal $M_{v,t} = 6430 \text{ [Nm]}$.

$$\sigma_{ced} = \frac{M_{v,t}}{W_y} \Rightarrow W_y = \frac{6430}{280} = 20,33 \text{ [cm}^3\text{]} \quad (2.64)$$

O perfil escolhido, após algumas iterações, foi o "C200x55x3,0" (UTILPERFIL .Lda).

PERFIL	Dimensões					A (cm ²)	P (Kg/m)	Centro de Gravidade		Relação Y-Y			Relação Z-Z		
	h (mm)	B (mm)	a (mm)	e (mm)	r (mm)			Y _g (cm ³)	Z _g (cm)	I _y (cm ⁴)	W _y (cm ³)	i _y (cm)	I _z (cm ⁴)	W _z (cm ³)	i _z (cm)
C200x55x3.0	200	55	18	3,0	3,0	9,79	7,69	1,44	10,00	552,08	55,21	7,51	35,40	8,72	1,90

Figura 2.34: Propriedades do perfil escolhido para as madres da fachada empina (UTILPERFIL .Lda).

O peso exercido pela madre é de:

$$q_m = 7,69 \cdot 9,81 \cdot 1,35 = 101,84 \text{ [N/m]} \quad (2.65)$$

E o momento fletor é:

$$M_f = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{101,84 \cdot 5^2}{8} = 318,26 \text{ [Nm]} \quad (2.66)$$

Assim, os momentos fletores finais são:

- Em y: $M_f = 6430 \text{ [Nm]}$
- Em z: $M_f = 318,26 + 725 = 1043,26 \text{ [Nm]}$

Verificação ao Estado Limite Último (ULS)

Igualmente, será necessário verificar-se a madre ao ULS. Estando perante um caso de flexão desviada deve ser verificada a seguinte equação:

$$\sigma_{Sd} = \frac{M_y}{W_y} + \frac{M_z}{W_z} \leq \sigma_{Rd} \quad (2.67)$$

Assim,

$$\sigma_{Sd} = \frac{6430}{55,21} + \frac{1043,26}{8,72} = 236,10 < 280 \text{ [Mpa]} \quad (2.68)$$

Verificação ao Estado Limite de Utilização (SLS)

Para a verificação ao SLS, as ações serão calculadas sem os respetivos coeficientes de segurança, então:

- $q_{v,t} = 797,34 \cdot 2 \cdot 1,2 = 1913,62 \text{ [N/m]}$
- $q_{p,paineis} = 101,6 \cdot 2 = 203,2 \text{ [N/m]}$
- $q_{p,madre} = 7,69 \cdot 9,81 = 75,44 \text{ [N/m]}$

Define-se o deslocamento máximo admissível:

$$\delta_{mx} = \frac{L}{200} = \frac{5}{200} = 0,025 \quad (2.69)$$

$$\delta_{y,mx} = \frac{q_y \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_z} = \frac{(203,2 + 75,44) \cdot 5^4}{384 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 35,40 \cdot 10^{-8}} = 0,0061 \text{ [m]} \quad (2.70)$$

$$\delta_{z,mx} = \frac{q_z \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = \frac{1913,62 \cdot 5^4}{384 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 552,08 \cdot 10^{-8}} = 0,0027 \text{ [m]} \quad (2.71)$$

Assim, a madre "C200x55x3,0" verifica todas as condições ([UTILPERFIL .Lda](#)).

2.3.3 Cobertura

Para o dimensionamento da cobertura, pode verificar-se a ação de sobrecarga (ação de base), ação do vento e neve (ação variável) e a ação do peso dos painéis e das madres (ação permanentes). De acordo com o quadro NA-A12(B) do Anexo Nacional ([Comité Européu de Normalização \(2009a\)](#)), a ação do vento será majorados com um fator $\gamma_{Q,1} = 1,5$ e por $\psi_{0,vento} = 0,6$, a ação da neve por um fator $\gamma_{Q,1} = 1,5$ e por $\psi_{0,neve} = 0,5$, o peso dos painéis com um fator $\gamma_{Gj,sup} = 1,35$ e a sobrecarga com $\gamma_{Q,1} = 1,5$.

O valor da carga do vento, conforme utilizado nos cálculos anteriores, é de $797,34 [N/m^2]$, o valor de carga da neve é de $519,90 [N/m^2]$ e o de sobrecarga é de $400 [N/m^2]$. Da análise dos painéis escolhidas resultam um peso por área de $85,5 [N/m^2]$ e uma distância entre madres de $2,5 [m]$.

Inicialmente, será feito o cálculo das ações individualmente e, de seguida, decompor-se-ão as ações nas duas componentes y e z , devido à inclinação de 10° da cobertura.

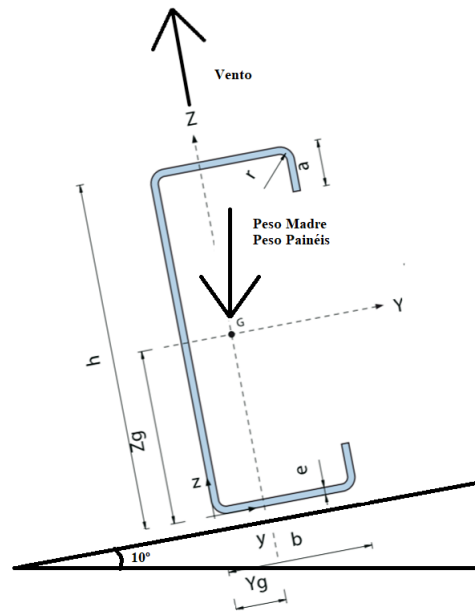


Figura 2.35: Esquema de cargas a serem aplicadas na madre da cobertura de inclinação 10° .

2.3.3.1 Sobrecarga

O valor de sobrecarga é dado por:

$$q_{sc} = 400 \cdot 1,5 = 1000 [N/m] \quad (2.72)$$

Decompondo as cargas nas duas componentes:

$$y : q_{sc,y} = 1000 \cdot \sin 10^\circ = 173,65 [N/m] \quad (2.73)$$

$$z : q_{sc,z} = 1000 \cdot \cos 10^\circ = 984,81 [N/m] \quad (2.74)$$

2.3.3.2 Neve

O valor de carga da neve é dado por:

$$q_n = 519,90 \cdot 2,5 = 1299,75 \text{ [N/m]} \quad (2.75)$$

Decompondo as cargas nas duas componentes:

$$y : q_{sc,y} = 1299,75 \cdot \sin 10^\circ = 225,70 \text{ [N/m]} \quad (2.76)$$

$$z : q_{sc,z} = 1299,75 \cdot \cos 10^\circ = 1280,0 \text{ [N/m]} \quad (2.77)$$

2.3.3.3 Vento Transversal

Para o caso do vento transversal à pressão, o valor do coeficiente de pressão correspondente ao pior caso é $c_p = +0,18$, portanto:

$$z : q_{vz,t} = 797,34 \cdot 0,18 \cdot 2,5 = 358,80 \text{ [N/m]} \quad (2.78)$$

2.3.3.4 Peso dos Painéis

O peso do painel escolhido, já referido acima, é de $85,5 \text{ [N/m}^2\text{]}$, como tal:

$$q_p = 85,5 \cdot 2,5 = 213,75 \text{ [N/m]} \quad (2.79)$$

Decompondo as cargas nas duas componentes:

$$y : q_{p,y} = 213,75 \cdot \sin 10^\circ = 37,12 \text{ [N/m]} \quad (2.80)$$

$$z : q_{p,z} = 213,75 \cdot \cos 10^\circ = 210,5 \text{ [N/m]} \quad (2.81)$$

2.3.3.5 Somatório das Cargas

Agora teremos de fazer um somatório de todas as cargas a actuar na cobertura e multiplicar pelo respectivo coeficiente de segurança.

Como já foi referido anteriormente, os coeficientes de segurança são:

- Sobrecarga: $\gamma_{Q,1} = 1,5$
- Peso dos Painéis: $\gamma_{Gj,sup} = 1,35$
- Ação da Neve: $\gamma_{Q,1} = 1,5$ e $\psi_{0,vento} = 0,5$
- Ação do Vento: $\gamma_{Q,1} = 1,5$ e $\psi_{0,vento} = 0,6$

Decompondo as cargas nas duas componentes:

$$y : q_y = 37,12 \cdot 1,35 + 225,7 \cdot 1,5 \cdot 0,6 + 173,65 \cdot 1,5 = 513,717 \text{ [N/m]} \quad (2.82)$$

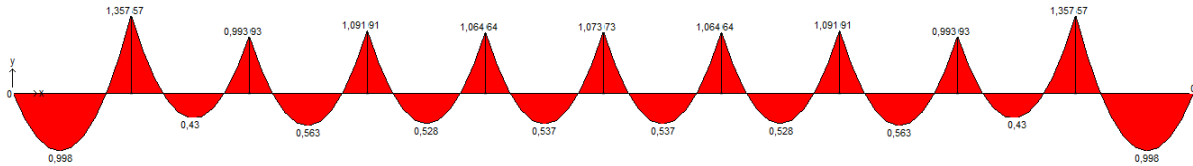


Figura 2.36: Esquema da carga aplicada segundo o eixo yy e diagrama de momentos fletores em zz (Multiframe).

Sendo o momento fletor máximo:

$$M_{mx,z} = 1357,0 \text{ [Nm]} \quad (2.83)$$

$$z : q_z = 210,5 \cdot 1,35 + 358,80 \cdot 1,5 \cdot 0,6 + 1280,0 \cdot 1,5 \cdot 0,5 + 984,81 \cdot 1,5 = 3044,31 \text{ [N/m]} \quad (2.84)$$

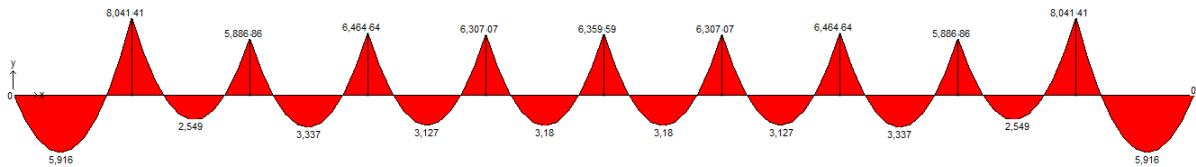


Figura 2.37: Esquema da carga aplicada segundo o eixo zz e diagrama de momentos fletores em yy (Multiframe).

Sendo o momento fletor máximo:

$$M_{mx,y} = 8041,0 \text{ [Nm]} \quad (2.85)$$

2.3.3.6 Dimensionamento da Madre

A partir dos momentos fletores obtidos anteriormente, temos o $M_y = 8041 \text{ [Nm]}$ e $M_z = 1357 \text{ [Nm]}$.

$$\sigma_{ced} = \frac{M_y}{W_y} \Rightarrow W_y = \frac{8041}{280} = 28,72 \text{ [cm}^3\text{]} \quad (2.86)$$

O perfil escolhido, após algumas iterações, foi o "C200x70x3.0" (UTILPERFIL .Lda).

PERFIL	Dimensões					A (cm ²)	P (Kg/m)	Centro de Gravidade		Relação Y-Y			Relação Z-Z		
	h (mm)	B (mm)	a (mm)	e (mm)	r (mm)			Y _g (cm)	Z _g (cm)	I _y (cm ⁴)	W _y (cm ³)	i _y (cm)	I _z (cm ⁴)	W _z (cm ³)	i _z (cm)
C200x70x3.0	200	70	18	3,0	3,0	10,69	8,39	1,96	10,00	639,41	63,94	7,73	64,45	12,79	2,46

Figura 2.38: Propriedades do perfil escolhido para as madres da cobertura (UTILPERFIL .Lda).

O peso exercido pela madre é de:

$$q_m = 8,39 \cdot 9,81 \cdot 1,35 = 111,11 \text{ [N/m]} \quad (2.87)$$

Decompondo as cargas nas duas componentes:

$$y : q_m = 111,11 \cdot \sin 10^\circ = 19,29 \text{ [N/m]} \quad (2.88)$$

$$z : q_m = 111,11 \cdot \cos 10^\circ = 109,42 \text{ [N/m]} \quad (2.89)$$

Os momentos fletores correspondentes são:

$$y : M_f = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{109,42 \cdot 5^2}{8} = 341,95 \text{ [Nm]} \quad (2.90)$$

$$z : M_f = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{19,29 \cdot 5^2}{8} = 60,30 \text{ [Nm]} \quad (2.91)$$

Assim, os momentos fletores finais são:

- Em y: $M_f = 8041 + 341,95 = 8481,95 \text{ [Nm]}$
- Em z: $M_f = 1357 + 60,30 = 1417,30 \text{ [Nm]}$

Verificação ao Estado Limite Último (ULS)

Faz-se a verificação ao ULS, na qual, estando perante um caso de flexão desviada, deve ser verificada a seguinte equação:

$$\sigma_{Sd} = \frac{M_y}{W_y} + \frac{M_z}{W_z} \leq \sigma_{Rd} \quad (2.92)$$

Assim,

$$\sigma_{Sd} = \frac{8481,95}{63,94} + \frac{1417,30}{12,79} = 241,92 < 280 \text{ [Mpa]} \quad (2.93)$$

Verificação ao Estado Limite de Utilização (SLS)

Para a verificação ao SLS as ações terão de ser calculadas sem os respetivos coeficientes de segurança, como tal:

- $q_y = 37,12 + 225,7 + 173,65 + \frac{19,29}{1,35} = 450,76 \text{ [N/m]}$

$$\bullet \quad q_z = 210 + 358,8 + 1280 + 984,81 + \frac{109,42}{1,35} = 2914,67 \text{ [N/m]}$$

Define-se o deslocamento máximo admissível:

$$\delta_{mx} = \frac{L}{200} = \frac{5}{200} = 0.025 \quad (2.94)$$

$$\delta_{y,mx} = \frac{q_y \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_z} = \frac{450,76 \cdot 5^4}{384 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 64,45 \cdot 10^{-8}} = 0,0054 \text{ [m]} \quad (2.95)$$

$$\delta_{z,mx} = \frac{q_z \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = \frac{2914,67 \cdot 5^4}{384 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 639,41 \cdot 10^{-8}} = 0,004 \text{ [m]} \quad (2.96)$$

Conclui-se finalmente que a madre "C200x70x3,0" verifica todas as condições ([UTILPERFIL.Lda](#)).

Capítulo 3

Modelação da Estrutura

No presente capítulo pretende-se explorar as etapas que constituíram o processo de criação do modelo da estrutura para posterior dimensionamento e análise. De seguida apresentam-se as imagens do pavilhão totalmente modelado, visto de dois ângulos opostos, para mais fácil compreensão do capítulo.

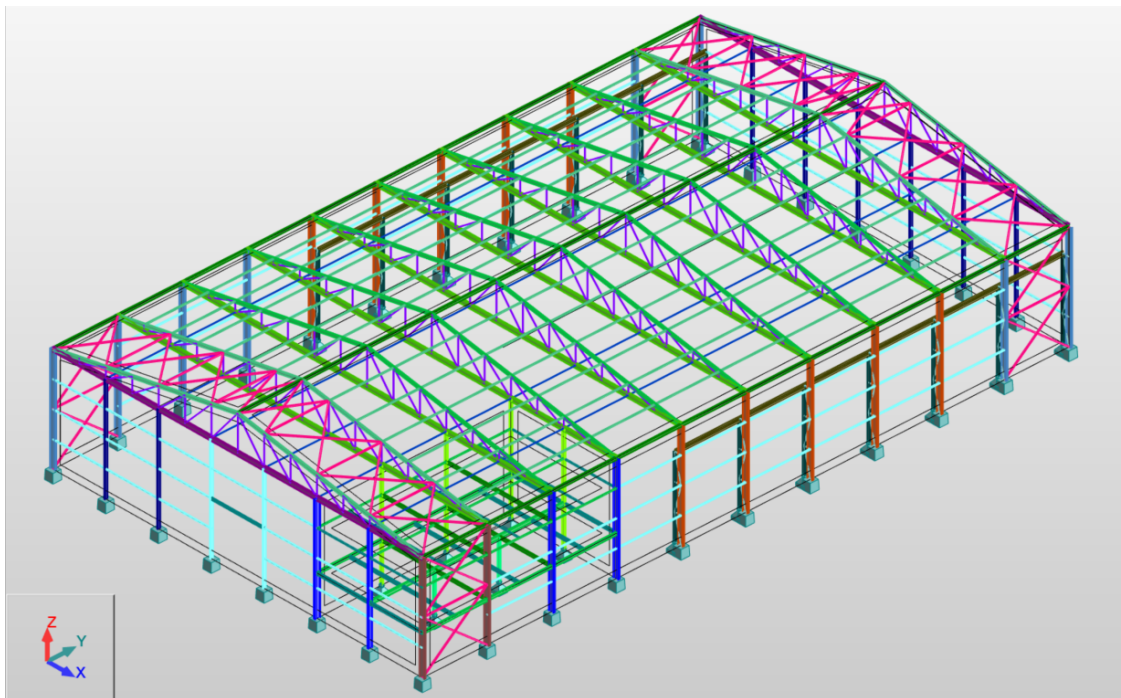


Figura 3.1: Vista frontal do pavilhão totalmente modelado.

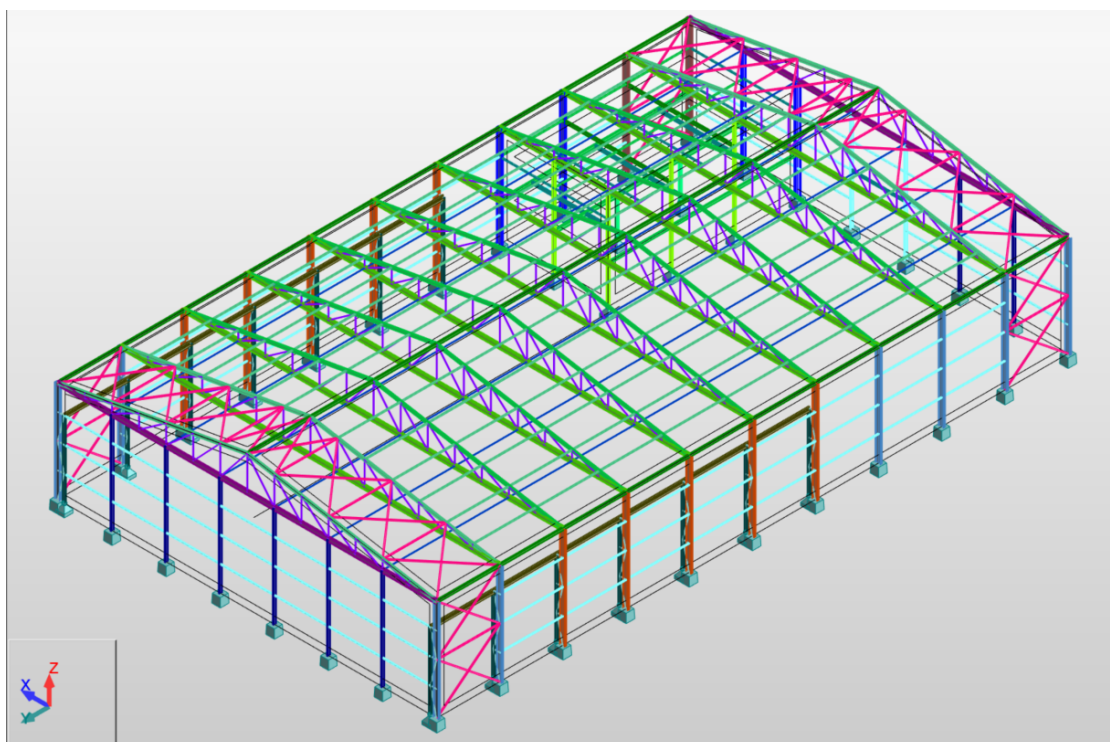


Figura 3.2: Vista das traseiras do pavilhão totalmente modelado.

Ao utilizar um *software* como o *Robot* a modelação é uma das, senão a parte mais importante do dimensionamento de qualquer estrutura. Isto deve-se ao facto de que é precisamente nesta fase que se inserem a maior quantidade de erros que posteriormente vão introduzir falhas no cálculo estrutural, podendo induzir o utilizador em erro ou, no melhor caso, dimensionar a estrutura de uma forma pouco otimizada. Tudo isto é evitável criando um modelo de uma forma concisa, e tendo atenção a vários aspetos que são de seguida descritos. É importante referir que foi adotado como material para todas as barras do modelo o aço de construção S275 por ser um material referência no projeto de estruturas metálicas, e um dos mais utilizados na indústria.

3.1 Estrutura Principal

Começa-se então pelo pórtico, que é a estrutura principal do pavilhão, tendo em atenção que se deve iniciar-se a modelação a duas dimensões, por forma a que seja menos propícia à introdução de erros.

3.1.1 Eixos Estruturais

A primeira etapa da modelação de qualquer estrutura no *Robot* é a criação de eixos estruturais (*Structural Axis*), cuja função é delimitar a localização das barras e os respetivos nós. De seguida apresentam-se as etapas da criação dos mesmos:

Estes eixos são criados através do comando *Structural Axis* e, no caso em específico foram criados eixos verticais e horizontais. Para os verticais, teve-se em atenção a distância entre os montantes da asna, e sendo que esta é uma medida que se repete ao longo do vão do mesmo, pode utilizar-se a função de repetição, representada na figura seguinte:

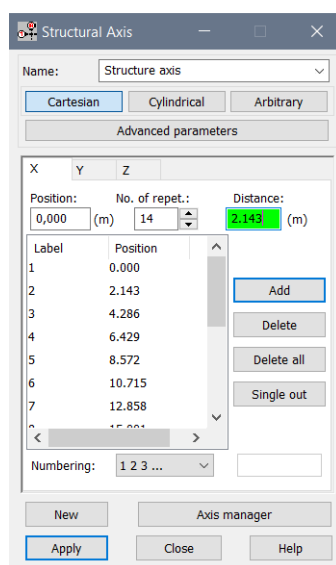


Figura 3.3: Caixa de comandos para a criação dos eixos estruturais verticais.

Para os eixos verticais foi só necessário introduzir as medidas corretas dos pontos de aplicação das madres e da cumieira:

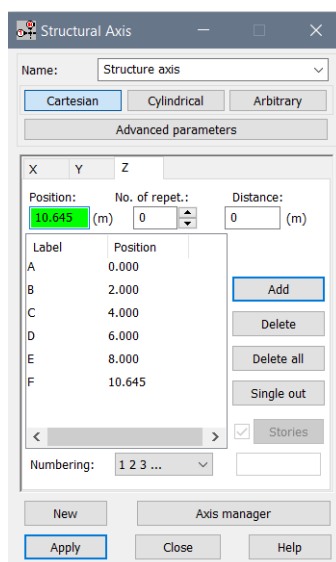


Figura 3.4: Caixa de comandos para a criação dos eixos estruturais horizontais.

Assim, delimitados todos os eixos, os nós nos seus cruzamentos permitem desenhar as barras. Para tal, abre-se a respetiva caixa de comandos que permite desenhar as barras através das suas coordenadas, ou apenas unindo dois pontos no desenho em si:

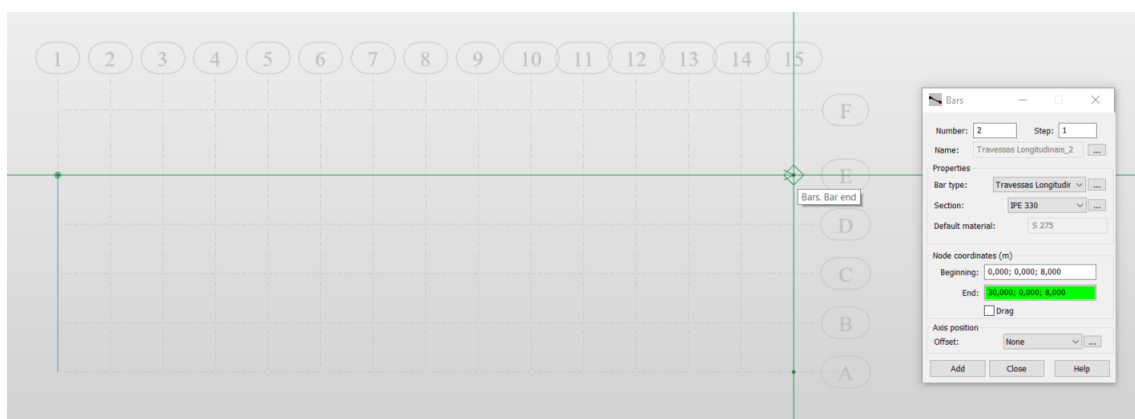


Figura 3.5: Representação do desenho de uma barra através da ligação dos nós definidos pelos eixos estruturais.

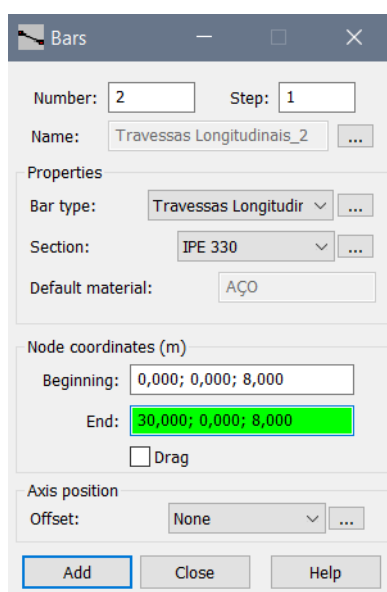


Figura 3.6: Ampliação da caixa de diálogo da Figura 3.5.

De notar que a caixa de comandos apresenta vários parâmetros relativos à barra a ser desenhada que serão definidos posteriormente como a secção, o material e o tipo do elemento (*Bar type*). De notar também que a opção *Drag* permite desenharr várias barras consecutivas que possuam nós em comum, sendo por isso útil para a modelação dos montantes e das diagonais da asna. Finalizada a criação das barras que constituem o pórtico, tem-se o seguinte modelo.

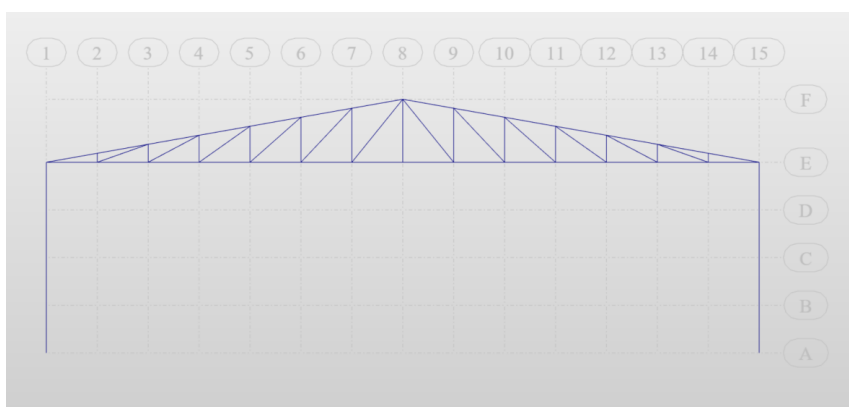


Figura 3.7: Representação dos eixos estruturais no pórtico da estrutural principal.

3.1.2 Tipos de Barras

A definição dos tipos de barras (*Member Types*) é uma das ferramentas principais para um modelo eficiente e fiabilidade de cálculo, e que deve ser definida logo desde o princípio da modelação. Este comando permite definir as considerações de encurvadura de cada barra, agrupando-as assim com base nesse parâmetro.

A título de exemplo, os pilares do pórtico, dependendo de qual se trata, terão considerações diferentes de encurvadura: um pilar que apenas suporte a cobertura tem pontos de apoio à encurvadura em y, em z e lateral diferentes de um pórtico que para além de suportar a estrutura da cobertura também suporta as vigas do pavimento da zona de escritório e os contraventamentos. Precisamente por este motivo é provável que a solução construtiva se vá ajustando até ao final do dimensionamento e que, por conseguinte, os parâmetros dos tipos de barras se vejam alterados.

Avaliando o caso da travessa longitudinal, e considerando que o pórtico em modelação na presente secção é o da fachada principal, este elemento encontra-se travado à encurvadura em yy pelos montantes da asna e pelos pilares da fachada de empena. Como os montantes representam um maior número de travamentos do que os pilares de empena, e em todos os pontos que a travessa se encontra travada pelos mesmos, também está travada pelos montantes, foram considerados os montantes para o travamento em yy. À encurvadura em zz, os travamentos são feitos pelos tirantes que ligam os pórticos ao nível das travessas longitudinais, a cada dois nós onde se encontram os montantes da asna, os mesmos que ligam aos pilares da empena neste pórtico. À encurvadura lateral, o banzo superior estará travado pelos montantes da asna, e o inferior pelos pilares da fachada de empena. Executando o comando *Code Parameters* abre-se a caixa de diálogo que expõe todos os tipos de barras definidos. Para o caso da travessa em estudo, a tipologia atribuída é a de "Travessas Longitudinais Topo", que serão as travessas do primeiro e último pórtico (cota y = 0 [m] e cota y = 50 [m] respetivamente), as únicas que apenas para além dos travamentos da asna e dos tirantes possuem também o travamento pelos pilares da empena. De seguida exemplifica-se a definição do tipo de barra para as travessas mencionadas:

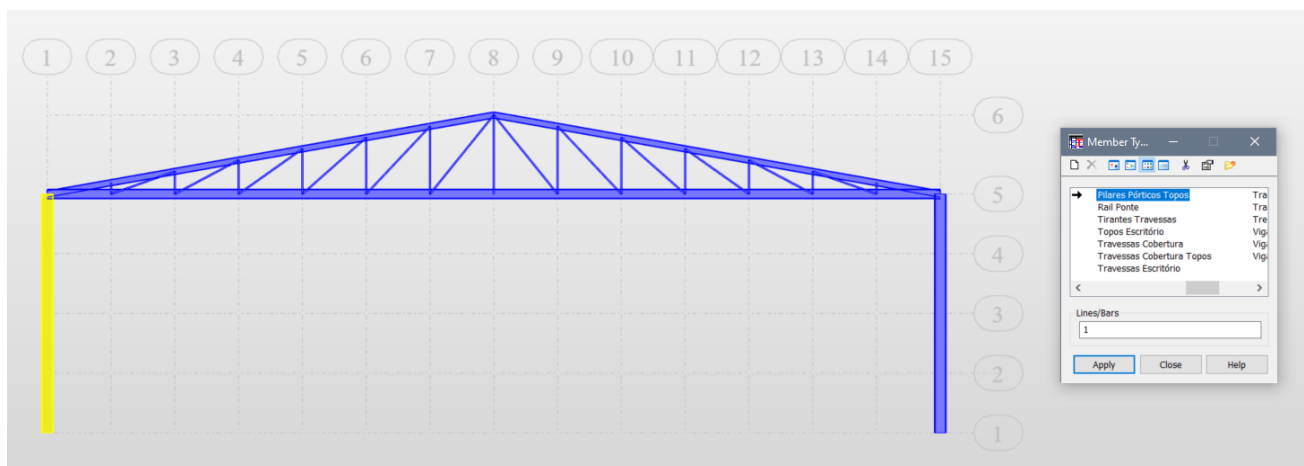


Figura 3.8: Caixa de diálogo para seleção do tipo de barra a utilizar ou editar.

A caixa de diálogo que se abre depois de seleccionar o tipo de elemento descreve os comprimentos de encurvadura utilizados em y e em z, bem como os travamentos dos banzos superiores e inferiores para a encurvadura lateral.

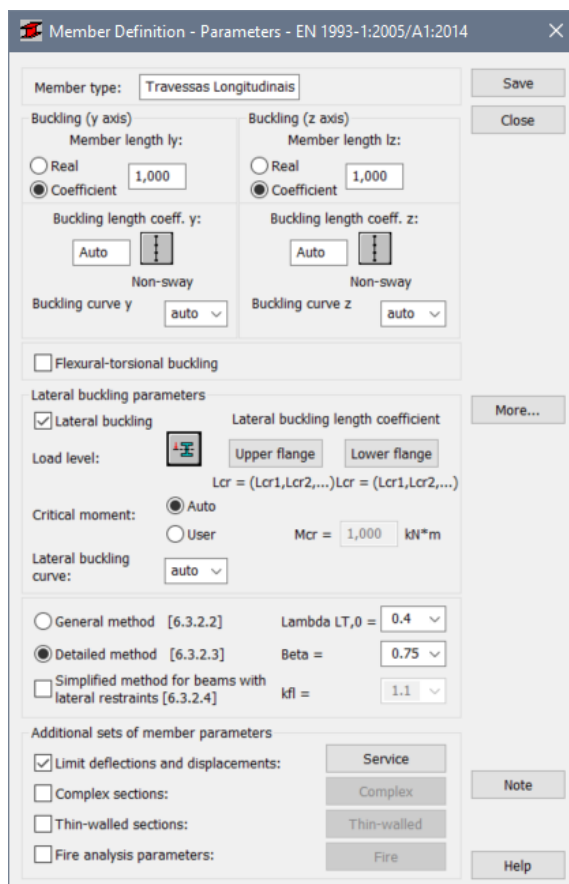


Figura 3.9: Caixa de diálogo para definição dos parâmetros do tipo de barra seleccionado.

Para a travessa em estudo, tendo em conta os travamentos referidos acima, abre-se a caixa de diálogo referente aos comprimentos de encurvadura em z :

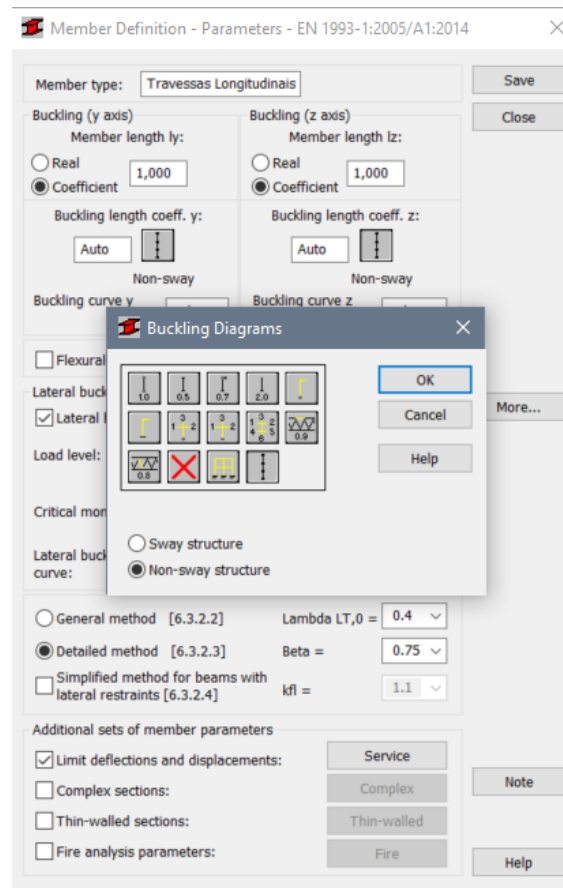


Figura 3.10: Caixa de diálogo para definição dos comprimentos de encurvadura em z .

Neste caso, e com o objetivo de expor as capacidades do programa, selecionou-se a última opção, a que permite definir os travamentos de uma forma mais pormenorizada e personalizada. A caixa de diálogo que se abre é a seguinte.

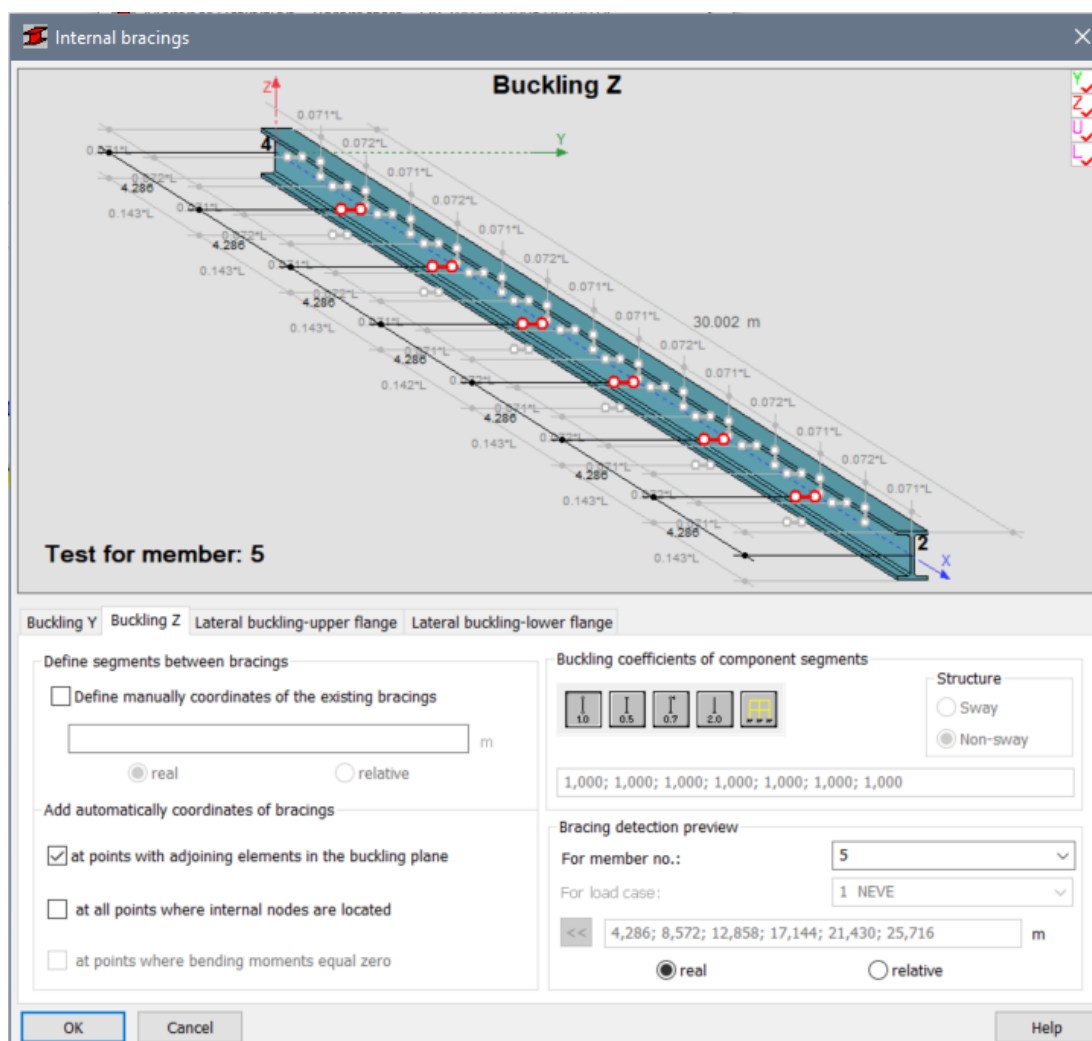


Figura 3.11: Caixa de diálogo referente aos travamentos à encurvadura em zz.

Aqui, seleccionando o separador da direção de encurvadura que se pretende analisar, é possível introduzir manualmente as coordenadas dos nós onde existe travamento (*"Define manually coordinates of the existing bracings"*), mas também escolher o elemento que está a ser utilizado (visível no canto inferior direito *"Bracing detection preview"*), e o *software* analisa-o e encontra os nós onde este tem elementos adjacentes, onde existem nós internos, ou onde os momentos são iguais a zero. Neste caso, seleccionando a primeira das opções automáticas (*"at points with adjoining elements in the buckling plane"*), são identificados os tirantes, nos respetivos nós, conforme supra-mencionado. As funções são as mesmas para os restantes separadores, referentes aos travamentos à encurvadura em yy, e dos banzos superior e inferior relativamente à encurvadura lateral, os quais se apresentam abaixo.

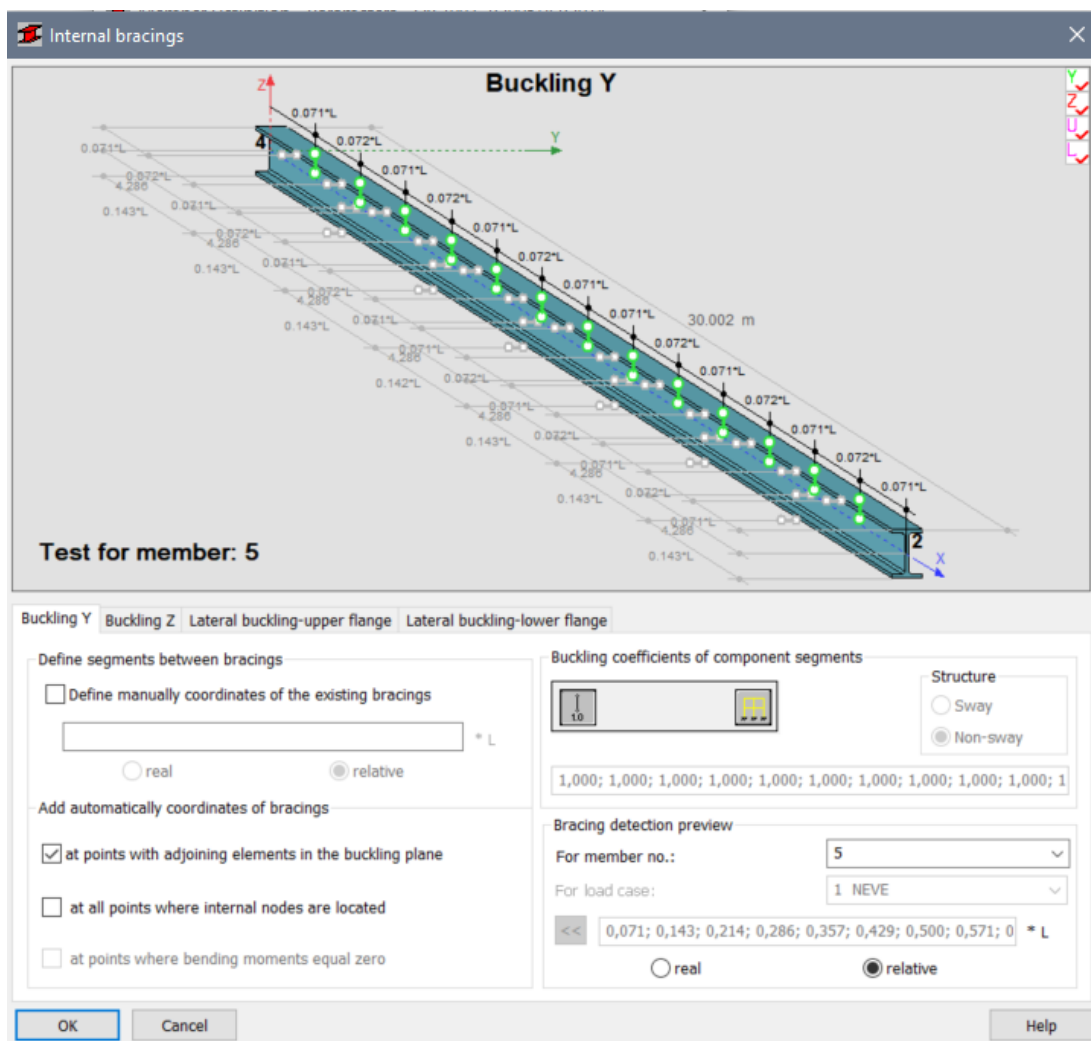


Figura 3.12: Caixa de diálogo referente aos travamentos à encurvadura em yy.

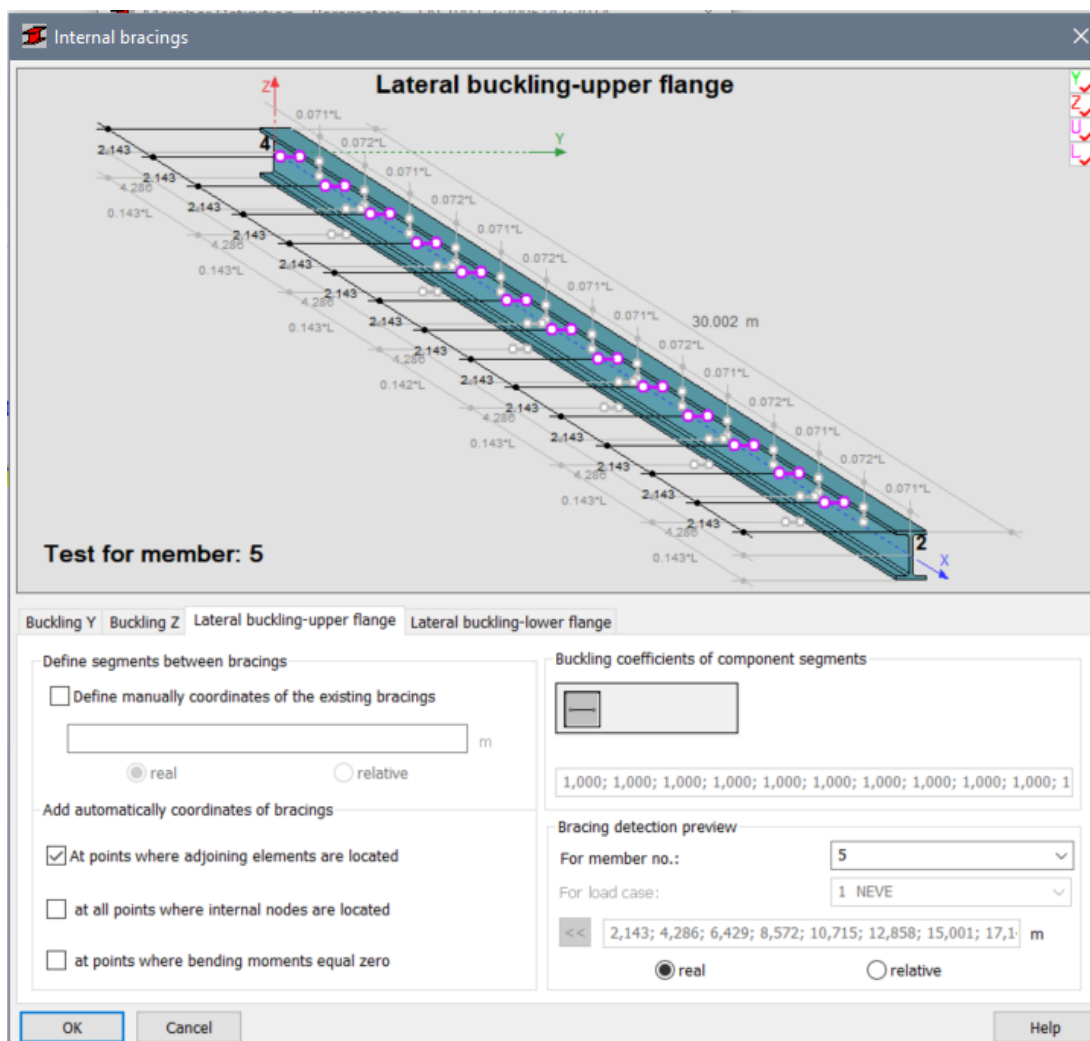


Figura 3.13: Caixa de diálogo referente aos travamentos do banzo superior à encurvadura lateral.

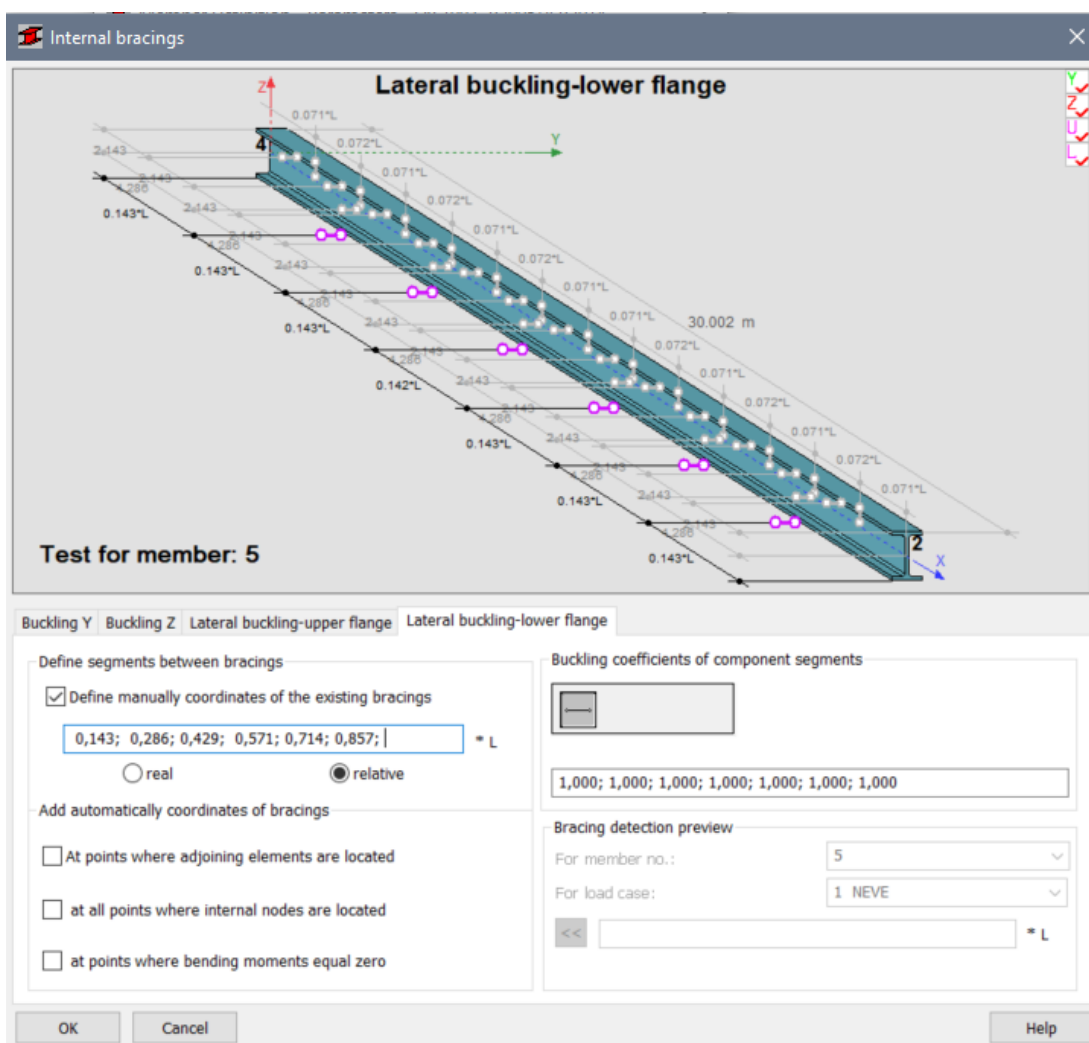


Figura 3.14: Caixa de diálogo referente aos travamentos do banzo inferior à encurvadura lateral.

De notar que, para a definição dos travamentos do banzo inferior à encurvadura lateral, o *software*, pelo facto já mencionado de ligar as barras pelos seus centros, por vezes encontra dificuldades em discernir as ligações de barras com os banzos inferior ou superior, pelo que foi adotada a estratégia da inserção manual das coordenadas (neste caso relativas) dos nós onde efetivamente a travessa está ligada com os pilares da fachada de empena.

Adicionalmente, na função dos tipo de barra, é possível a definição dos comprimentos para análise dos deslocamentos ao Estado Limite de Utilização (SLS, *Service Limite State*), os quais estão definidos no Anexo Nacional do EC3-1, através do botão *Service*, cuja caixa de diálogo se apresenta de seguida (Comité Européen de Normalização (1993)). Estes comprimentos foram definidos para os vários tipos de barra por todo o pavilhão de acordo com a fonte citada, adotando os seguinte valores:

- Pilares - $L/300$.

- Elementos da cobertura - $L/200$.
- Pavimento dos Escritórios - $L/250$.
- Outras situações em que a flecha máxima possa afetar o aspeto do edifício - $L/250$.

Neste caso específico, indica que se deve adotar $L/200$ para deslocamentos globais nos dois eixos.

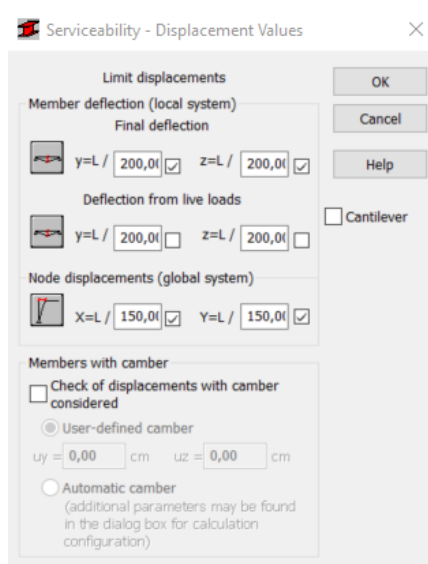


Figura 3.15: Caixa de diálogo referente ao Estado Limite de Serviço.

Depois de definidos os tipos de barras de todos os elementos constituintes do pórtico principal, marcando-os com cores distintas em *Display - Mark with colors - by Member Types*, e habilitando a opção de vista das secções para uma visualização mais realista, obtém-se o seguinte:

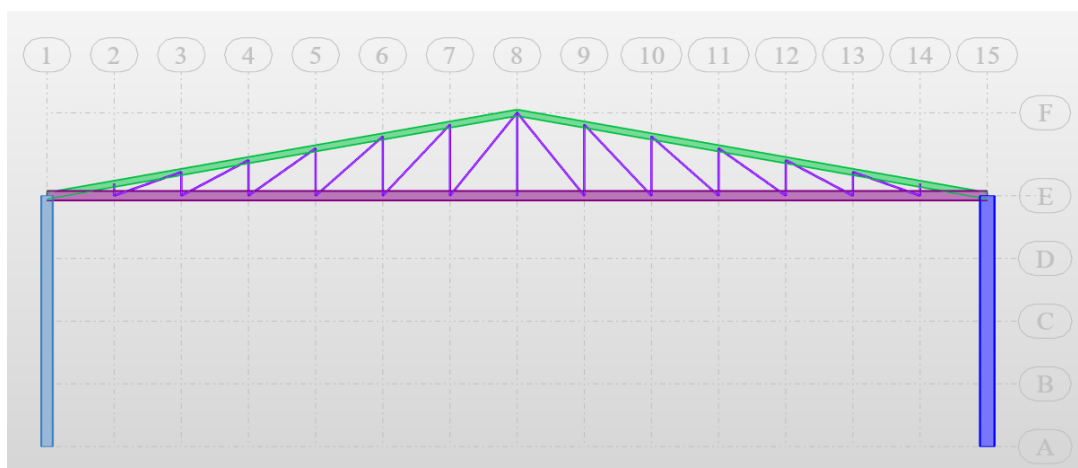


Figura 3.16: Representação final do pórtico da estrutural principal.

De notar que, como se observa na Figura 3.19, foi habilitada a vista das secções para uma percepção mais realista e que, as secções estão ligadas consoante o seu eixo, ou seja, centros com

centros. Isto é a predefinição do *Robot* e neste caso, não se afasta muito da realidade, mas noutros casos em que a ligação não é feita segundo os eixos centrais das secções, optou-se por se fazer, mesmo assim, a representação segundo a predefinição, devido a erros de modelação que daí podem advir que, como já foi mencionado, podem ter um peso negativo na fiabilidade da análise estrutural por parte do *software*.

3.1.2.1 Replicação do Pórtico

Depois de criado o pórtico principal, e sendo esta a única estrutura que se repete ao longo de todo o pavilhão, é necessário agora replicá-la de 5 em 5 metros até perfazer os 50 [m] de comprimento da estrutura (segundo *yy*). Assim, o processo executado é um simples *copy-paste*, com os comandos usuais *ctrl+c* - *ctrl+v*. Ao executar o comando de colagem, apresenta-se na caixa de diálogo, entre outros parâmetros, o ponto de origem escolhido pelo programa como referência do conjunto dos elementos seleccionados para serem copiados e, logo abaixo, o ponto de referência onde é pretendido que seja colado.

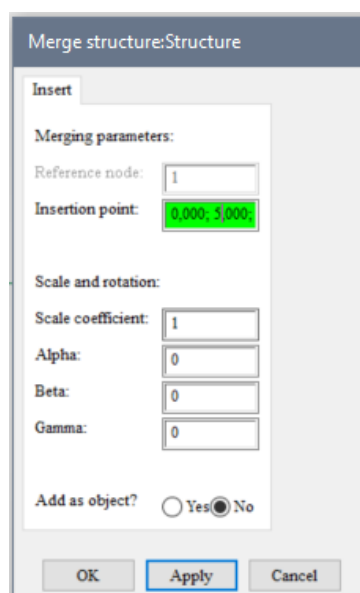


Figura 3.17: Caixa de diálogo da cópia e colagem de elementos.

Posto isto, repete-se este comando, afastando os pórticos por 5 metros até perfazer os 50 metros de comprimento do pavilhão. Depois de designados os tipos de barras correspondentes, atribuindo cores e as formas das secções, tem-se uma primeira vista do pavilhão em todo o seu atravancamento.

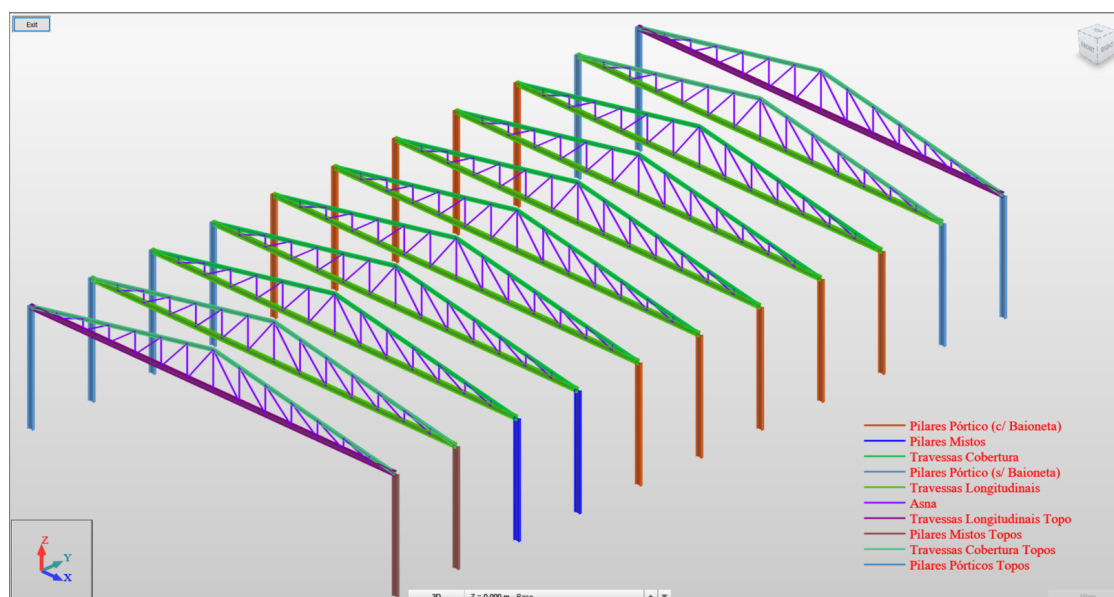


Figura 3.18: Representação de todos os pórticos da estrutural principal e os respetivos tipos de barras.

3.1.3 Vigas Longitudinais

Nesta fase, é necessário conectar os pórticos através de vigas nas extremidades da cobertura do pavilhão e na sua cumieira. Assim, criam-se as referidas barras, definidas com o seu próprio *member type*, no qual está previsto que sejam simplesmente apoiadas, e que não tenham travamentos internos. Esta consideração traduz-se em comprimentos de encurvadura iguais ao seu comprimento total.

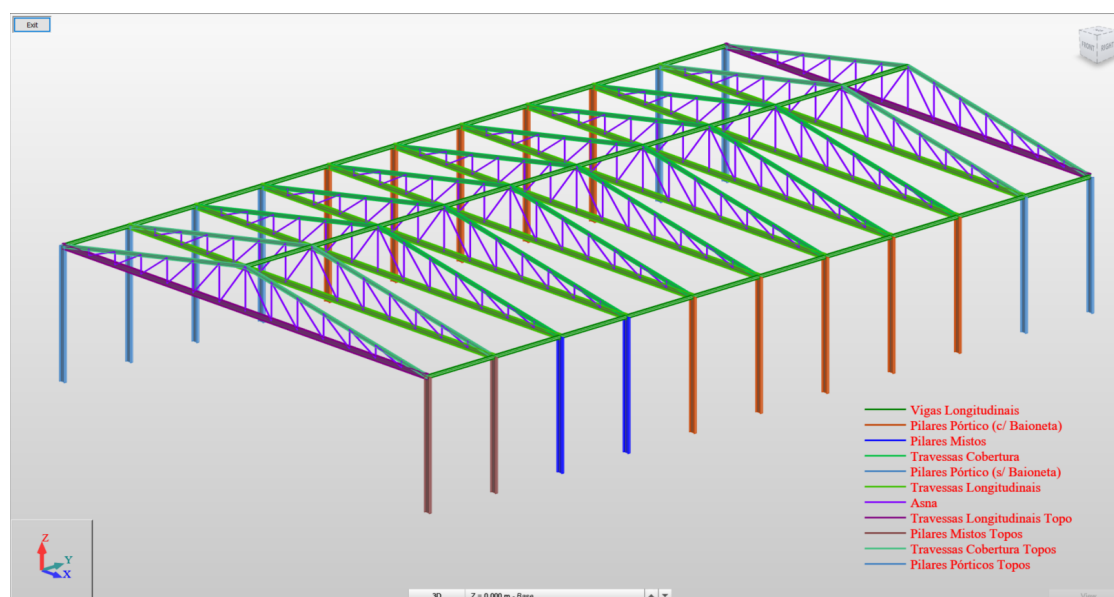


Figura 3.19: Representação da estrutura principal adicionando as vigas longitudinais de ligação entre os pórticos.

3.1.4 Pilares da Fachada de Empena

Os pilares das fachadas de empena, para além de servirem para apoio das madres para colocação de revestimentos, são um elemento estrutural muito importante para a estabilidade da estrutura quando sob o efeito das cargas do vento, especialmente na direção do eixo do x.

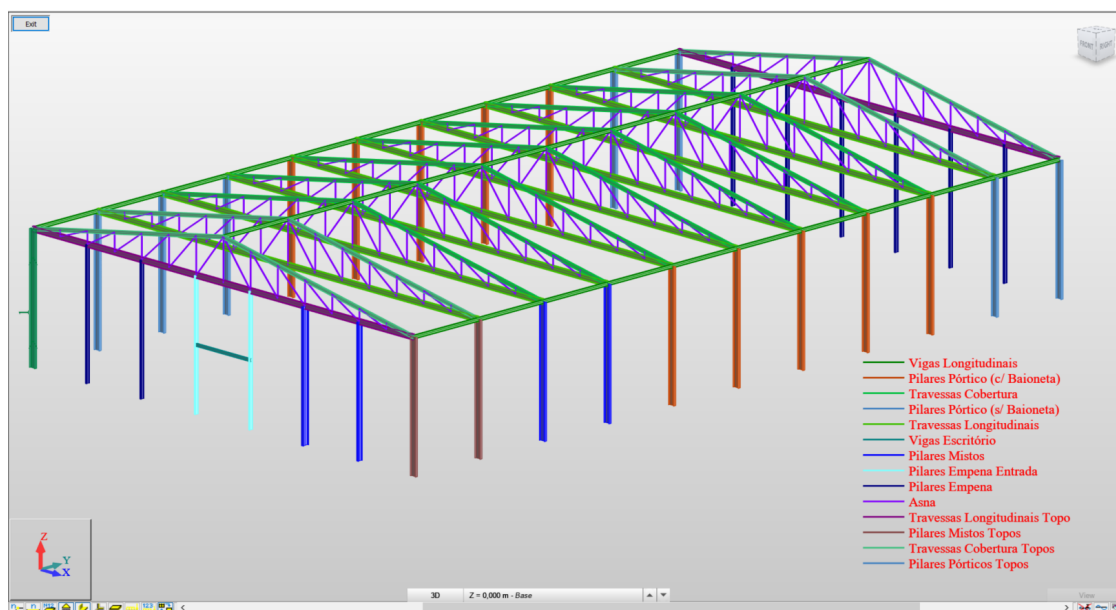


Figura 3.20: Representação da estrutura principal adicionando os pilares das fachadas de empena.

De notar que, na fachada principal existem três tipos de barra (são visíveis 3 cores na figura 3.20), sendo que o tipo dos dois pilares mais à esquerda, que é o mesmo que todos os pilares da fachada de empena das traseiras do pavilhão, não considera travamentos internos; os dois pilares que perfazem a entrada do pavilhão possuem travamento a meio vão devido à viga que servirá de apoio para aplicação do portão de entrada; os pilares da direita (Pilares Mistos) que consideram travamentos nos locais de ligação com as vigas do pavimento e da cobertura dos escritórios, o que será abordado mais em detalhe posteriormente.

3.1.5 Tirantes

A colocação dos tirantes a conectar as travessas longitudinais é uma solução usada para prevenir a deflexão excessiva das mesmas no sentido do eixo y. Como tal, estes são considerados como travamentos da encurvadura em z das travessas longitudinais, e estão colocados nos nós onde já existem também travamentos à encurvadura em y.

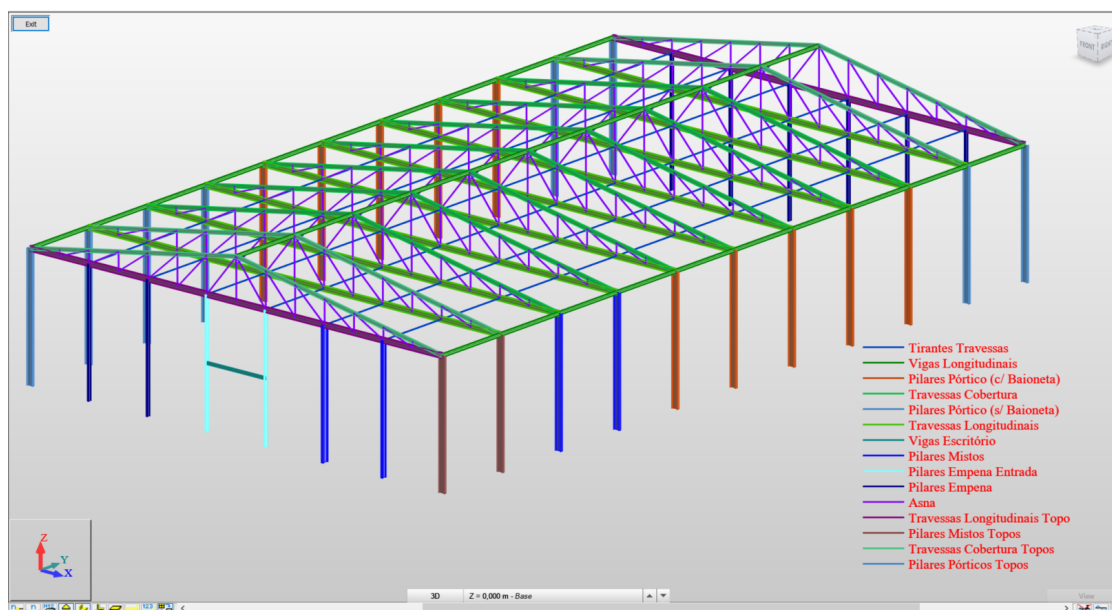


Figura 3.21: Representação da estrutura principal adicionando os tirantes.

3.1.6 Contraventamentos

O contraventamento de uma estrutura é essencial, e é usual fazer-se entre o primeiro e segundo, e o penúltimo e último pórtico. Neste caso, foi adotada esta convenção. Assim, e tendo estas barras sido consideradas como simplesmente apoiadas, que se reflete na consideração dos comprimentos de encurvadura no seu próprio tipo de barra, apresenta-se de seguida a estrutura com todos os elementos estruturais essenciais.

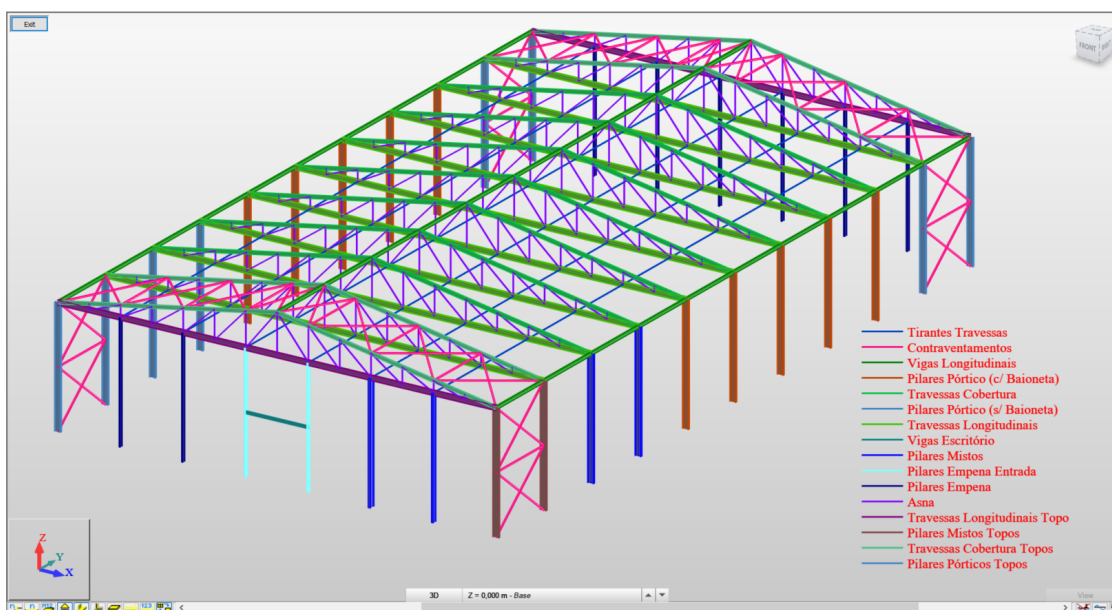


Figura 3.22: Representação de todos os pórticos da estrutural principal e os respetivos tipos de barras, adicionando os contraventamentos.

3.1.7 Madres

A modelação das madres foi deixada para o final por uma razão que afeta todo o modelo se não for tida em consideração desde logo: sobreposição de barras. O *Robot* não se compadece com a sobreposição de barras e, como já mencionado, estando estas ligadas sempre pelos seus centros, não é possível colocar as madres em todos os sítios onde elas efetivamente vão estar na realidade. No entanto, optou-se por modelá-las, ainda assim, em todos os restantes locais, quer na fachada, quer na cobertura. É importante referir que, mesmo estas não estando modeladas, é possível, como já foi visto na Secção 3.1.2, considerá-las como travamentos à encurvadura sempre que seja pretendido, tendo sempre nesses casos que inserir os nós manualmente.

Com efeito, na cobertura não foram modeladas as madres entre o primeiro e o segundo, e o penúltimo e o último pórticos, para não as sobrepor aos contraventamentos. Nas fachadas, estas não foram inseridas nos locais onde existem contraventamentos, vigas de pavimento, e cobertura da zona de escritórios, na zona aberta do portão. Na fachada de trás, as madres das extremidades foram consideradas a partir do pilar de "baioneta" e não do pilar do pórtico, para não se sobrepor às barras relativas à treliça destes mesmo pilares (Reis Gomes (2014)). A configuração destes pilares será abordada posteriormente na secção referente à ponte rolante (Secção 3.3).

Diga-se também que todas as madres foram consideradas simplesmente apoiadas, e foram modeladas de pórtico a pórtico, ao contrário do cálculo feito no Capítulo 2 para que não houvesse interferência com a estabilidade da estrutura e não fossem transmitidos demasiados esforços às mesmas.

Importante ainda referir que o *Robot* não possui perfis de chapa como os seleccionados para as madres nos cálculos analíticos do Capítulo 2. Ainda que exista a possibilidade de criar uma secção de raiz, as opções não são suficientes para que se consiga uma aproximação fidedigna aos perfis em "C" dimensionados. Posto isto, a secção adotada na modelação, para posterior cálculo que será abordado no Capítulo 5, foi a "TCAR 50x3.2", que é uma secção tubular quadrada. De seguida, apresentam-se então as madres modeladas.

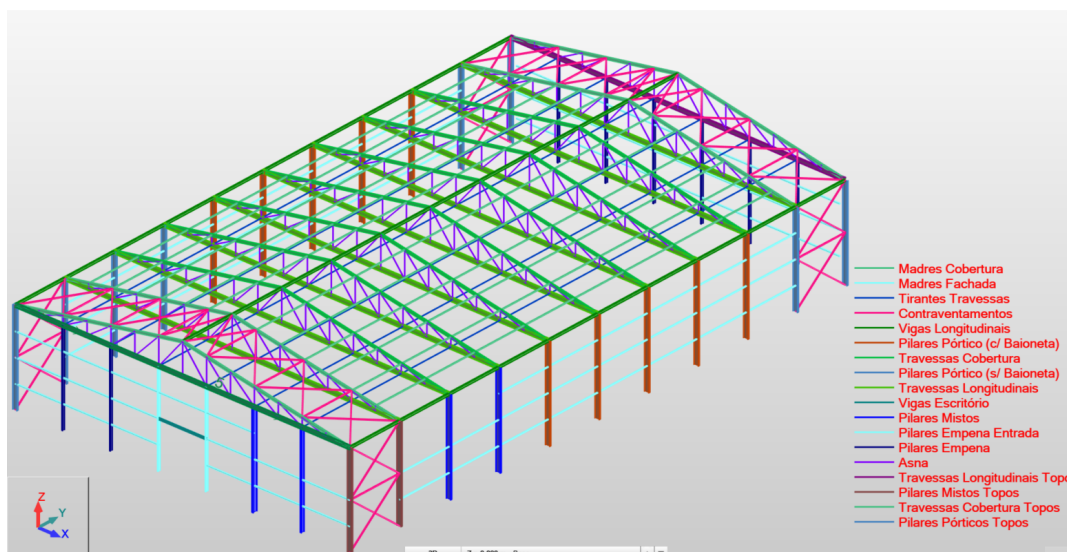


Figura 3.23: Representação de todos os pórticos da estrutural principal e os respetivos tipos de barras, incluindo as madres.

3.2 Zona de Escritórios

Um dos requisitos impostos ao dimensionamento é a criação de uma zona de escritórios que seria utilizada, numa visão realista, pela empresa a desempenhar funções no pavilhão. Esta zona estará implantada numa área de $8.572 \times 15[m]$ que se traduz na área, à entrada do pavilhão, mais à direita, com comprimento a terminar no quarto pórtico. O esquema da proposta de arquitetura da designada zona encontra-se no Anexo A. Para o efeito, utilizaram-se os pilares existentes como apoio estrutural aos escritórios, e criaram-se os novos pilares que delimitam a designada área.

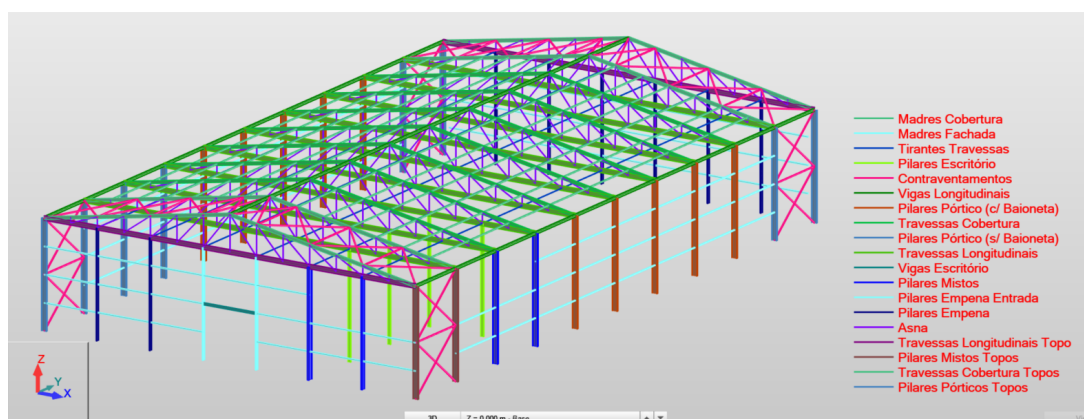


Figura 3.24: Representação da zona de escritórios inserida no pavilhão.

Consecutivamente, é necessário criar as travessas que suportarão o primeiro piso, e a cobertura, perfazendo os dois andares (rés-do-chão e primeiro andar). Escolheu-se colocar travessas ao longo da largura dos escritórios, a ligar os pilares às alturas respectivas: 3 metros para o primeiro piso, e 6 para a cobertura. Para além destes elementos, tendo em vista reforçar a estrutura para suportar as elevadas sobrecargas das zona destinadas a escritórios, o peso próprio da laje de pavimento do primeiro piso e das paredes divisórias, e a sobrecarga associada a zonas de arquivo e revestimentos (cargas abordadas no Capítulo 4), resolveu-se colocar, a meio vão das designadas travessas, dois pilares de apoio. Estes pilares terão de ser embutidos nas paredes internas do piso do rés-do-chão. Isolando então a zona de escritórios para mais fácil visualização da solução construtiva aplicada, apresenta-se a seguinte figura.

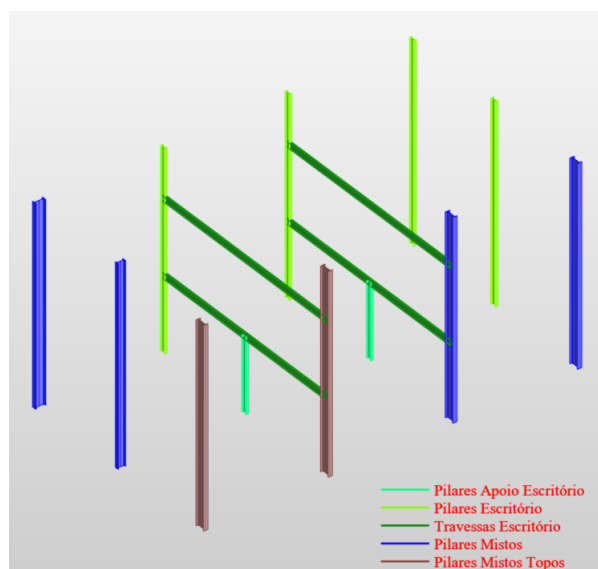


Figura 3.25: Representação isolada da zona dos escritórios com as travessas e pilares de apoio ao primeiro piso.

Relativamente ao tipo de barra associado com estas travessas, é visível que os pilares estão a

suportá-las a meio vão, o que faz com que exista travamento à encurvadura em y, e do banzo inferior à encurvadura lateral, considerações que foram aplicadas no respetivo tipo de barra. Quanto aos pilares de apoio às referidas travessas, o seu comprimento de encurvadura é total, no entanto o tipo de apoio na laje e de ligação aos elementos supra mencionados terão influência, o que será abordado adiante.

Posteriormente, foi necessário colocar as vigas laterais de suporte do pavimento e de ligação entre pilares, representadas de seguida:

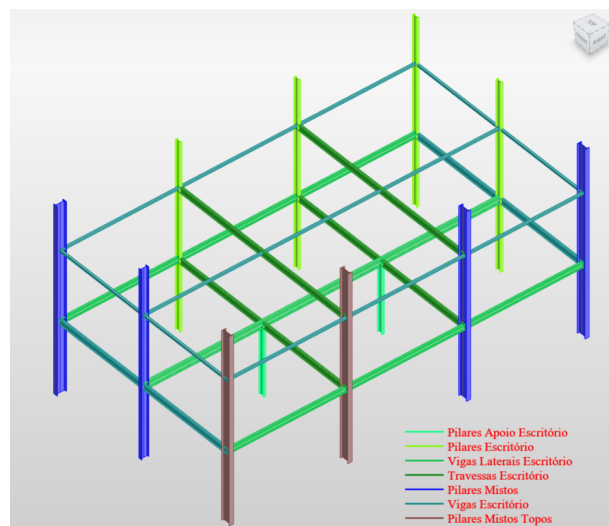


Figura 3.26: Representação isolada da zona dos escritórios com as travessas, pilares de apoio ao primeiro piso, e vigas laterais.

Por último, depois de estudada a solução construtiva da laje do primeiro piso, conclui-se que o vão existente entre travessas e as vigas laterais era demasiado longo para uma solução que fosse viável construtiva e economicamente. Como tal, optou-se por colocar vigas secundárias, entre as vigas centrais de ligação entre travessas e as vigas laterais que, devido à sua disposição, enquadram-se nos parâmetros de encurvadura das vigas laterais e portanto assumem o mesmo tipo de barra.

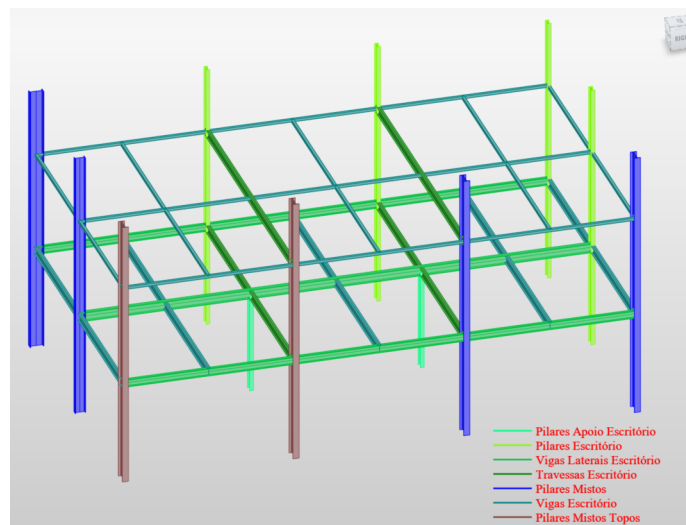


Figura 3.27: Representação isolada da zona dos escritórios com as travessas, pilares de apoio ao primeiro piso, e vigas laterais.

De notar que, na mesma lógica que no primeiro piso, também na cobertura se adicionaram as vigas secundárias, com uma secção menor devido à menor carga a que estão sujeitas, e assumindo o mesmo tipo de barra.

3.3 Ponte Rolante

O segundo grande objetivo deste dimensionamento era a adaptação da estrutura resistente principal para a colocação de uma ponte rolante com capacidade de 32 [ton]. A solução escolhida foi dada pela empresa "MBM - Metalúrgica Briosa Maceira" de uma ponte rolante "biviga" com a capacidade pretendida e com um vão máximo de 30 [m], que engloba o que será utilizado, de 29 [m]. A ficha técnica encontra-se no Anexo B MBM - Metalúrgica Briosa Maceira.

Depois de estudadas as soluções construtivas usuais para vários casos e magnitude de cargas, optou-se pela utilização dos designados pilares em "baioneta" (Reis Gomes (2014)). Esta estrutura consiste em dois pilares conectados entre si por barras articuladas em treliça, e são usadas para pontes de média e grande capacidade.

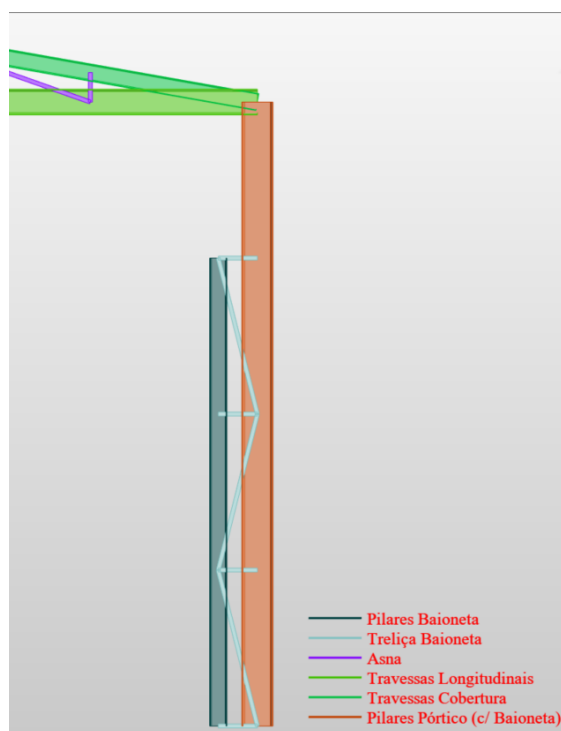


Figura 3.28: Representação isolada de um pilar com a configuração de "baioneta"(Reis Gomes (2014)).

Assim, nos pilares dos pórticos que delimitam a área de trabalho da ponte rolante, portanto, os pórticos que estão entre as cotas $y = 20 \text{ [m]}$ e $y = 50 \text{ [m]}$, foi aplicada a referida estrutura, que se representa de seguida.

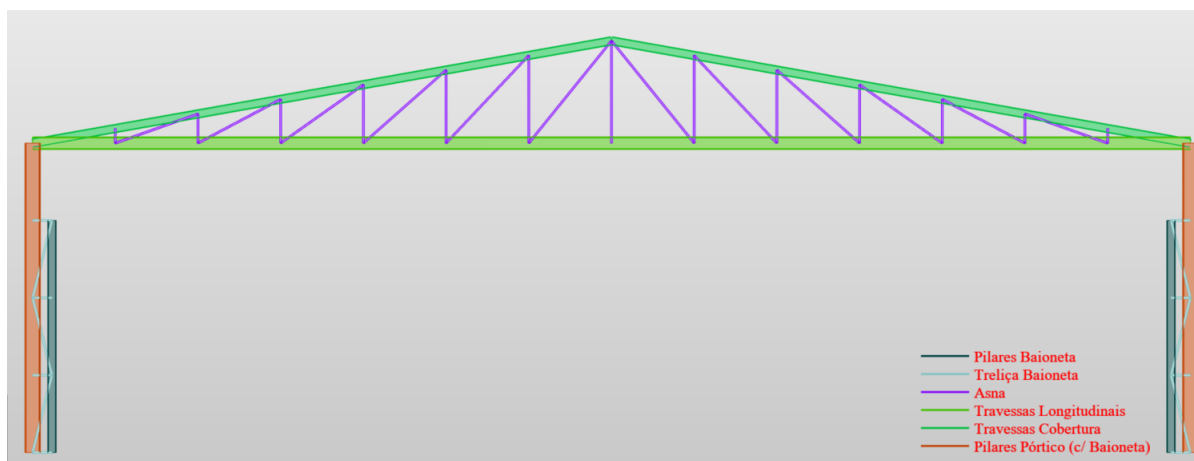


Figura 3.29: Representação isolada de um pórtico com aplicação da solução construtiva do pilar de "baioneta".

Por definição, a ponte rolante é uma estrutura que translada sobre carris. As vigas de suporte destes carris são compostas por uma secção geralmente em "I" ou "H", às quais são adicionados os carris nos banzos superiores, onde encaixam as rodas dos carros da ponte. A secção escolhida foi

a "IFBB265-70x70+HE 400 A", que consiste numa secção "HEA 400", com aplicação de carril em perfil quadrado de 70x70 [cm] como previsto pelo fabricante da ponte, por consulta do Anexo B (MBM - Metalurgica Briososa Maceira).

O *Robot* prevê a aplicação deste tipo de secção nas barras, pelo que foi então aplicada esta solução nos carris, um de cada lado da estrutura principal, apoiados em cima dos pilares de "baioneta".

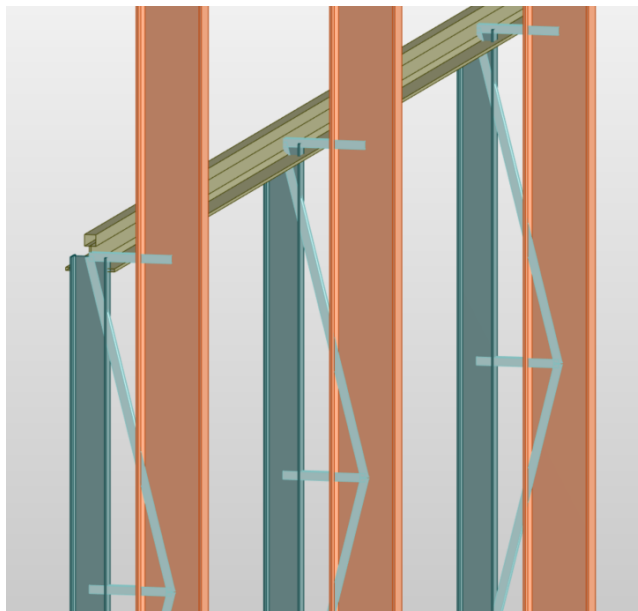


Figura 3.30: Representação detalhada do perfil do carril apoiado nos respetivos pórtico.

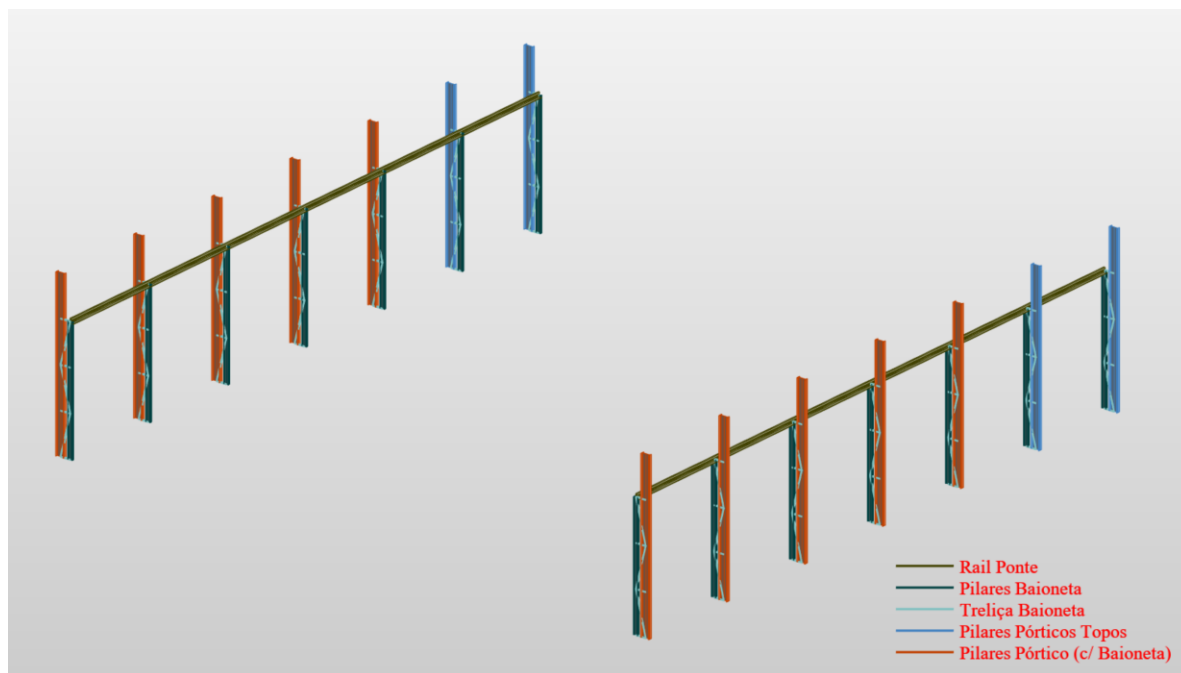


Figura 3.31: Representação isolada dos pilares de "baioneta" dos pórticos que delimitam a área de ação da ponte rolante.

Note-se ainda que, na definição do *member type* para estes carris, foram apenas considerados travamentos à encurvadura no eixo yy e do banzo inferior (encurvadura lateral) nos pontos de apoio nos pilares "em baioneta" ([Reis Gomes \(2014\)](#)).

Capítulo 4

Cargas

No presente capítulo, pretende-se apresentar de forma concisa de que modo e com que ferramentas foram inseridas as cargas na estrutura. Para inserção destas cargas, é necessária a criação de casos de carga, denominados *Load Types*, para depois ser possível criar as combinações desejadas. Os casos de carga criados no presente modelo foram os seguintes:

- NEVE - Cargas da neve;
- SOB - Sobrecarga;
- PP - Pesos próprios;
- TEMP - Cargas térmicas;
- SOB ESC - Sobrecargas da zona dos escritórios;
- PONTE ROLANTE - Carga móvel da ponte rolante;
- *Wind Simulation X+ 27 [m/s]* - Simulação automática das cargas do vento, segundo a direção positiva do eixo *xx* global;
- *Wind Simulation Y+ 27 [m/s]* - Simulação automática das cargas do vento, segundo a direção positiva do eixo *yy* global;
- *Wind Simulation X- 27 [m/s]* - Simulação automática das cargas do vento, segundo a direção negativa do eixo *xx* global;
- *Wind Simulation Y- 27 [m/s]* - Simulação automática das cargas do vento, segundo a direção negativa do eixo *yy* global;

4.1 Superfícies

Uma grande parte das cargas na estrutura atuam, na prática, sobre o revestimento da mesma no caso real, como são os exemplos das cargas da neve, do vento, a sobrecarga e o peso próprio do

revestimento. Para tal, o *Robot* prevê a utilização de superfícies, denominadas de *claddings*, que fazem de forma automática a distribuição de esforços aos elementos adjacentes, sendo possível definir quais os elementos que se querem analisar e em que direção (ou direções) se pretende que estas distribuam os esforços.

De um modo geral, estas superfícies são aplicadas nos locais onde existem tetos e paredes, como é o presente caso. Assim, utilizando o comando *claddings* (que permite definir as superfícies através das suas coordenadas ou desenhando no próprio modelo), foram aplicadas superfícies nas fachadas e na cobertura, bem como nas paredes, pavimento do primeiro piso e cobertura da zona de escritórios.

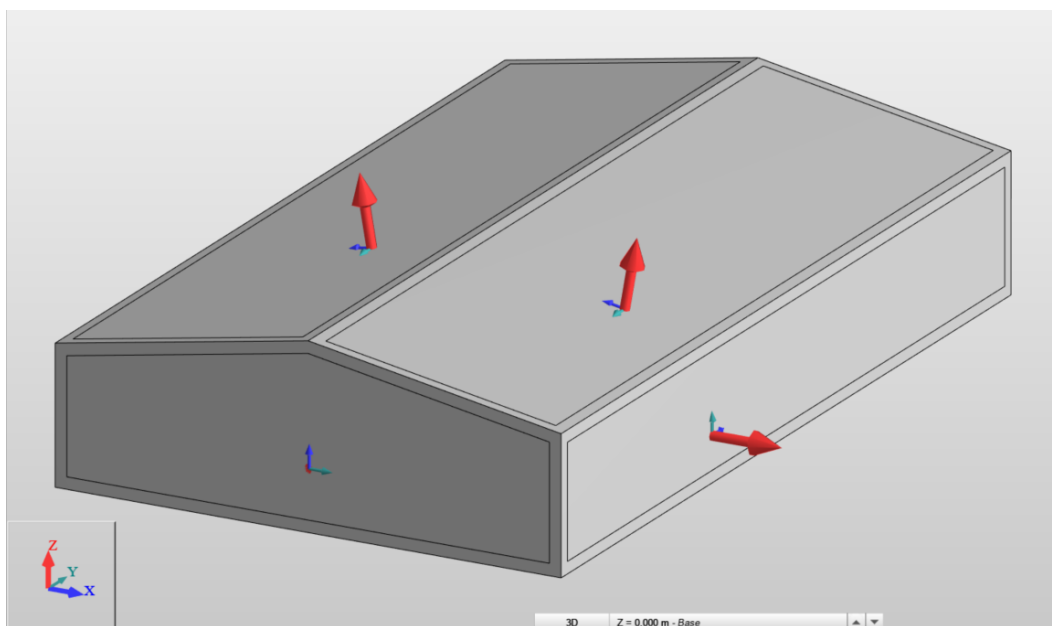


Figura 4.1: Representação da modelação das superfícies exteriores do pavilhão.

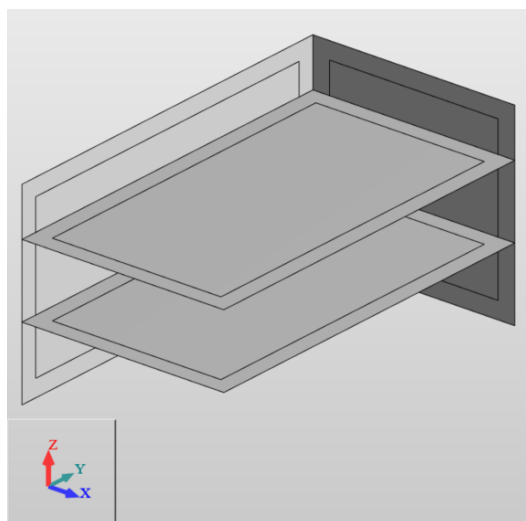


Figura 4.2: Representação da modelação das superfícies da zona de escritórios.

Considerando que as cargas exteriores são transmitidas pela superfície às madres, e por estas aos elementos exteriores da estrutura principal - pilares, pilares de empena e travessas de cobertura - resolveu-se fazer a distribuição das cargas no sentido destes elementos. O *software* dispõe, nas definições das superfícies, a opção de escolher distribuir esforços nas duas direções (eixo xx e eixo yy), só na direção do eixo xx ("One-way X") ou só na direção do eixo yy ("One-way Y"). Assim, na cobertura optou-se por fazer a distribuição pelas travessas da cobertura, sendo a área de influência metade da distância entre cada uma das travessas nos dois sentidos do eixo yy , e nas fachadas fez-se a distribuição em relação aos pilares, portanto, nas laterais sobre o eixo xx e nas de empena sobre o eixo yy . De notar que as direções aqui descritas referem-se aos referenciais locais dos elementos de superfície, os quais se podem observar na figura 4.1.

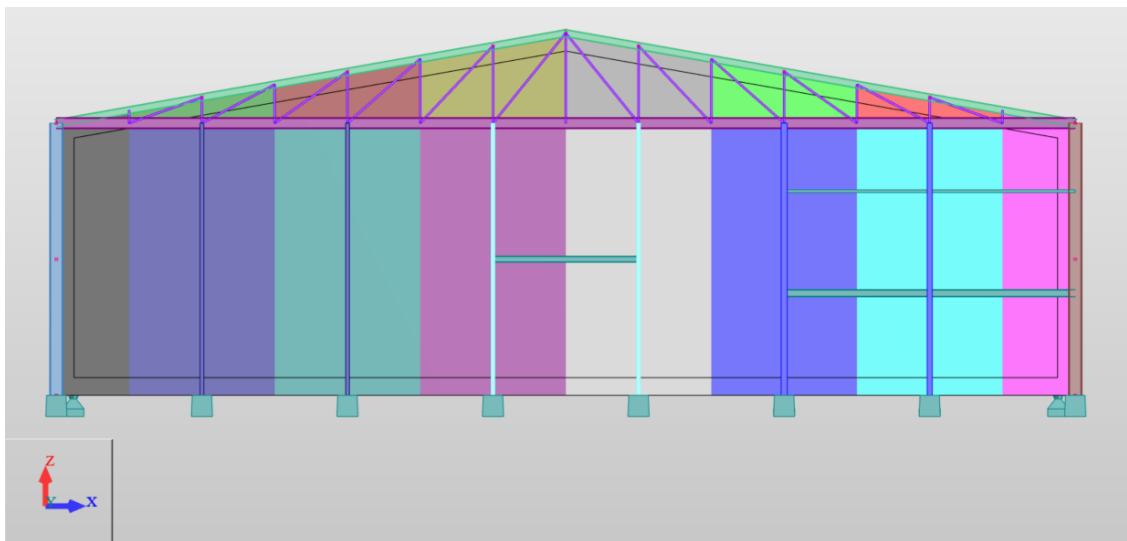


Figura 4.3: Representação da distribuição de esforços pelas superfícies nas fachadas de empena.

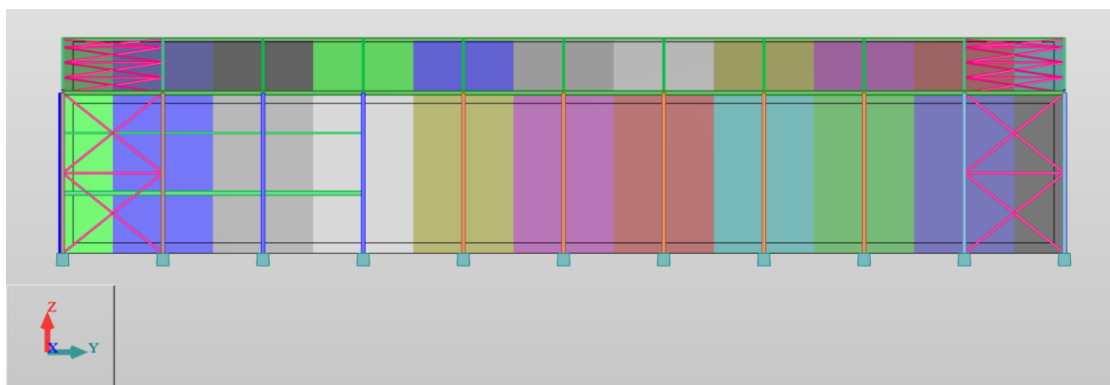


Figura 4.4: Representação da distribuição de esforços pelas superfícies nas fachadas laterais.

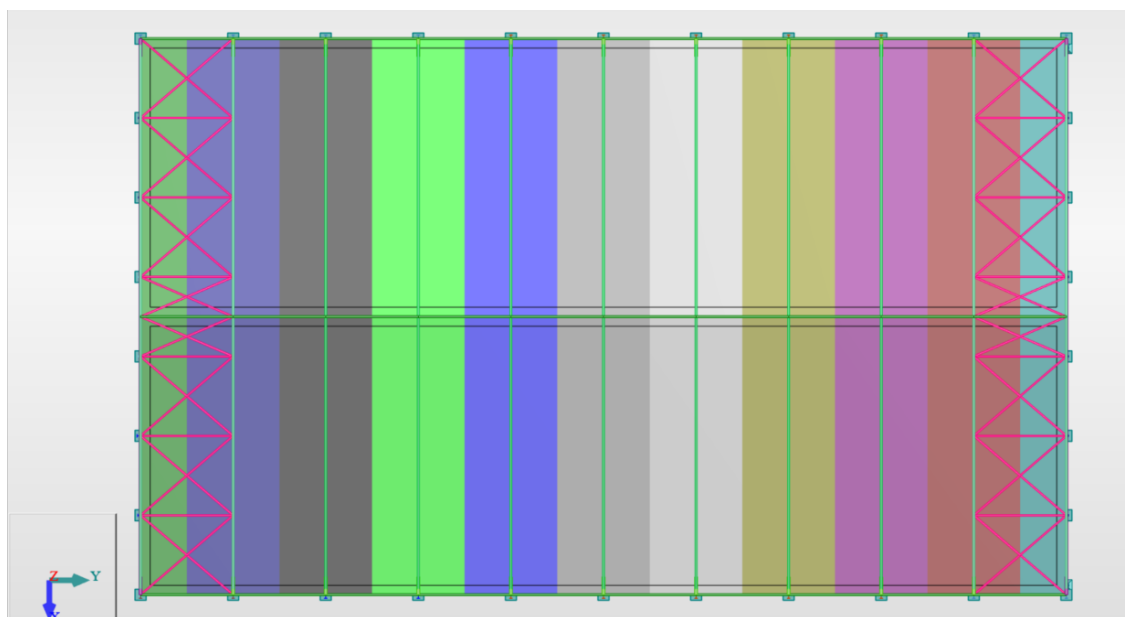


Figura 4.5: Representação da distribuição de esforços pelas superfícies na cobertura.

No que toca à zona de escritórios, os esforços foram distribuídos no sentido das travessas principais do pavimento e da cobertura, portanto, na direção de cada um dos eixos yy , e para as paredes, foram distribuídos pelos pilares, ou seja, na direção dos eixos xx . A representação dos eixos locais das superfícies mencionadas, bem como da distribuição e esforços pelas mesmas, apresentam-se nas figuras seguintes.

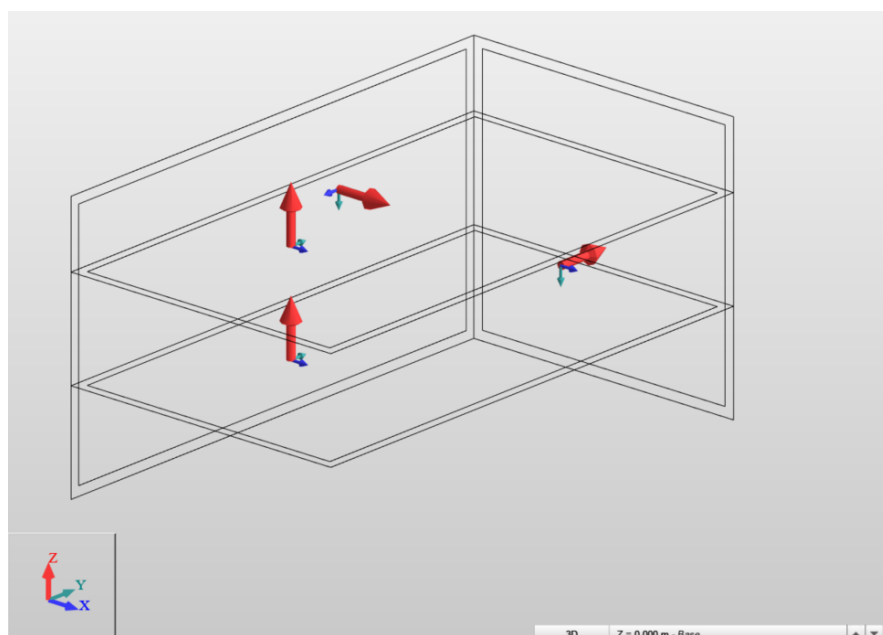


Figura 4.6: Representação dos eixos locais das superfícies da zona de escritórios.

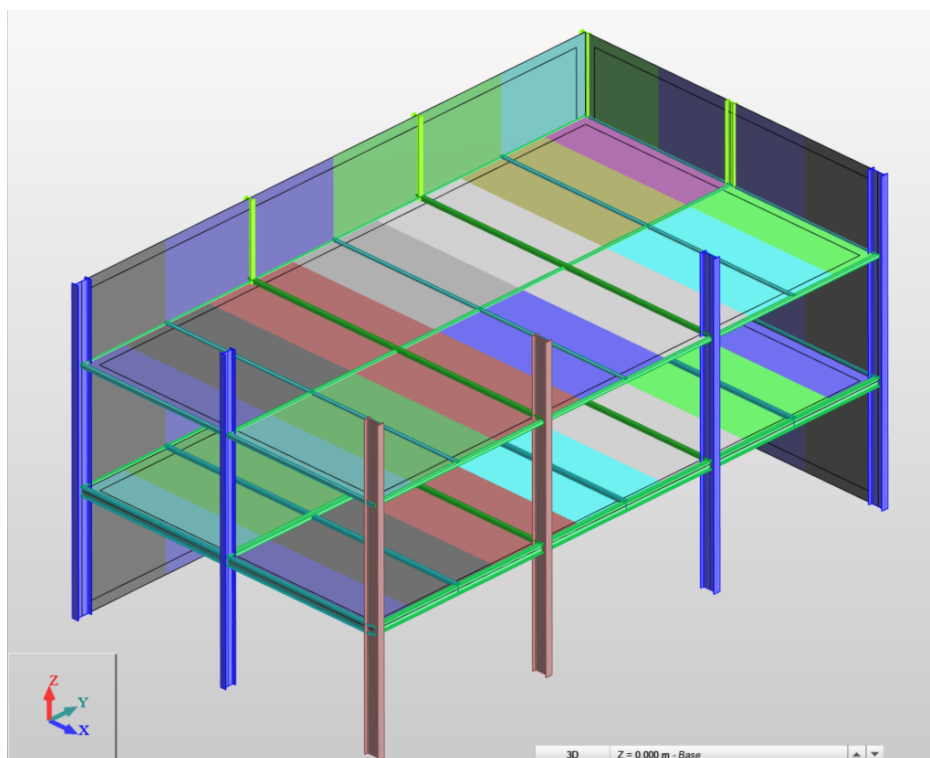


Figura 4.7: Representação da distribuição de esforços pelas superfícies do pavimento do primeiro piso e da cobertura dos escritórios.

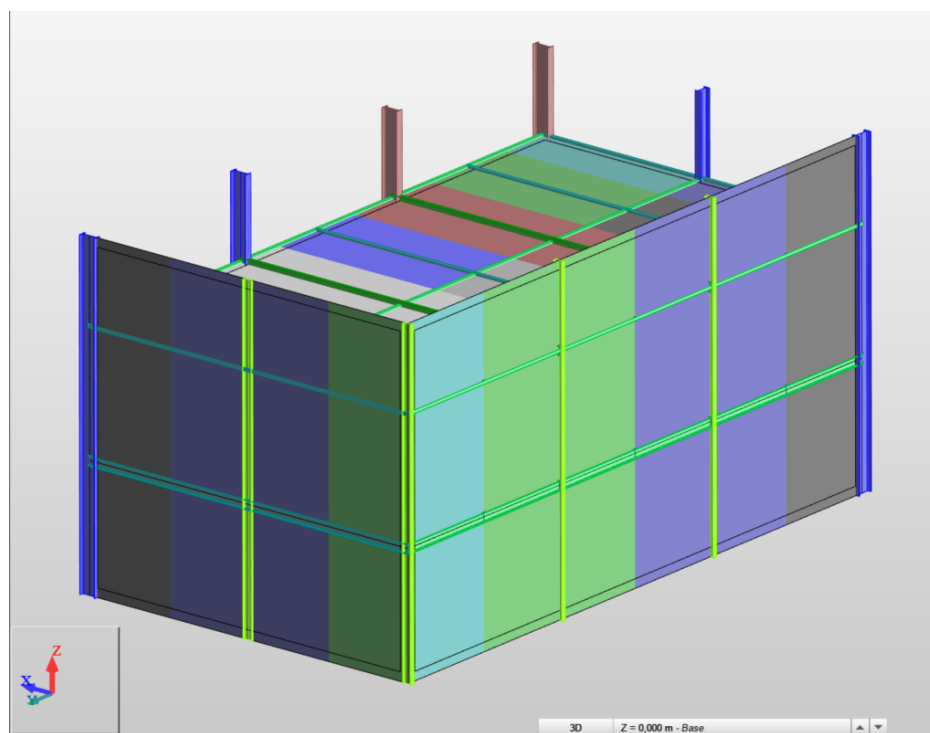


Figura 4.8: Representação da distribuição de esforços pelas superfícies das paredes exteriores dos escritórios.

4.2 Cargas da Neve

Conforme calculado no capítulo 2, a carga da neve, a qual atua sobre a cobertura do pavilhão, é de $0,5199 \text{ [kN/m}^2\text{]}$. Para tal, criou-se o caso de carga "NEVE", a seguinte caixa de diálogo permite definir alguns parâmetros do mesmo como o nome, código, tipo de carga, natureza e sub natureza em que se insere.

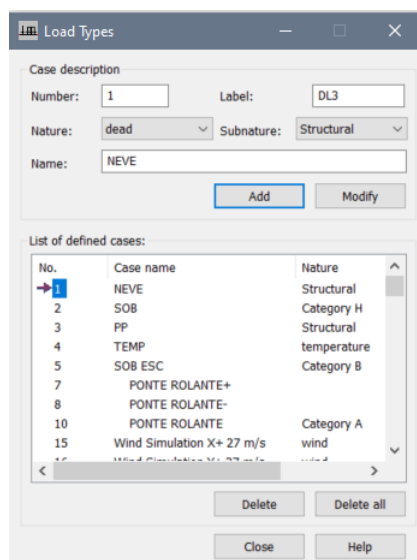


Figura 4.9: Caixa de diálogo da definição do caso de carga da neve.

Para a carga da neve, esta incide sobre a cobertura na direção negativa do eixo zz global, é uma ação estática e é considerada uma ação variável fixa, pelo que lhe é conferida a designação "*dead*" na caixa de diálogo representada na figura 4.9 Comit  Europeu de Normalização (2009c).

Posto isto, foi então inserida a carga da neve, a qual se representa de seguida.

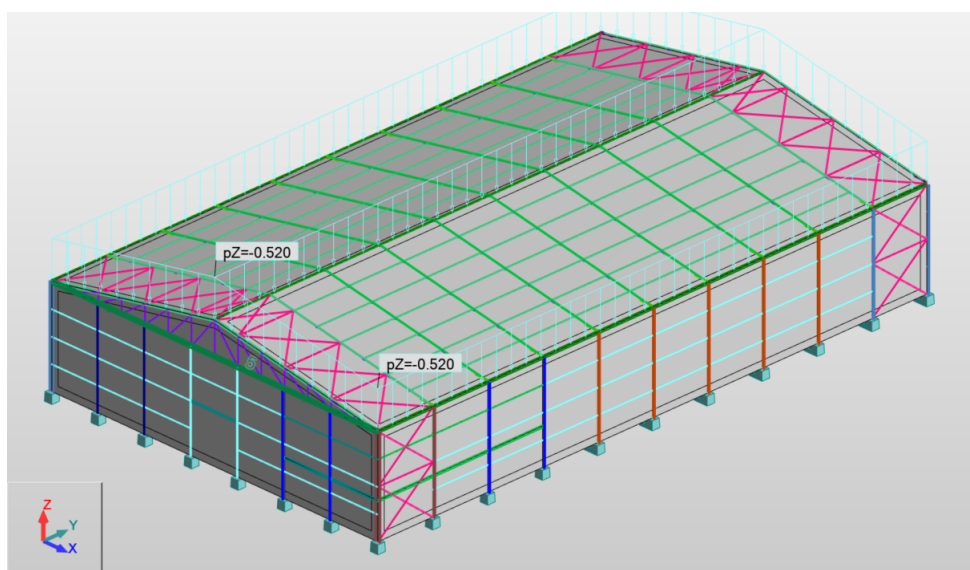


Figura 4.10: Representação das cargas da neve a atuar sobre a estrutura principal.

4.3 Sobrecarga

A sobrecarga na estrutura principal está também inserida num caso de carga denominado "SOB", com as seguintes características.

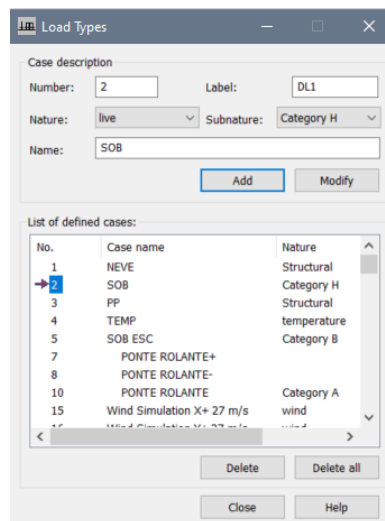


Figura 4.11: Caixa de diálogo da definição do caso de carga da sobrecarga sobre a estrutura principal.

De acordo com o capítulo 2, a sobrecarga na cobertura toma o valor de $0,4 \text{ kN/m}^2$, e é considerada uma ação quase-estática e variável livre, pelo que é atribuído ao caso de carga a designação "live" Comité Europeu de Normalização (2009b). Também, observa-se a escolha da subnatureza (*subnature*), incluindo este caso de carga na categoria H, assunto abordado também no capítulo 2. Aplicando então a referida sobrecarga na estrutura:

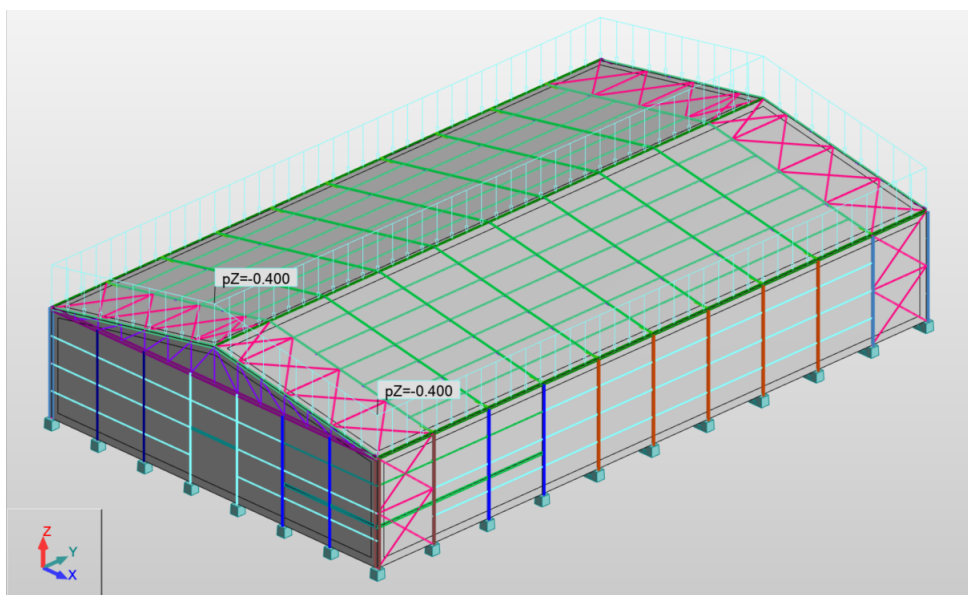


Figura 4.12: Representação da sobrecarga a atuar sobre a estrutura principal.

4.4 Peso Próprio

No que diz respeito ao peso próprio, considera-se uma carga estática e permanente fixa, pelo que é também definida como "*dead*" na definição do caso de carga.

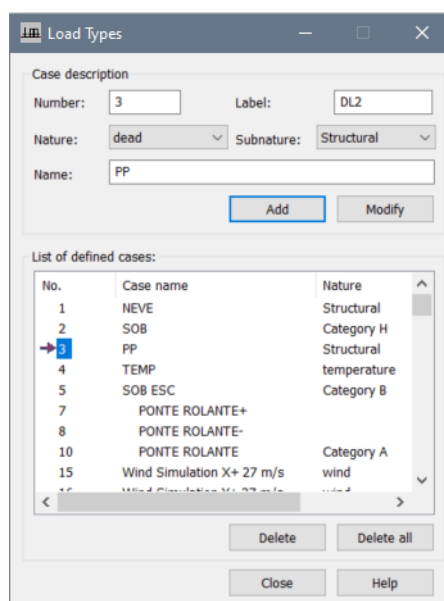


Figura 4.13: Caixa de diálogo da definição do caso de carga do peso próprio.

Na inserção das cargas, o *Robot* disponibiliza a opção de aplicar o peso próprio a todas as barras da estrutura tendo em conta a secção para elas escolhida. No entanto, no que toca aos painéis, é necessário inserir o seu peso manualmente, visto que as superfícies (*claddings*) são elementos sem peso nem rigidez, cuja única função é distribuir as cargas, como referido na secção 4.1. Assim, nas superfícies que delimitam a cobertura e fachadas do pavilhão, bem como as paredes exteriores e cobertura da zona de escritório, foram inseridas as cargas relativas ao peso próprio dos painéis de revestimento nelas usadas que, de acordo com o capítulo 2 tomam o valor de aproximadamente $0,1 \text{ [kN/m}^2\text{]}$ (arredondado à milésima), à exceção dos painéis utilizados para a cobertura do pavilhão, cujo peso é de $0,093 \text{ [kN/m}^2\text{]}$.

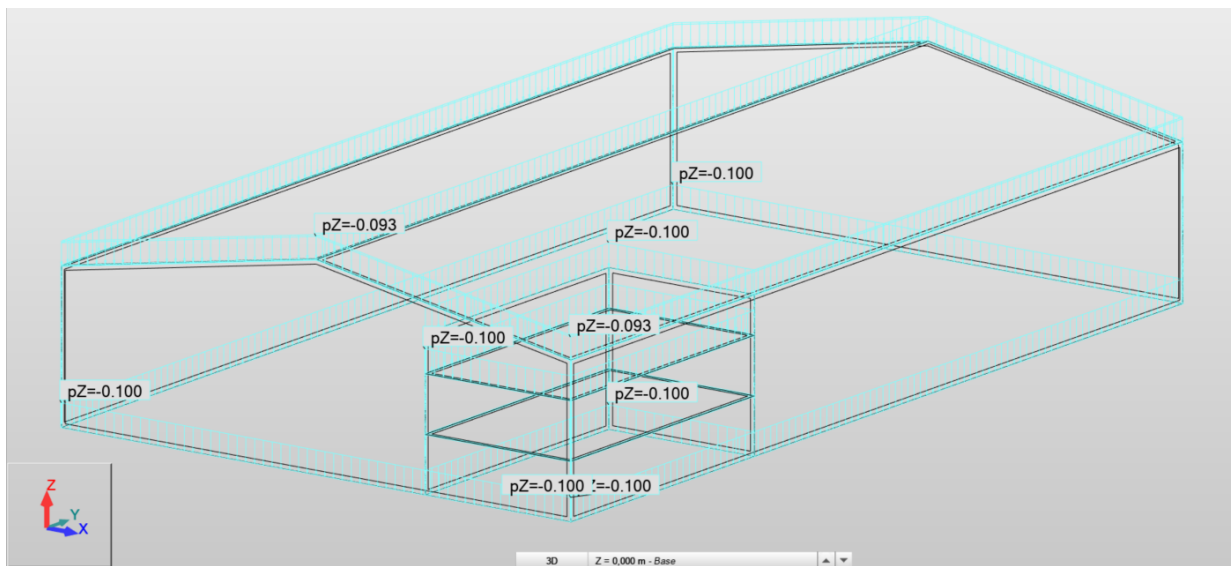


Figura 4.14: Representação do peso próprio dos painéis de revestimento nas superfícies onde atuam.

No que toca ao peso próprio das barras, o *software* contém a opção de aplicar a carga do peso próprio de todos os elementos da estrutura em simultâneo, como se pode observar na caixa de diálogo da figura seguinte. Apresenta-se também a representação dessa carga aplicada nas referidas barras.

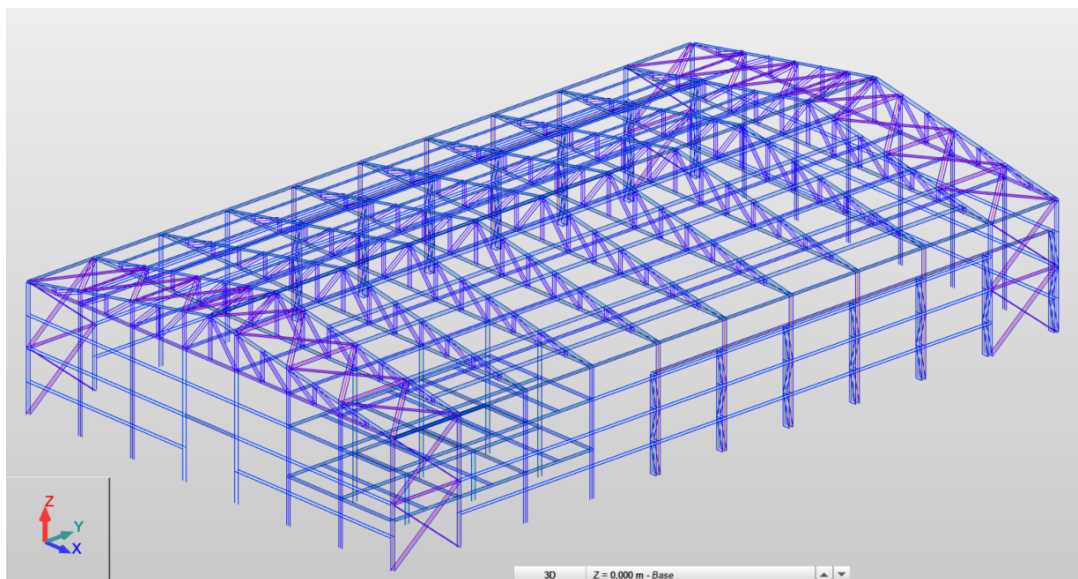


Figura 4.15: Representação do peso próprio de todas as barras da estrutura, acentuada por um contorno de cor azul nas mesmas.

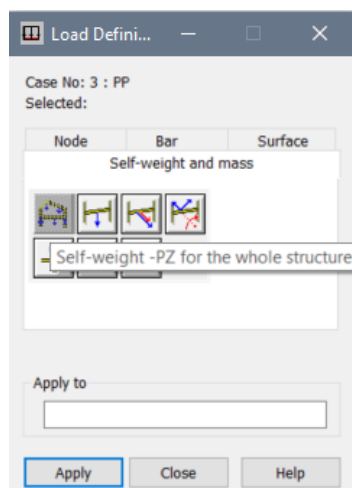


Figura 4.16: Caixa de diálogo da definição da carga do peso próprio para toda a estrutura.

Importante referir que, por vezes, quando se altera uma secção e se corre os cálculos no programa (função abordada adiante, no Capítulo 5), o *software* não assume o peso próprio da nova secção, o que implica que se reinsira as cargas respetivas.

4.5 Carga Térmica

No âmbito de se considerarem os esforços (e consecutivas deformações) na estrutura devido a variações térmicas, provenientes quer de elementos ambientais e climáticos, quer da temperatura de trabalho no interior da estrutura, considerou-se a carga térmica, cujo processo de cálculo se encontra descrito no EC1-5 ([Comité Europeu de Normalização \(2009d\)](#)).

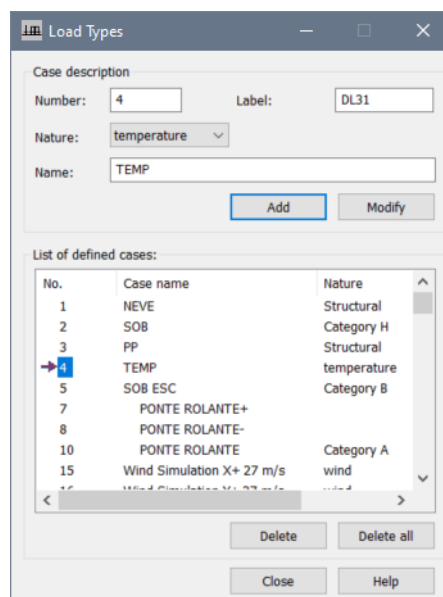


Figura 4.17: Caixa de diálogo da definição da carga do peso próprio para toda a estrutura.

Segundo a fonte citada, a componente de variação térmica uniforme ΔT_u , definida como "uma componente de variação uniforme de temperatura ΔT_u , obtida pela diferença entre a temperatura média T de um elemento e a sua temperatura inicial T_0 ([Comité Europeu de Normalização \(2009d\)](#)), expressa-se:

$$\Delta T_u = T - T_0 \quad (4.1)$$

Com vista em simplificar o cálculo, sendo a componente referida a que tem mais peso no cálculo da carga térmica, esta foi a única considerada.

A temperatura média T determina-se fazendo a média entre a temperatura exterior e a temperatura interior, tanto no Inverno como no Verão, que resulta em dois valores para a componente de variação térmica uniforme: um positivo e um negativo. Estes são os valores que serão utilizados neste caso de carga. Assim, para cada uma das estações, T calcula-se da seguinte forma:

$$T = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad (4.2)$$

As temperaturas de referência para estes cálculos encontram-se nos quadros NA-5.1 e NA-5.2 do Anexo Nacional, os quais se apresentam abaixo ([Comité Europeu de Normalização \(2009d\)](#)):

Quadro NA-5.1 – Temperaturas indicativas T_{in} para ambientes interiores

Estação	Temperatura T_{in}
Verão	$T_1 = 25\text{ °C}$
Inverno	$T_2 = 18\text{ °C}$

Quadro NA-5.2 – Temperaturas indicativas T_{out} para zonas de edificios acima do solo

Estação	Factor significativo		Temperatura T_{out} em °C
Verão	Absorvidade relativa dependente da cor da superfície	0,5 superfície clara brilhante	$T_{max} + T_3$
		0,7 superfície de cor clara	$T_{max} + T_4$
		0,9 superfície escura	$T_{max} + T_5$
Inverno			T_{min}

Devem utilizar-se os seguintes valores:

$$T_3 = 0 \text{ °C}; T_4 = 2 \text{ °C}; T_5 = 5 \text{ °C}$$

Os valores de T_{out} assim obtidos, são válidos para superfícies horizontais ou viradas a Oeste. Para ter em conta outras orientações da superfície, o valor T_{out} pode ser multiplicado pelo coeficiente η obtido a partir da seguinte expressão empírica:

$$\eta = 0,9 + 0,1 \times \text{sen}[(\beta / 360^\circ)^{2,5} \times 360^\circ - 90^\circ]$$

onde β representa o ângulo, em graus, que a normal exterior do elemento estrutural faz com o Norte, medido no sentido horário (ex.: N $\rightarrow \beta = 0^\circ$; S $\rightarrow \beta = 180^\circ$; SO $\rightarrow \beta = 225^\circ$).

Figura 4.18: Quadros NA-5.1 e NA-5.2 do Anexo Nacional do EC1-5 (Comité Européu de Normalização (2009d)).

Com esta informação é possível calcular a temperatura média referente ao Verão - T_V - e ao Inverno - T_I - considerando uma superfície brilhante clara para T_{out} e $T_3 = 0\text{ [°C]}$. Por consulta dos quadros NA-I e NA-II, e tendo em conta que o distrito da Guarda se insere na Zona A, determina-se as temperaturas máximas - $T_{max} = 45\text{ [°C]}$ - e mínimas - $T_{min} = -5\text{ [°C]}$ - às quais é necessário subtrair 1 [°C] por cada 100 [m] de altitude do terreno no Verão, e $0,5\text{ [°C]}$ no Inverno. Então:

$$T_{max} = 45 - (5 \cdot 1) = 40\text{ [°C]} \quad (4.3)$$

$$T_{min} = -5 - (5 \cdot 0,5) = -7,5\text{ [°C]} \quad (4.4)$$

Assim, é possível calcular as temperaturas médias referentes ao Verão e ao Inverno:

$$T_V = \frac{T_{in,V} + T_{out,V}}{2} = \frac{25 + (40 + 0)}{2} = 32,5\text{ [°C]} \quad (4.5)$$

$$T_I = \frac{T_{in,I} + T_{out,I}}{2} = \frac{18 + (-7,5 + 0)}{2} = 5,25 \text{ } [^{\circ}\text{C}] \quad (4.6)$$

Por fim, tomando $T_0 = 15 \text{ } [^{\circ}\text{C}]$ de acordo com o Anexo Nacional, calculam-se os dois valores de ΔT_u supra mencionados (Comité Européu de Normalização (2009d)).

$$\Delta T_{u,V} = T_V - T_0 = 32,5 - 15 = 17,5 \text{ } [^{\circ}\text{C}] \quad (4.7)$$

$$\Delta T_{u,I} = T_I - T_0 = 5,25 - 15 = -9,75 \text{ } [^{\circ}\text{C}] \quad (4.8)$$

Calculadas as componentes de variação uniforme da temperatura para cada uma das estações, inserem-se então as cargas, no caso de carga criada para a ação térmica, no sentido do eixo perpendicular às superfícies do pavilhão.

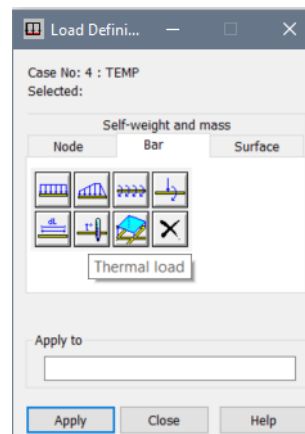


Figura 4.19: Caixa de diálogo para definição da carga térmica aplicada a barras.

Aplicaram-se as componentes respectivas ao Verão e ao Inverno a todas as barras que facejam o exterior do edifício, como se exemplifica nas figuras seguintes.

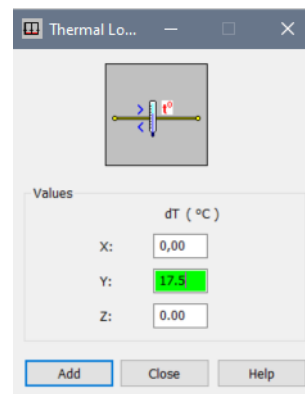


Figura 4.20: Caixa de diálogo para definição da carga térmica referente à estação do Verão aplicada segundo o eixo yy.

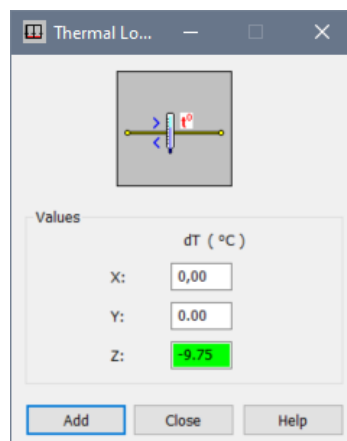


Figura 4.21: Caixa de diálogo para definição da carga térmica referente à estação do Inverno aplicada segundo o eixo zz .

Por fim, apresentam-se as cargas térmicas aplicadas a toda a estrutura.

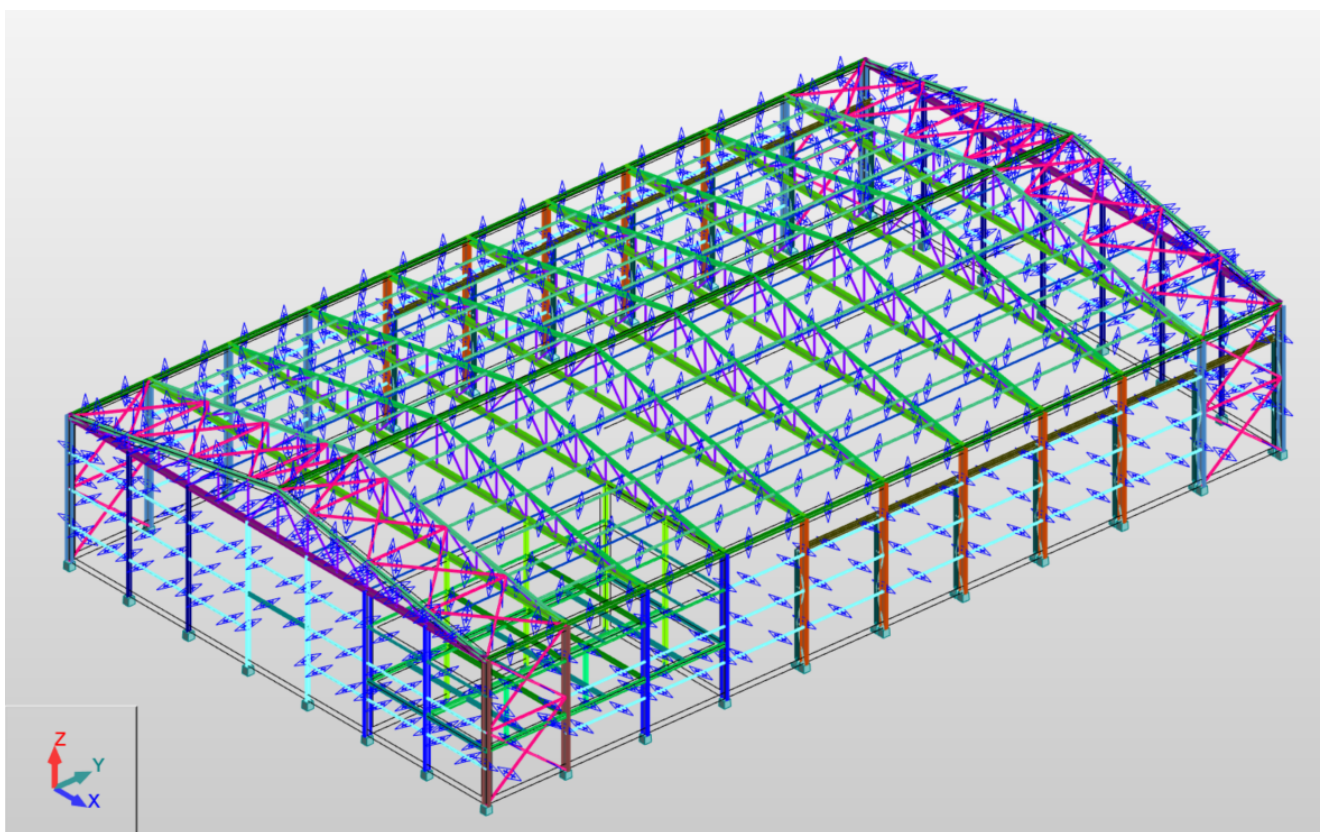


Figura 4.22: Representação da carga térmica aplicada a toda a estrutura.

4.6 Sobrecarga nos Escritórios

Apesar da sobrecarga a atuar na zona dos escritórios ser uma ação da mesma natureza que a sobrecarga da cobertura, por ser um caso específico, mereceu o seu próprio caso de carga.

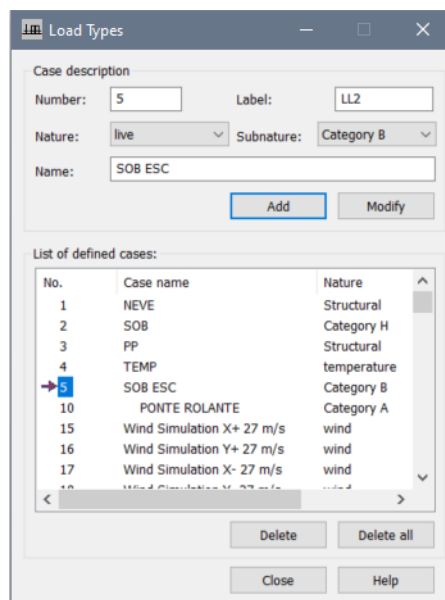


Figura 4.23: Caixa de diálogo para definição do caso de carga referente à sobrecarga da zona dos escritórios.

Como já referido, na zona dos escritórios existem dois pisos: um rés-de-chão, e um primeiro piso. Naturalmente, as sobrecargas que atuam sobre o pavimento do rés-de-chão fogem ao tema desta dissertação, sendo que seriam relevantes para o dimensionamento da laje de pavimento, a qual seria projetada para ser construída em betão, cuja área é a de Engenharia Civil.

No entanto, no que toca à laje de pavimento do primeiro piso, esta sim já foi projetada em estrutura metálica, foram consideradas as cargas previstas para os diversos casos presentes no EC1-1 (Comité Européen de Normalização (2009b)).

De acordo com a fonte, está prevista a atribuição da Categoria B para "Escritórios", na qual esta, na qualidade de carga distribuída, toma um valor no intervalo de 2,00 a 3,00 $[kN/m^2]$ (Comité Européen de Normalização (2009b)), pelo que foi adotado o valor máximo. Considerou-se também que, visto existir umas escadas de acesso entre os pisos, atribui-se a carga prevista no EC1-1 de 4,00 $[kN/m^2]$. Visto que esta é maior do que a sobrecarga para a Categoria B, adotou-se esta no sentido de preservar a segurança do dimensionamento (Comité Européen de Normalização (2009b)). Adicionalmente, é necessário contabilizar os pesos das paredes divisórias, o seu revestimento e o do pavimento, pesos do teto falso do piso de baixo e da própria laje. Por consulta

das "Tabelas Diversas" de Engenharia Civil, do Instituto Superior Técnico (IST - Instituto Superior Técnico (1992)), as paredes divisórias em alvenaria, com tijolo de dimensões 30x20x7 pesam $1,40 [kN/m^2]$. Os "revestimentos usuais de pavimentos - tacos, alcatifa ou mosaicos cerâmicos (incluindo até 5 cm de camada de regularização e assentamento) e estuque ou teto falso na face inferior da laje" tem o valor de $1,50 [kN/m^2]$ (IST - Instituto Superior Técnico (1992)). Posto isto:

$$S_{(s/\text{peso da laje})} = 4,00 + 1,40 + 1,50 = 6,90 [kN/m^2] \quad (4.9)$$

A solução proposta para o referido pavimento foi a "Laje Mista" da empresa "O FELIZ" (O FELIZ). Relembrando, o vão existente entre as vigas do escritório é de $2,50 [m]$, logo, por consulta da fonte referida, a chapa escolhida (para o vão tabelado de $2,60 [m]$) foi a "H60" de $1 [mm]$ de espessura, com laje de betão "C30/37" de $16 [cm]$ de altura (O FELIZ).

BETÃO C30/37

H60 | 1.0 mm

Contínua - 2 vãos.

Vão [m]	Altura da Laje [cm]							
	10	12	14	16	18	20	22	24
1.4	11.10	14.47	17.84	21.11	24.49	27.86	31.23	34.19
1.6	9.55	12.40	15.26	18.12	21.08	23.93	26.79	29.34
1.8	8.31	10.85	13.30	15.84	18.29	20.83	23.38	25.51
2.0	7.38	9.51	11.75	13.98	16.12	18.35	20.59	22.52
2.2	6.55	8.48	10.51	12.43	14.36	16.39	18.32	20.04
2.4	5.93	7.65	9.37	11.19	12.91	14.74	16.46	17.97
2.6	5.31	6.93	8.44	10.06	11.67	13.29	14.91	16.32
2.8	4.79	6.31	7.72	9.13	10.64	12.05	13.56	14.77
3.0	4.38	5.69	6.99	8.40	9.71	11.02	12.32	13.53
3.2	3.97	5.17	6.27	7.47	8.68	9.88	11.08	12.29
3.4	3.11	4.45	5.44	6.44	7.54	8.54	9.53	10.63
3.6	2.35	3.83	4.72	5.61	6.51	7.40	8.29	9.19
3.8	-	3.31	4.10	4.89	5.68	6.47	7.26	8.05
4.0	-	2.90	3.58	4.27	4.96	5.64	6.33	7.02
4.2	-	2.29	3.17	3.75	4.34	4.92	5.50	6.09
4.4	-	-	2.76	3.24	3.72	4.30	4.78	5.26
4.6	-	-	2.34	2.82	3.30	3.68	4.16	4.64
4.8	-	-	2.03	2.41	2.79	3.16	3.64	4.02
5.0	-	-	-	2.10	2.48	2.75	3.13	3.40
5.2	-	-	-	-	2.06	2.34	2.61	2.99
5.4	-	-	-	-	-	2.03	2.30	2.47
5.6	-	-	-	-	-	-	-	2.06

Vão máximo sem escoramento para chapa de espessura 1.0 mm

Altura da Laje [cm]	10	12	14	16	18	20	22	24
Vão _{máx} [m]	2.8	2.6	2.4	2.4	2.2	2.2	2.0	2.0

Figura 4.24: Tabela do catálogo da empresa "O FELIZ" referente à "Laje Mista" H60 utilizada (O FELIZ).

De notar que foi considerada a solução "Contínua - 2 vãos", ou seja, cada chapa será apoiada nas vigas dos topos e as travessas, estando só apoiadas nas vigas secundárias que dividem os vãos (O FELIZ), conforme se representa na figura seguinte.

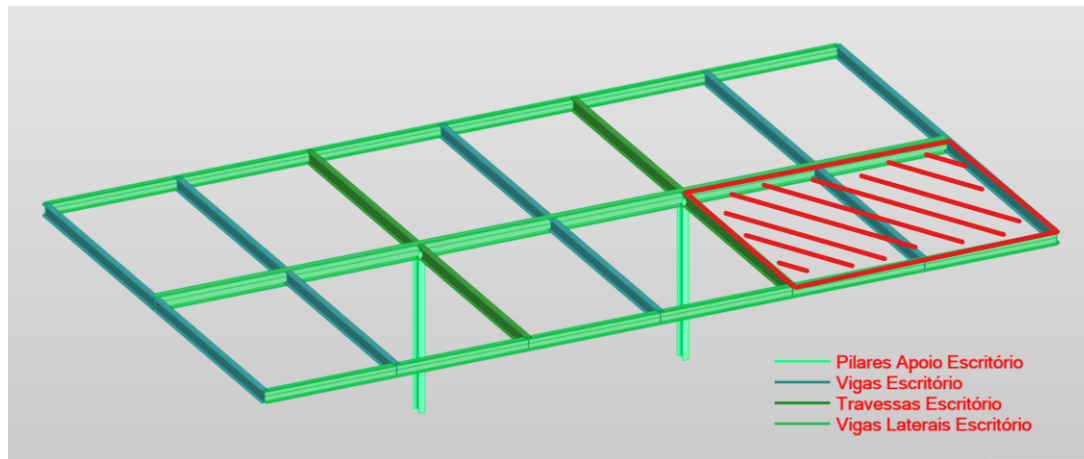


Figura 4.25: Representação da colocação da solução proposta de laje no pavimento do primeiro piso do escritório.

Com esta solução, a carga máxima é de $10,06 \text{ [kN/m}^2\text{]}$. Para a espessura utilizada, o betão pesa $3,10 \text{ [kN/m}^2\text{]}$, logo:

$$S_{(c/\text{ peso da laje})} = 6,90 + 3,10 = 10,0 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (4.10)$$

Visto que o valor do total da sobrecarga em conjunto com o valor do peso da laje não ultrapassa o valor da carga máxima que a solução do pavimento é capaz de suportar - $10,16 \text{ [kN/m}^2\text{]}$ - conclui-se que a solução proposta é adequada. Poderia pensar-se que os valores são muito próximos, mas não esquecer que a chapa selecionada está dimensionada para um vão de $2,6 \text{ [m]}$, que é 10 [cm] maior do que o vão de trabalho, o que faz com que o dimensionamento esteja no lado da segurança.

Importante também referir que, no final do quadro da figura 4.24 refere que o "vão máximo sem escoramento para chapa de espessura de $1,0 \text{ [mm]}$ " é de $2,4 \text{ [m]}$ para uma laje de 16 [mm] de altura. Isto significa que, no momento de enchimento do betão na chapa, esta não poderá ter um vão de mais de $2,4 \text{ [m]}$, ou seja, no caso presente, sendo o vão de trabalho de $2,5 \text{ [m]}$, será necessário escoramento (apoio intermédio) da chapa, que tipicamente se faz a meio vão.

4.7 Cargas do Vento

Apesar das cargas do vento terem sido calculadas analiticamente no capítulo 2 pelo método previsto pelo EC1-4 (Comité Européen de Normalização (2010a)), o *Robot* possui uma função de fazer a simulação das cargas do vento automaticamente. Portanto, no âmbito de testar as capacidades do *software*, esta foi a função utilizada neste caso.

Os parâmetros necessários para a referida simulação são a velocidade média do vento, a altura, a partir do nível no solo, a que se deseja realizar a simulação, as direções do vento a considerar, os elementos a analisar e escolher se se consideram as aberturas nos painéis (superfícies definidas no capítulo 3) abertas ou fechadas aquando da realização da simulação. De acordo com o Capítulo 2, abaixo dos 600 [m] de altitude do terreno, a velocidade média do vento toma o valor de 27 [m/s]. Os painéis foram considerados fechados, a simulação foi considerada ao nível do solo e analisaram-se todos os elementos da estrutura. Quanto às direções, forem escolhidas as quatro principais, tais como previstas pelo EC1-4 (Comité Européen de Normalização (2010a)): sentidos positivos e negativos dos eixos *xx* e *yy*. Assim, apresenta-se a caixa de diálogo da simulação, inserindo os parâmetros mencionados.

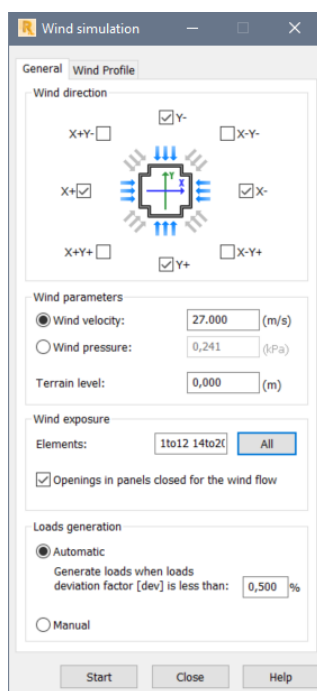


Figura 4.26: Caixa de diálogo da simulação das cargas do vento.

De notar que existe um outro parâmetro que permite escolher se se pretende que as cargas sejam geradas automática ou manualmente, sendo que, na primeira, é necessário indicar o limite máximo do fator de desvio das cargas, valor o qual está predefinido como 0,500 % e foi o utilizado. Assim, fez-se a simulação nas quatro direções e são criados os quatro casos de carga automaticamente, cujos nomes estão indicados no princípio do presente capítulo.

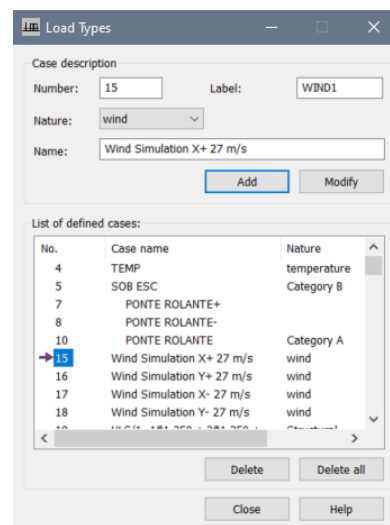


Figura 4.27: Caixa de diálogo da criação dos casos de carga para as simulações do vento nas quatro direções principais.

Apresenta-se de seguida, e a título de exemplo, a distribuição da pressão em $[kPa]$ devido à carga do vento segundo o sentido positivo do eixo yy aplicada na estrutura.

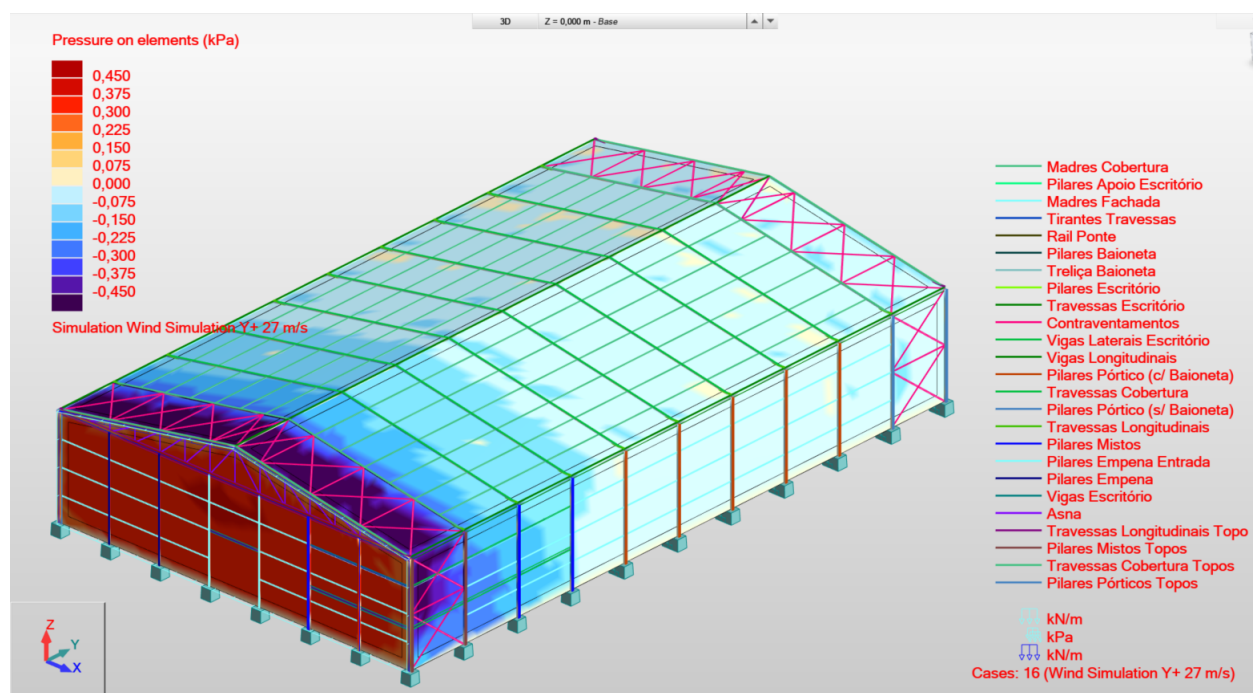


Figura 4.28: Representação da distribuição de pressão devido à carga do vento segundo o sentido positivo do eixo yy aplicada na estrutura.

Refere-se ainda que no capítulo 5 proceder-se-á à comparação entre os resultados obtidos pelo cálculo analítico da cargas do vento e pela simulação automática destas através do *software*.

4.8 Ponte Rolante

Um dos grandes desafios da presente dissertação foi a preparação e análise da estrutura com uma ponte rolante, principalmente pelo facto de que a utilizada é uma ponte de capacidade média/alta de $32 < [ton]$.

O *software* possui uma opção de aplicação de cargas móveis (*Moving loads*) que permite a definição de veículos com determinadas dimensões e parâmetros de carga. Ao seleccionar a referida opção tem-se a seguinte caixa de diálogo.

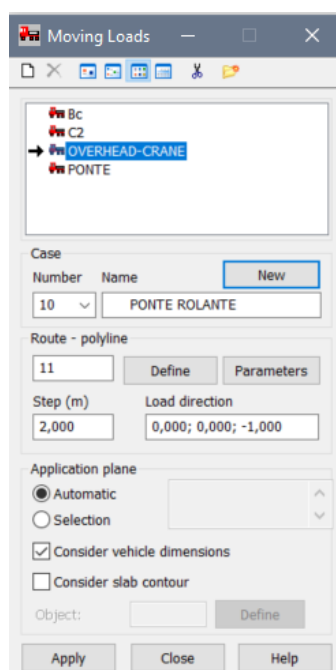


Figura 4.29: Caixa de diálogo para definição da carga da ponte rolante.

Como se verifica, o veículo definido tem por nome *OVERHEAD CRANE*, o caso de carga é o número "10 - PONTE ROLANTE" e é criado automaticamente após a definição da carga móvel. Na criação do veículo, é aconselhado pelo manual disponibilizado pela Autodesk®, que seja criada uma base de dados (*database*) nova para englobar o veículo, devido às predefinições das bases de dados existentes (Autodesk (2010)). Assim, criou-se uma *database* chamada "USER", e passou-se à definição do veículo, a qual se ilustra na figura seguinte.

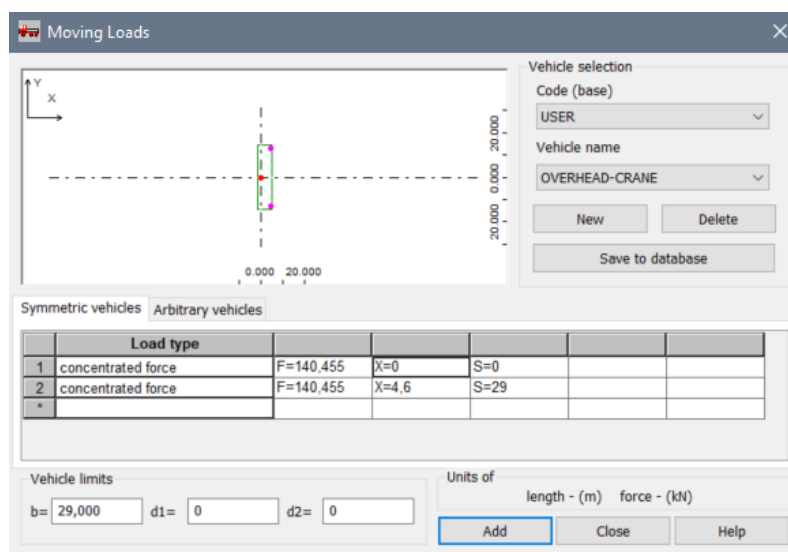


Figura 4.30: Caixa de diálogo para definição do veículo na nova *database* "USER".

Como se pode observar na figura 4.30, é necessário definir manualmente vários parâmetros como se o veículo é simétrico, o tipo de carga, qual o valor e o afastamento dos pontos de apoio da mesma.

Neste caso, o veículo foi considerado simétrico, e foram definidas duas cargas concentradas, que na realidade são quatro pois são replicadas segundo o eixo de simetria do veículo. Assim, contanto com a capacidade máxima da ponte de 32 [ton] e o seu peso, que segundo a ficha técnica do Anexo B é de 25270 [kg], o valor total da carga será:

$$P_{PR, total} = (32000 + 25270) \cdot 9.81 = 561818,7 [N] = 561.82 [kN] \quad (4.11)$$

Visto existirem quatro pontos de apoio, a carga inserida na definição de carga foi então $561.82/4 = 140,445 [kN]$.

O espaçamento de $S = 29 [m]$ refere-se à localização dos carris, que estão distanciados de 0,5 [m] dos pilares dos pórticos para o interior do pavilhão. Pode conferir-se também que a distância de 4,6 [m] representa precisamente o entre-eixos da ponte rolante, especificada na ficha técnica do Anexo B.

Após a definição do veículo, é necessária a definição da rota, que é adotada pelo *software* como a direção (nos dois sentidos) de deslocamento da carga. Esta é definida pela linha 11 (*polyline*) que é definida pelas seguintes coordenadas:

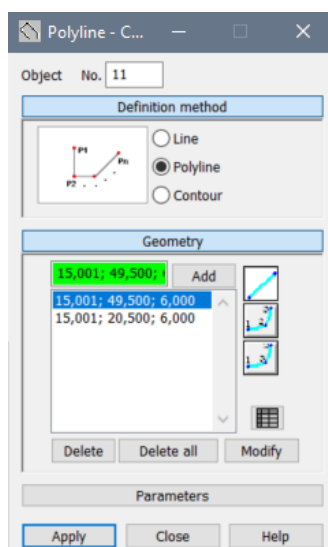


Figura 4.31: Caixa de diálogo para definição das coordenadas da rota da carga.

Depois de definida geometricamente a rota, procedeu-se aos parâmetros do caso de carga.

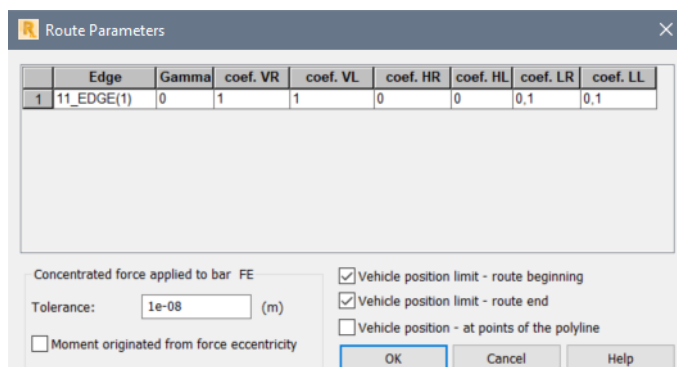


Figura 4.32: Caixa de diálogo para definição dos parâmetros do caso de carga.

Pode observar-se que existem vários coeficientes, que se referem às cargas horizontais, transversais ou longitudinais associadas com a carga vertical, que são definidas como uma percentagem da mesma. Neste caso, foi adotado um coeficiente de 0,1 para as cargas horizontais longitudinais apenas, conforme descrito no manual (Autodesk (2010)).

De notar que há duas opções validadas na caixa de diálogo - "vehicle position limit - route beginning" e "vehicle position limit - route end" - que delimitam a posição da carga pelos limites de início e fim da rota da carga. Por fim, definiu-se o parâmetro *step* como 2 [m] que corresponde à distância que a ponte percorre a cada translação. Esta consideração não é realista, mas verificou-se que com este *step* a carga situa-se nas posições (em relação aos carris) que correspondem aos casos característicos (meio vão entre pilares e em cima dos pilares), que permitem uma avaliação fidedigna. Adicionalmente, este cenário contribui para a redução da quantidade de combinações de ações e consequente peso computacional do modelo.

Capítulo 5

Análise Estrutural

O presente capítulo visa a avaliação da análise estrutural que o *software* permite fazer, executando as combinações de ações e verificando os cálculos caso a caso.

5.1 Combinações de Ações

Depois de definidos todos os parâmetros necessários para a análise estrutural de cada elemento, passou-se à execução das combinações, as quais foram feitas de uma forma semi-automática. No menu desta função, "*Loads - Automatic Combinations...*", existe a opção de fazer todas combinações de uma maneira completamente automática ("Full automatic combinations"), fazê-las de uma maneira simplificada ("Simplified automatic combinations"), ou de uma maneira semiautomática ("Manual combinations - generate"), sendo esta última utilizada.

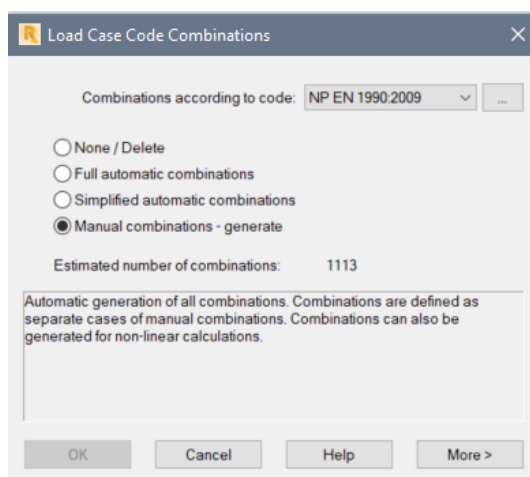


Figura 5.1: Caixa de diálogo para definição do método para geração das combinações de ações.

Observa-se que o *software* gera as combinações de acordo com o EC0, onde se lê "NP EN 1990:2009"([Comité Européu de Normalização \(2009a\)](#)). Selecionando esta opção, é possível definir manualmente que casos de carga se pretendem considerar para gerar as equações e quais os

Estados Limite a calcular. Neste caso, consideraram-se todos os casos de carga, e os estados limite último e de utilização (ULS e SLS), como se pode observar de seguida.

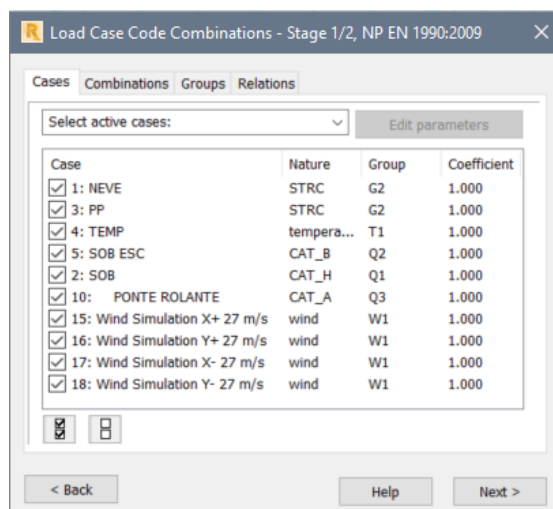


Figura 5.2: Caixa de diálogo para definição dos casos de carga a ter em conta para as combinações de ações.

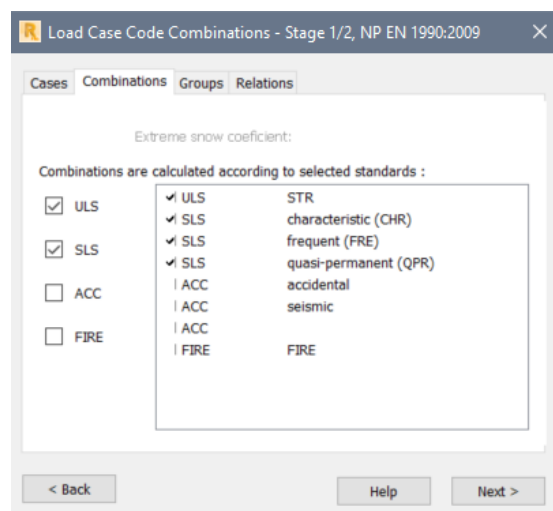


Figura 5.3: Caixa de diálogo para definição dos Estados Limite a ter em conta para a combinação de ações.

Posto isto, e como se referiu no capítulo 4, conseguiu diminuir-se as combinações nas definições do *step* da carga da ponte rolante, contando com 1113 combinações de ações em toda a estrutura.

5.2 Grupos Codificados

Para ser possível fazer a análise de casos mais específicos, e de grupos de elementos semelhantes, a definição dos tipos de barra não é suficiente. Para isso, é necessária a definição de grupos

codificados (*code group*), que agrupam elementos à escolha para análise estrutural, apresentando os cálculos para o elemento correspondente ao pior caso do *code group*. Nesta função, é possível introduzir a seleção de elementos que se pretendem incluir no grupo, o seu nome e número de código, e as secções possíveis, ou seja, as secções que o programa vai considerar e depois sugerir ao utilizador como forma de otimizar os elementos respetivos.

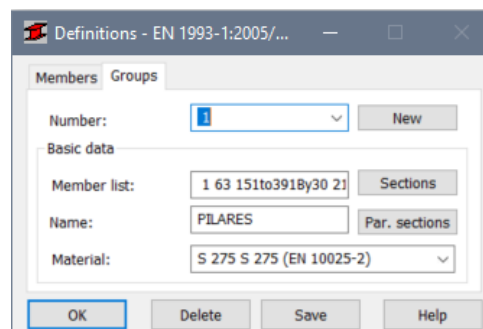


Figura 5.4: Caixa de diálogo para definição dos grupos codificados.

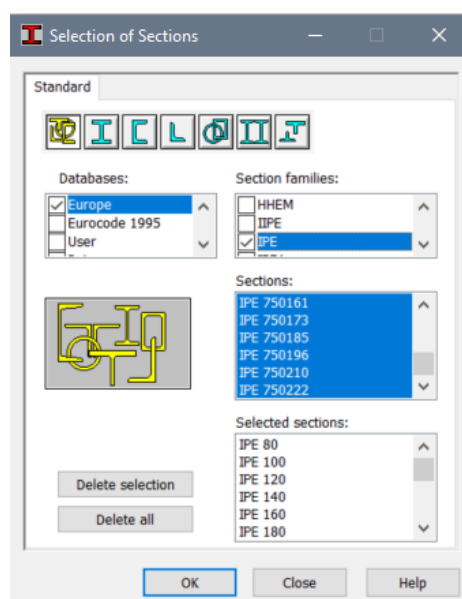


Figura 5.5: Caixa de diálogo para definição das secções possíveis para um grupo codificado.

Este parâmetro é particularmente interessante pois, como será abordado de seguida, existe uma opção de cálculo que se faz através dos *code groups* onde o programa calcula o pior caso, mas também sugere qual a secção, dentro das que foram consideradas no grupo, em conformidade com o critério de otimização escolhido.

5.3 Definições dos Cálculos

Na parte de cálculo propriamente dito, existem três formas de escolher os elementos a verificar: a primeira é a inserção direta do número de identificação dos próprios elementos e as outras duas pela inserção do número do *code group*. Em todas elas, os resultados devolvidos relevantes são o rácio final à respetiva condição imposta pelo estado limite correspondente, a combinação considerada como o pior caso na verificação de cada uma dessas condições, e os coeficientes de esbelteza nos dois eixos: *Lay* e *Laz*.

Na primeira opção de cálculo - "*Code group verification*" - o *Robot* verifica todas as barras pertencentes ao grupo e apresenta os cálculos para o pior caso. Na segunda, para além de verificar todos os elementos, também apresenta a análise das secções escolhidas da definição do grupo codificado, e sugere as com melhores resultados, nomeadamente as que conseguem um rácio mais próximo de 1.

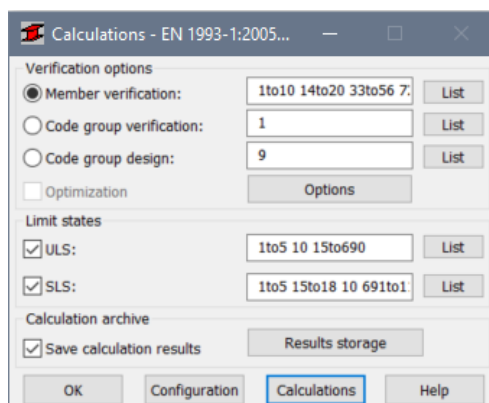


Figura 5.6: Caixa de diálogo referente às várias opções de cálculo.

De notar que, é também possível escolher os Estados Limite a calcular, e que só é possível calcular para o ULS e SLS em simultâneo utilizando a primeira opção "*Member verification*", que necessita da inserção dos elementos a analisar manualmente.

Como referido na secção anterior, existe a opção de otimização (*Optimization*), que consiste na escolha de um critério, como o peso ou as diferentes dimensões da secção, para que seja sugerida, dentro das possíveis, a que melhor se enquadra.

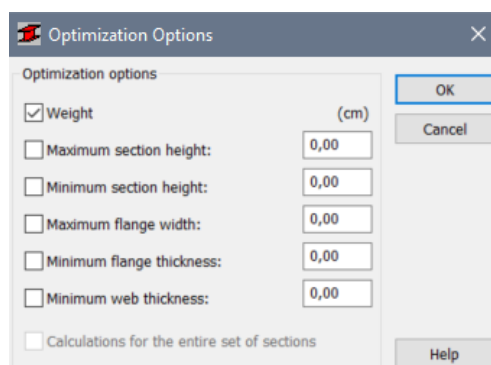


Figura 5.7: Caixa de diálogo para definição do critério de otimização.

A título de exemplo, ao executar o cálculo pela primeira opção, selecionando os pilares dos pórticos excluindo os que dão apoio aos escritórios, o *Robot* devolve a seguinte janela.

Member	Section	Materi	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	Ratio(vx)	Case (vx)	Ratio(vy)	Case (vy)
1 Pilares 1	IPE 400	S 275	12 086	50 633	0.172	321 ULS/203=1*1 0	0.028	16 Wind Simulation	0.016	840 SLS CHR/150=	0.098	840 SLS CHR/150=	0.020	838 SLS CHR/148=
63 Pilares Pórtico (s/ Baioneta) 63	IPE 400	S 275	48 345	50 633	0.414	20 ULS/2=1*1 350	0.030	10 PONTE ROLA	0.122	957 SLS CHR/267=	0.105	840 SLS CHR/150=	0.018	838 SLS CHR/148=
151 Pilares Pórtico (s/ Baioneta) 151	IPE 400	S 275	48 345	50 633	0.470	20 ULS/2=1*1 350	0.031	10 PONTE ROLA	0.142	957 SLS CHR/267=	0.131	840 SLS CHR/150=	0.016	838 SLS CHR/148=
181 Pilares Pórtico (s/ Baioneta) 181	IPE 400	S 275	48 345	50 633	0.437	20 ULS/2=1*1 350	0.034	10 PONTE ROLA	0.149	957 SLS CHR/267=	0.173	840 SLS CHR/150=	0.015	838 SLS CHR/148=
211 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 211	IPE 400	S 275	12 086	50 633	0.571	544 ULS/526=1*1 3	0.040	10 PONTE ROLA	0.185	957 SLS CHR/267=	0.101	836 SLS CHR/146=	0.013	10 PONTE ROLA
214 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 214	IPE 400	S 275	12 086	50 633	0.581	542 ULS/524=1*1 3	0.028	10 PONTE ROLA	0.185	957 SLS CHR/267=	0.108	840 SLS CHR/150=	0.013	10 PONTE ROLA
241 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 241	IPE 400	S 275	12 086	50 633	0.573	544 ULS/526=1*1 3	0.043	10 PONTE ROLA	0.185	952 SLS CHR/262=	0.103	844 SLS CHR/154=	0.014	10 PONTE ROLA
244 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 244	IPE 400	S 275	12 086	50 633	0.583	542 ULS/524=1*1 3	0.034	10 PONTE ROLA	0.185	952 SLS CHR/262=	0.111	832 SLS CHR/142=	0.013	10 PONTE ROLA
271 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 271	IPE 400	S 275	12 086	50 633	0.574	549 ULS/531=1*1 3	0.045	10 PONTE ROLA	0.185	957 SLS CHR/267=	0.103	845 SLS CHR/155=	0.014	10 PONTE ROLA
274 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 274	IPE 400	S 275	12 086	50 633	0.584	542 ULS/524=1*1 3	0.038	10 PONTE ROLA	0.185	957 SLS CHR/267=	0.112	832 SLS CHR/142=	0.013	10 PONTE ROLA
301 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 301	IPE 400	S 275	12 086	50 633	0.578	544 ULS/526=1*1 3	0.047	10 PONTE ROLA	0.188	952 SLS CHR/262=	0.103	837 SLS CHR/147=	0.014	10 PONTE ROLA
304 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 304	IPE 400	S 275	12 086	50 633	0.588	542 ULS/524=1*1 3	0.040	10 PONTE ROLA	0.184	952 SLS CHR/262=	0.114	840 SLS CHR/150=	0.013	10 PONTE ROLA
331 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 331	IPE 400	S 275	12 086	50 633	0.576	549 ULS/531=1*1 3	0.048	10 PONTE ROLA	0.185	957 SLS CHR/267=	0.102	845 SLS CHR/155=	0.014	834 SLS CHR/144=
334 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 334	IPE 400	S 275	12 086	50 633	0.585	547 ULS/529=1*1 3	0.042	10 PONTE ROLA	0.185	957 SLS CHR/267=	0.110	832 SLS CHR/142=	0.013	10 PONTE ROLA
361 Pilares Pórticos Topos 361	IPE 400	S 275	12 086	50 633	0.495	549 ULS/531=1*1 3	0.048	10 PONTE ROLA	0.160	957 SLS CHR/267=	0.091	844 SLS CHR/154=	0.016	834 SLS CHR/144=
364 Pilares Pórticos Topos 364	IPE 400	S 275	12 086	50 633	0.504	547 ULS/529=1*1 3	0.043	10 PONTE ROLA	0.160	957 SLS CHR/267=	0.096	833 SLS CHR/143=	0.015	834 SLS CHR/144=
391 Pilares Pórticos Topos 391	IPE 400	S 275	12 086	50 633	0.184	305 ULS/287=1*1 3	0.051	10 PONTE ROLA	0.015	837 SLS CHR/147=	0.060	837 SLS CHR/147=	0.018	834 SLS CHR/144=
394 Pilares Pórticos Topos 394	IPE 400	S 275	12 086	50 633	0.194	301 ULS/283=1*1 3	0.049	10 PONTE ROLA	0.016	833 SLS CHR/143=	0.065	841 SLS CHR/151=	0.016	834 SLS CHR/144=

Figura 5.8: Janela informativa referente aos cálculos realizados para os pilares dos pórticos, excluindo os que dão apoio aos escritórios.

Como se pode observar, a janela devolve os resultados das análises da resistência da secção, e dos deslocamentos segundo os vários eixos, e calcula os rácios. Neste caso o rácio máximo é no elemento número 304 e toma o valor de 0,588. Exemplificando o caso de se querer analisar em mais detalhe quais os cálculos que foram realizados, selecionou-se o pilar número 304, ao que o *Robot* responde apresentando a seguinte janela:

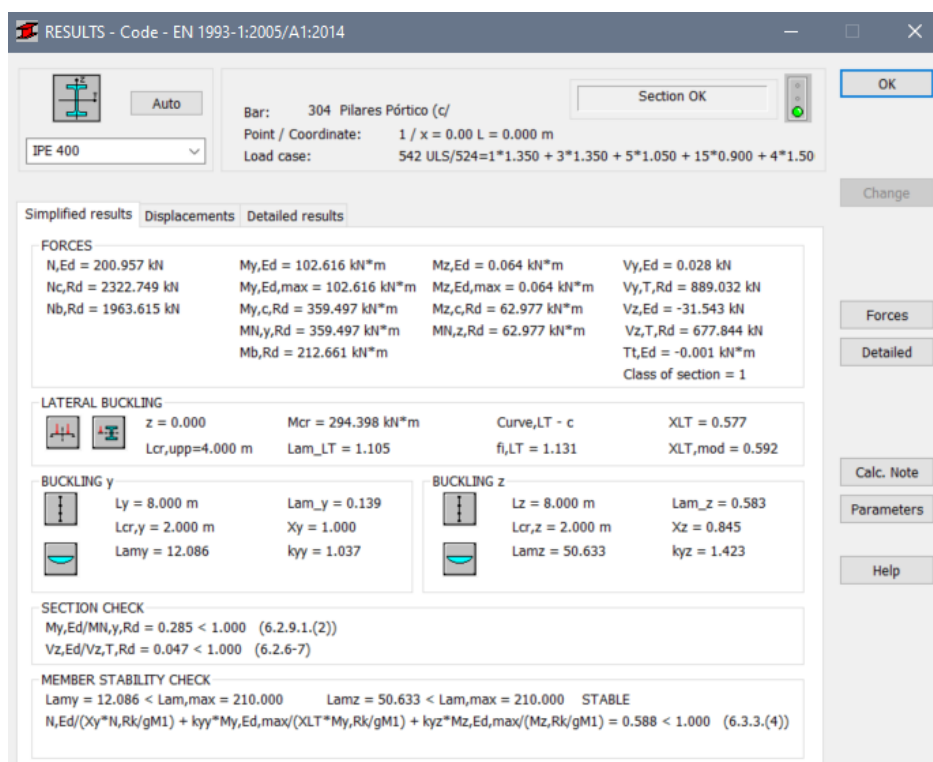


Figura 5.9: Janela informativa referente aos cálculos realizados para o pilar número 304.

Como se observa, é possível verificar com mais detalhe que cálculos estão a ser realizados, inclusivamente a secção do EC3-1 a que corresponde cada equação ([Comité Européen de Normalização \(1993\)](#)). É possível obter ainda mais detalhe quanto aos cálculos efetuados, através da opção "Calc. Note", que gera uma nota de cálculo em *.pdf*, ou ainda abrir o separador "Detailed results" para obter todos os dados base, da secção, do material, os códigos utilizados, e todos os parâmetros utilizados no cálculo. Por último, no separador "Displacements" evidenciam-se os cálculos dos deslocamentos associados ao SLS, os quais foram definidos no capítulo 3. Estas são as funcionalidades utilizadas na análise do dimensionamento estrutural, que se descreve de seguida.

5.4 Dimensionamento

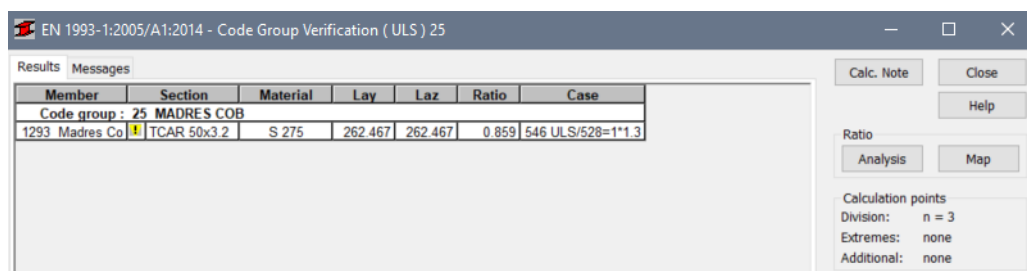
Passou-se então ao dimensionamento propriamente dito, utilizando as funcionalidades descritas na secção anterior. Optou-se por começar pelas parte superior da estrutura, com o objetivo das cargas do peso próprio das barras se irem atualizando no decorrer do dimensionamento, caso estas necessitem de um perfil maior ou menor e, assim, alterando os os esforços exercidos nas partes da estrutura que estão a uma cota inferior. Note-se que a escrita deste capítulo foi feita à medida do dimensionamento, dando assim ênfase ao processo e critérios de decisão aplicados em cada caso.

5.4.1 Cobertura

Na análise da cobertura, vai analisar-se os diferentes tipos de barra que a compõe e perceber quais os fatores mais influentes no deslocamentos dos elementos, e que assim contribuem para a sua falha.

5.4.1.1 Madres da Cobertura

Para as madres da cobertura, que tinha como secção prevista a "TCAR 50x3.2", correu-se o cálculo para o grupo codificado que as engloba, obtendo o seguinte resultado.



Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 25 MADRES COB						
1293 Madres Co	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.859	546 ULS/528=1*1.3

Calc. Note Close Help

Ratio

Analysis Map

Calculation points

Division: n = 3

Extremes: none

Additional: none

Figura 5.10: Janela informativa referente aos cálculos realizados para o grupo codificado das madres da cobertura.

Como se pode observar, apesar do rácio referente à resistência da secção estar abaixo de 1, aparece o sinal de aviso (sinal de cor amarela), que indica instabilidade associada com a encurvadura. Para melhor entender o problema, abriu-se a nota de cálculo.

RESULTS - Code - EN 1993-1:2005/A1:2014

Code 25 MADRES COB
 Bar: 1293 Madres Cobertura_1293
 Point / Coordinate: 2 / x = 0.50 L = 2.500 m
 Load case: 546 ULS/528=1*1.350 + 3*1.350 + 4*1.500 (1+3)*1.350+4*1.50

TCAR 50x3.2

Instability

OK

Change

Simplified results Detailed results

FORCES

N,Ed = 9.262 kN	My,Ed = 0.570 kN*m	Mz,Ed = -0.101 kN*m
Nc,Rd = 163.377 kN	My,Ed,max = 0.570 kN*m	Mz,Ed,max = -0.101 kN*m
Nb,Rd = 16.670 kN	My,c,Rd = 2.896 kN*m	Mz,c,Rd = 2.896 kN*m
	MN,y,Rd = 2.896 kN*m	MN,z,Rd = 2.896 kN*m

Class of section = 1

LATERAL BUCKLING

XLT = 1.000

BUCKLING y

Ly = 5.000 m	Lam_y = 3.023
Lcr,y = 5.000 m	Xy = 0.102
Lamy = 262.467	kzy = 1.309

BUCKLING z

Lz = 5.000 m	Lam_z = 3.023
Lcr,z = 5.000 m	Xz = 0.102
Lamz = 262.467	kzz = 1.309

SECTION CHECK

My,Ed/MN,y,Rd = 0.197 < 1.000 (6.2.9.1.(2))

MEMBER STABILITY CHECK

Lamy = 262.467 > Lam,max = 210.000 Lamz = 262.467 > Lam,max = 210.000 INSTABLE

$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + kzy \cdot My_{Ed,max}/(XLT \cdot My_{Rk}/gM1) + kzz \cdot Mz_{Ed,max}/(Mz_{Rk}/gM1) = 0.859 < 1.000$ (6.3.3.(4))

Forces

Detailed

Calc. Note

Parameters

Help

Figura 5.11: Nota de cálculo referente aos cálculos realizados para a madre número 25.

Assim, entendeu-se que o resultado à encurvadura em ambos os eixos ultrapassa o valor máximo de 210 e, como tal, é necessário aumentar à secção, não sendo possível alterar nenhum outro parâmetro da sua configuração geométrica. Antes disso, para ter a certeza que as barras só estariam a falhar ao ULS, correu-se o cálculo para o SLS também, do qual se apresenta, de seguida, a nota de cálculo.

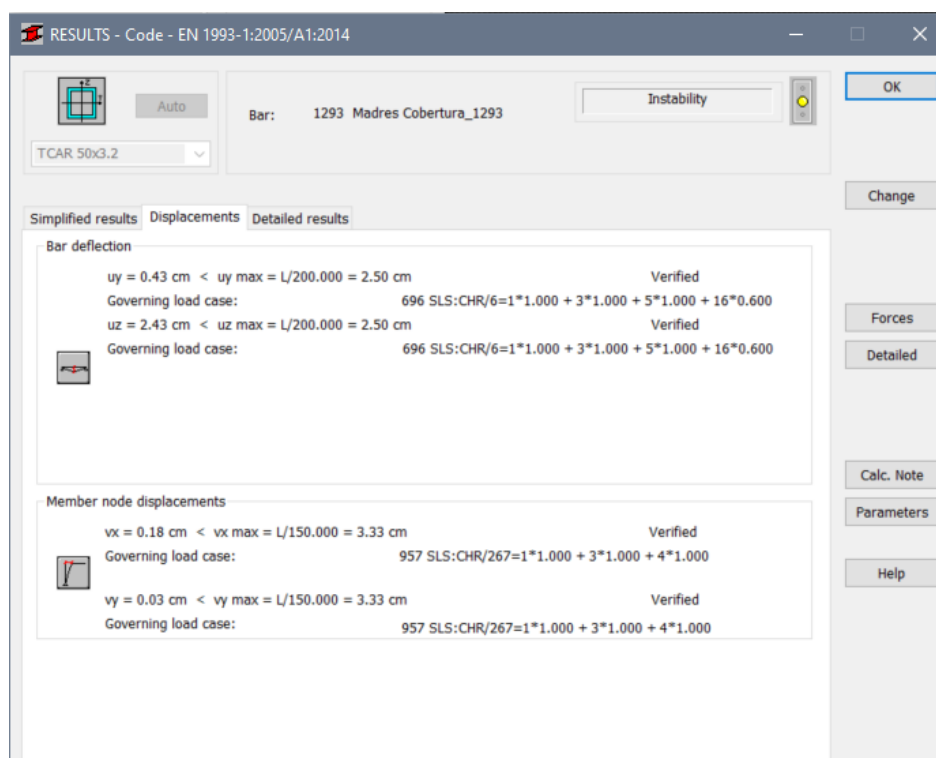


Figura 5.12: Nota de cálculo referente aos cálculos realizados para a madre número 25, referentes também ao SLS.

Observa-se pelos resultados que efetivamente não há falha aparente ao SLS, o que permite prosseguir para a escolha na nova secção. Posto isto, ao invés de iterar, optou-se pela utilização da terceira opção de cálculo - "Code group design" - que irá sugerir uma secção otimizada de acordo com as previamente selecionadas para o grupo, as quais assumem apenas formas tubulares de secção quadrada ou rectangular, da base de dados europeia.

The screenshot shows the 'EN 1993-1:2005/A1:2014 - Code Group Design (ULS) 25' window. The table displays results for various sections and materials, including CARR, TCAR, UAP, UPN, and UPE.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 25 MADRES COB						
1293 Madres Cobertura_1293	CARR 80	S 275	216.506	216.506	0.060	546
	CARR 90		192.450	192.450	0.039	ULS/528=1*1.350 + 3*1.350 + 4*1.500
	CARR 100		173.205	173.205	0.027	
1293 Madres Cobertura_1293	TCAR 60x5	S 275	223.627	223.627	0.339	546
	TCAR 70x3.2		183.683	183.683	0.317	ULS/528=1*1.350 + 3*1.350 + 4*1.500
	TCAR 70x4		186.179	186.179	0.260	
1293 Madres Cobertura_1293	UAP 200	S 275	64.097	217.051	0.091	546
	UAP 220		57.845	201.963	0.071	ULS/528=1*1.350 + 3*1.350 + 4*1.500
	UAP 250		51.452	192.114	0.054	
1293 Madres Cobertura_1293	UPN 220	S 275	58.844	218.043	0.079	546
	UPN 240		54.088	206.217	0.063	ULS/528=1*1.350 + 3*1.350 + 4*1.500
	UPN 260		49.913	194.573	0.050	
1293 Madres Cobertura_1293	UPE 160	S 275	77.169	225.169	0.143	546
	UPE 180		68.102	208.750	0.108	ULS/528=1*1.350 + 3*1.350 + 4*1.500
	UPE 200		61.626	196.901	0.085	

Figura 5.13: Janela informativa referente aos resultados do cálculo das madres da cobertura, com as sugestões das secções de cada tipo.

Pode confirmar-se que a secção que aparenta ser ótima é a "TCAR 70x3.2" que, portanto, será a utilizada. Nesta fase não se fizeram mais cálculos às madres, visto que o cálculo será verificado de novo no final do dimensionamento.

5.4.1.2 Contraventamentos

Nesta secção apenas serão feitos os cálculos para os contraventamentos presentes na cobertura, pois só estes influenciam os restantes elementos que a constituem. Numa primeira fase, corre-se o cálculo do grupo codificado ao ULS.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 14 CONTRAVENTAMENTOS COB						
1090 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	211.753	211.753	1.373	541 ULS/523=1*1.3

Figura 5.14: Janela informativa referente aos resultados do cálculo dos contraventamentos da cobertura ao ULS.

Verifica-se que o elemento referente ao pior caso falha com um rácio de 1,. Para além disso, este também falha à encurvadura, visto que *Lay* e *Laz* serem superiores a 210. Em virtude de perceber quais as barras mais esforçadas, que configuração têm, e onde se situam, optou-se por efetuar os cálculos para todos os elementos, agora ao SLS também.

EN 1993-1-2:2005/A1:2014 - Member Verification (SLS ; ULS) 613 621to721By20 632to712By20 1042to1051 1053to1058 1074to1081 1085 1086 1088to1092

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
1090 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	1.373	541 ULS/523=1*1.3	0.022	17 Wind Simulation	0.846	692 SLS CHR/2=1*
1075 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	1.333	546 ULS/528=1*1.3	0.009	833 SLS CHR/143=	0.846	692 SLS CHR/2=1*
1080 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	1.310	541 ULS/523=1*1.3	0.009	17 Wind Simulation	0.846	3 PP
1047 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	1.295	541 ULS/523=1*1.3	0.026	16 Wind Simulation	0.846	692 SLS CHR/2=1*
1092 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	1.293	303 ULS/285=1*1.3	0.073	17 Wind Simulation	0.846	3 PP
1085 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	1.280	303 ULS/285=1*1.3	0.076	840 SLS CHR/150=	0.846	3 PP
1051 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	1.228	541 ULS/523=1*1.3	0.010	845 SLS CHR/155=	0.846	692 SLS CHR/2=1*
1049 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	1.220	307 ULS/289=1*1.3	0.073	841 SLS CHR/151=	0.846	3 PP
1044 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	1.146	541 ULS/523=1*1.3	0.015	843 SLS CHR/153=	0.846	3 PP
1057 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	1.138	19 ULS/1=1*1.350	0.010	15 Wind Simulation	0.846	3 PP
1042 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	1.121	315 ULS/297=1*1.3	0.067	17 Wind Simulation	0.846	3 PP
1078 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	174.193	174.193	0.699	541 ULS/523=1*1.3	0.014	15 Wind Simulation	0.473	1027 SLS FRE/337
1054 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	174.193	174.193	0.672	541 ULS/523=1*1.3	0.030	17 Wind Simulation	0.473	692 SLS CHR/2=1*
1077 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	174.193	174.193	0.655	541 ULS/523=1*1.3	0.029	840 SLS CHR/150=	0.473	3 PP
1055 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	174.193	174.193	0.651	541 ULS/523=1*1.3	0.016	837 SLS CHR/147=	0.473	692 SLS CHR/2=1*
1050 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	0.198	16 Wind Simulation	0.016	837 SLS CHR/147=	0.846	3 PP
1081 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	0.188	18 Wind Simulation	0.019	17 Wind Simulation	0.846	3 PP
1058 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	0.172	16 Wind Simulation	0.019	15 Wind Simulation	0.846	1027 SLS FRE/337
1074 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	0.171	18 Wind Simulation	0.019	16 Wind Simulation	0.846	701 SLS CHR/11=1
613 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	159.722	159.722	0.150	312 ULS/294=1*1.3	0.030	16 Wind Simulation	0.365	3 PP
632 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	159.722	159.722	0.148	311 ULS/293=1*1.3	0.016	834 SLS CHR/144=	0.365	1027 SLS FRE/337
1046 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	174.193	174.193	0.145	19 ULS/1=1*1.350	0.024	17 Wind Simulation	0.473	701 SLS CHR/11=1
1088 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	174.193	174.193	0.145	541 ULS/523=1*1.3	0.015	15 Wind Simulation	0.473	3 PP
1045 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	174.193	174.193	0.145	541 ULS/523=1*1.3	0.016	15 Wind Simulation	0.473	1027 SLS FRE/337
1089 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	174.193	174.193	0.145	546 ULS/528=1*1.3	0.030	844 SLS CHR/154=	0.473	1117 SLS QPR/427
1043 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	0.130	17 Wind Simulation	0.041	835 SLS CHR/145=	0.846	3 PP
1056 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	0.125	15 Wind Simulation	0.029	843 SLS CHR/153=	0.846	3 PP
652 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	159.722	159.722	0.125	316 ULS/298=1*1.3	0.020	843 SLS CHR/153=	0.365	3 PP
721 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	159.722	159.722	0.122	546 ULS/528=1*1.3	0.020	832 SLS CHR/142=	0.365	701 SLS CHR/11=1
701 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	159.722	159.722	0.122	546 ULS/528=1*1.3	0.014	840 SLS CHR/150=	0.365	1027 SLS FRE/337
661 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	159.722	159.722	0.122	546 ULS/528=1*1.3	0.020	837 SLS CHR/147=	0.365	1027 SLS FRE/337
641 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	159.722	159.722	0.122	541 ULS/523=1*1.3	0.018	15 Wind Simulation	0.365	3 PP
712 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	159.722	159.722	0.122	546 ULS/528=1*1.3	0.023	834 SLS CHR/144=	0.365	3 PP
692 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	159.722	159.722	0.122	541 ULS/523=1*1.3	0.015	840 SLS CHR/150=	0.365	701 SLS CHR/11=1
681 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	159.722	159.722	0.122	546 ULS/528=1*1.3	0.027	847 SLS CHR/157=	0.365	3 PP
621 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	159.722	159.722	0.122	546 ULS/528=1*1.3	0.023	839 SLS CHR/149=	0.365	1027 SLS FRE/337
672 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	159.722	159.722	0.122	541 ULS/523=1*1.3	0.033	835 SLS CHR/145=	0.365	1117 SLS QPR/427
1053 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	0.115	17 Wind Simulation	0.023	835 SLS CHR/145=	0.846	3 PP
1091 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	0.113	18 Wind Simulation	0.042	18 Wind Simulation	0.846	3 PP
1076 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	0.109	18 Wind Simulation	0.039	839 SLS CHR/149=	0.846	1027 SLS FRE/337
1079 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	0.107	18 Wind Simulation	0.029	18 Wind Simulation	0.846	692 SLS CHR/2=1*
1048 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	0.102	15 Wind Simulation	0.041	834 SLS CHR/144=	0.846	3 PP
1086 Contraventamentos	TCAR 80x3 2	S 275	211.753	211.753	0.097	15 Wind Simulation	0.053	839 SLS CHR/149=	0.846	3 PP

Calc. Note Close
Help
Ratio
Analysis Map
Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.15: Janela informativa referente aos resultados do cálculo de todos os elementos de contraventamento da cobertura.

Daqui o que se depreendeu foi que as barras que estavam a falhar devido à sua resistência eram as diagonais que se apresentam na figura seguinte, tendo o pior caso um rácio de 1,373.

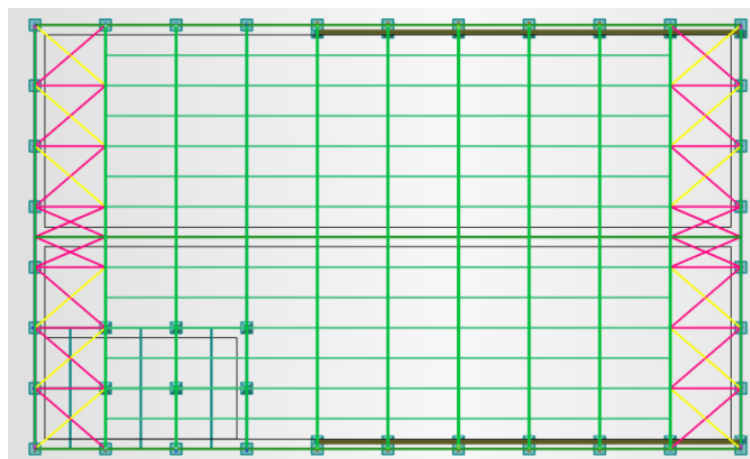


Figura 5.16: Representação das diagonais dos contraventamentos da cobertura em falha.

Para além disso, para as restantes diagonais, apesar de não falharem, o *software* avisa instabilidade, devido à encurvadura, as quais se apresentam de seguida.

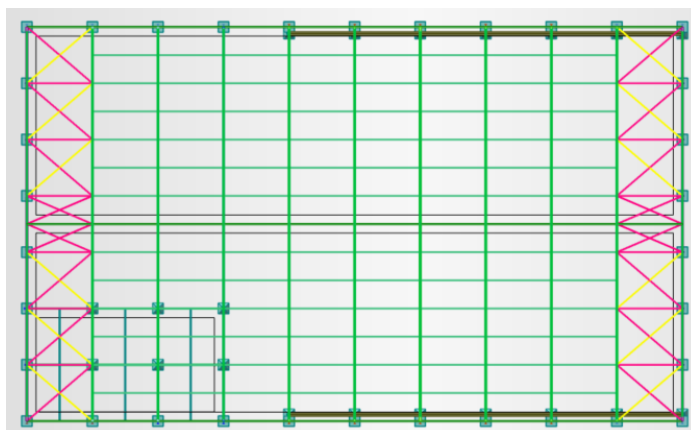


Figura 5.17: Representação das diagonais dos contraventamentos da cobertura em instabilidade devido à encurvadura.

Posto isto, para conseguir utilizar a ferramenta de otimização "*Code group design*", criaram-se dois grupos codificados incluindo, cada um, as diagonais que falharam e as diagonais instáveis, respetivamente. Visto que nenhum elemento deste estava em falha ao SLS, correram-se então os cálculos, na opção referida, para os dois novos *code groups*, cujos resultados se apresentam na Figura 5.18.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Code Group Design (ULS) 22						
Results Messages						
Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 22 contrav cob						
1090 Contraventa	CAIP 150x90x	S 275	189.239	189.239	0.801	541 ULS/523=1*1.3
1090	TCAR 80x6.3	S 275	221.294	221.294	0.779	541
Contraventamento s_1090	TCAR 90x3.2	S 275	187.321	187.321	0.980	ULS/523=1*1.350 + 3*1.350 + 5*1.050 +
1090	TCAR 90x4	S 275	189.239	189.239	0.801	541
1090	TRON 101x3.6	S 275	191.188	191.188	1.048	541
Contraventamento s_1090	TRON 101x4	S 275	191.940	191.940	0.950	ULS/523=1*1.350 + 3*1.350 + 5*1.050 +
1090	TRON 101x5	S 275	193.830	193.830	0.775	541
1090	THEX 87x7.1	S 275	227.269	227.269	0.822	541
Contraventamento s_1090	THEX 104x3.2	S 275	176.789	176.789	0.908	ULS/523=1*1.350 + 3*1.350 + 5*1.050 +
1090	THEX 104x4.5	S 275	179.417	179.417	0.672	541
1090	TREC 120x60	S 275	165.395	298.539	0.677	541
Contraventamento s_1090	TREC 120x80	S 275	146.799	201.133	0.849	ULS/523=1*1.350 + 3*1.350 + 5*1.050 +
1090	TREC 120x80	S 275	149.678	206.261	0.601	541
1090 Contraventa	CAEP 180x20	S 275	96.243	188.695	0.152	541 ULS/523=1*1.3
1090 Contraventa	CAI 150x90x1	S 275	138.861	265.899	0.664	541 ULS/523=1*1.3
1090 Contraventa	TREC 120x60	S 275	165.395	298.539	0.677	541 ULS/523=1*1.3
1090	CAE 100x12	S 275	219.743	219.743	0.739	541
Contraventamento s_1090	CAE 120x8	S 275	179.566	179.566	0.661	ULS/523=1*1.350 + 3*1.350 + 5*1.050 +
1090	CAE 120x10	S 275	180.426	180.426	0.534	541
1090	CAEP 150x18	S 275	116.057	227.048	0.278	541
Contraventamento s_1090	CAEP 180x18	S 275	95.818	188.168	0.167	ULS/523=1*1.350 + 3*1.350 + 5*1.050 +
1090	CAEP 180x20	S 275	96.243	188.695	0.152	541
1090	CARR 100	S 275	229.628	229.628	0.164	541
Contraventamento s_1090	CARR 110	S 275	208.753	208.753	0.115	ULS/523=1*1.350 + 3*1.350 + 5*1.050 +
1090	CARR 120	S 275	191.357	191.357	0.084	541
1090	ROND 120	S 275	220.959	220.959	0.136	541
Contraventamento s_1090	ROND 130	S 275	203.963	203.963	0.101	ULS/523=1*1.350 + 3*1.350 + 5*1.050 +
1090	ROND 140	S 275	189.394	189.394	0.077	541
1090 Contraventa	CARR 120	S 275	191.357	191.357	0.084	541 ULS/523=1*1.3
1090 Contraventa	PLAT 1200x80	S 275	287.035	19.136	0.025	541 ULS/523=1*1.3
1090 Contraventa	ROND 120	S 275	220.959	220.959	0.136	541 ULS/523=1*1.3

Calc. Note Close

Change Help

Change all

Calculation points

Division: n = 3

Extremes: none

Additional: none

Figura 5.18: Janela informativa referente ao cálculo de otimização das diagonais dos contraventamentos da cobertura em falha.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Code Group Design (ULS) 23

Results Messages

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	
Code group : 23 contrav cob inst							
1043	THEX 87x7.1	S 275	227.270	227.270	0.167	541	
Contraventamento	THEX 104x3.2		176.789	176.789	0.205	ULS/523=1*1.350 +	
s_1043	THEX 104x4.5		179.418	179.418	0.153	3*1.350 + 5*1.050 +	
1079	CAE 100x12	S 275	219.744	219.744	0.190	301	
Contraventamento	CAE 120x8		179.566	179.566	0.183	ULS/283=1*1.350 +	
s_1079	CAE 120x10		180.427	180.427	0.150	3*1.350 + 5*1.050 +	
1043	TRON 88x5	S 275	223.073	223.073	0.175	541	
Contraventamento	TRON 101x3.6		191.188	191.188	0.180	ULS/523=1*1.350 +	
s_1043	TRON 101x4		191.940	191.940	0.163	3*1.350 + 5*1.050 +	
1043	TCAR 80x6.3	S 275	221.294	221.294	0.118	541	
Contraventamento	TCAR 90x3.2		187.321	187.321	0.167	ULS/523=1*1.350 +	
s_1043	TCAR 90x4		189.239	189.239	0.136	3*1.350 + 5*1.050 +	
1079	Contraventa	CAE 120x10	S 275	180.427	180.427	0.150	301 ULS/283=1*1.3
1050	Contraventa	CAIP 150x90x	S 275	131.895	340.959	0.163	16 Wind Simulation
1079	Contraventa	CAEP 150x18	S 275	116.057	227.049	0.040	301 ULS/283=1*1.3
1050	Contraventa	TREC 120x60	S 275	165.395	298.540	0.109	16 Wind Simulation Y+ 27 m/s
s_1050	TREC 120x80	146.799		201.133	0.136		
s_1050	TREC 120x80	149.678		206.261	0.092		
1079	Contraventa	CAEP 180x20	S 275	96.244	188.695	0.025	301 ULS/283=1*1.3
1050	Contraventa	CAI 150x90x1	S 275	138.861	265.899	0.105	16 Wind Simulation
1050	Contraventa	TREC 120x60	S 275	165.395	298.540	0.109	16 Wind Simulation
1079	Contraventa	CAEP 150x18	S 275	116.057	227.049	0.040	301
Contraventamento	CAEP 180x18	95.818		188.169	0.027	ULS/283=1*1.350 +	
s_1079	CAEP 180x20	96.244		188.695	0.025	3*1.350 + 5*1.050 +	
1043	CARR 100	S 275	229.628	229.628	0.027	541	
Contraventamento	CARR 110		208.753	208.753	0.020	ULS/523=1*1.350 +	
s_1043	CARR 120		191.357	191.357	0.015	3*1.350 + 5*1.050 +	
1043	ROND 120	S 275	220.959	220.959	0.023	541	
Contraventamento	ROND 130		203.963	203.963	0.018	ULS/523=1*1.350 +	
s_1043	ROND 140		189.394	189.394	0.014	3*1.350 + 5*1.050 +	
1043	Contraventa	CARR 120	S 275	191.357	191.357	0.015	541 ULS/523=1*1.3
1050	Contraventa	PLAT 1200x80	S 275	287.035	19.136	0.004	16 Wind Simulation
1043	Contraventa	ROND 120	S 275	220.959	220.959	0.023	541 ULS/523=1*1.3

Calc. NoteClose

ChangeHelp

Change all

Calculation points

Division: n = 3

Extremes: none

Additional: none

Figura 5.19: Janela informativa referente ao cálculo de otimização das diagonais dos contraventamentos da cobertura em instabilidade devido à encurvadura.

Verifica-se que, para as barras em falha, a secção viável com o rácio mais aproximado de 1 é a "TCAR 90x3,2", no valor de 0,980. Já para as barras instáveis, o *software* sugere a "THEX 104x3,2", com rácio de 0.205. Note-se que para estas barras os rácios são muito baixos, mas não é possível diminuir a secção devido ao vão que elas percorrem e, por isso, aos elevados esforços de encurvadura. No entanto, decidiu-se não se optar por uma secção tubular hexagonal como a sugerida pelo *Robot*, por se achar não usual, e poder ter um peso económico negativo. Assim, e por uma questão de coerência estrutural, optou-se por escolher, para os dois casos, a secção "TRON 101x5", que é uma secção tubular circular, que garante o bom desempenho nas duas situações. Em termos de área de secção e peso assemelha-se muito à "THEX 104x3,2", no entanto o rácio, nas barras à falha, já não está tão próximo de 1, o que aumenta a fiabilidade do dimensionamento, situando-o mais do lado da segurança.

5.4.1.3 Vigas Longitudinais

No que diz respeito às vigas longitudinais, estas assumem, à priori, a secção "IPE 220". Como expectável, em primeira abordagem, correm-se os cálculos do grupo codificado respetivo.

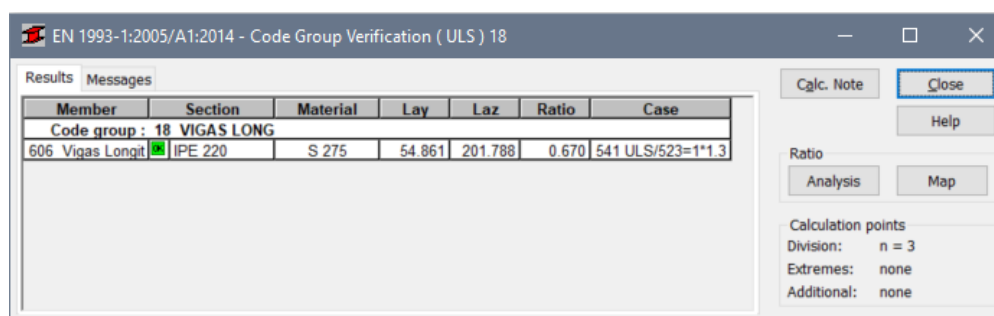


Figura 5.20: Janela informativa referente ao cálculo do grupo codificado das vigas longitudinais.

Os resultados devolvidos mostraram um rácio para a barra referente ao pior caso de 0,670, o qual se encontra bem abaixo do limite. Com vista em perceber se as barras sofrem esforços da mesma magnitude, correram-se os cálculos a todos os elementos do grupo, contando também com a verificação ao SLS.

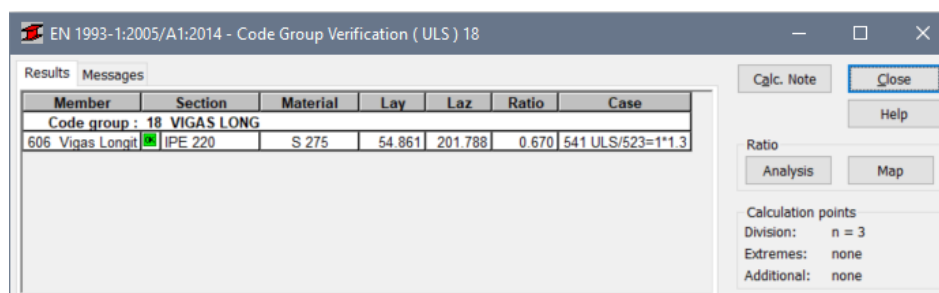


Figura 5.21: Janela informativa referente ao cálculo de todos os elementos do grupo codificado das vigas longitudinais.

Todos os elementos se verificam quer ao ULS, quer ao SLS. No entanto, existe uma grande diferença de rácios: uma parte na ordem dos 0,081 e outra na ordem dos 0,600, havendo duas exceções, com rácios à volta de 0.280. Em contexto, as vigas com rácios maiores são as que ligam os pórticos na cumieira, sendo as exceções referentes às que fazem a ligação entre o primeiro e o segundo, e o penúltimo e o último pórtico, e as de rácios menores, as que fazem as ligações nas extremidades da cobertura. Posto isto, foram criados dois grupos codificados adicionais, para se analisar separadamente as vigas no primeiro caso, e as do segundo, sendo que as duas exceções são incluídas no grupo das vigas com o rácio maior.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Code Group Design (ULS) 19

Results Messages

Member	Section	Materia	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 19 VIGAS LONG 0.6						
606 Vigas Longitudinais_606	THEX 104x3.2	S 275	133.350	133.350	1.343	541
	THEX 104x4.5		135.332	135.332	0.970	ULS/523=1*1.350 +
	THEX 104x7.1		139.946	139.946	0.668	3*1.350 + 5*1.050 +
606 Vigas Longitudinais_606	TCAR 90x4	S 275	142.740	142.740	1.140	541
	TCAR 90x5		144.430	144.430	0.930	ULS/523=1*1.350 +
	TCAR 90x6.3		146.787	146.787	0.751	3*1.350 + 5*1.050 +
606 Vigas Longitudinais_606	CAE 120x8	S 275	135.444	135.444	1.008	541
	CAE 120x10		136.093	136.093	0.806	ULS/523=1*1.350 +
	CAE 120x12		136.841	136.841	0.676	3*1.350 + 5*1.050 +
606 Vigas Longitudinais_606	TREC 120x80	S 275	110.728	151.712	1.046	541
	TREC 120x80		112.900	155.580	0.768	ULS/523=1*1.350 +
	TREC 140x80		96.718	149.425	0.927	3*1.350 + 5*1.050 +
606 Vigas Longitudinais_606	TRON 101x5	S 275	146.203	146.203	1.115	541
	TRON 101x8		150.542	150.542	0.709	ULS/523=1*1.350 +
	TRON 101x10		153.478	153.478	0.587	3*1.350 + 5*1.050 +
606 Vigas Longitudinais_606	IPE 200	S 275	60.536	223.648	0.931	541
	IPE 220		54.861	201.788	0.670	ULS/523=1*1.350 +
	IPE 240		50.128	185.682	0.485	3*1.350 + 5*1.050 +
606 Vigas Longitudinais_606	UPN 220	S 275	58.844	218.043	0.738	541
	UPN 240		54.088	206.217	0.584	ULS/523=1*1.350 +
	UPN 260		49.913	194.573	0.456	3*1.350 + 5*1.050 +

Calc. Note Close Help

Change all

Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.22: Janela informativa referente ao cálculo de otimização das vigas longitudinais centrais.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Code Group Design (ULS) 24

Results Messages

Member	Section	Materi	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 24 vigas long 0.08						
514 Vigas Longitudinais_514	TRON 70x2.9	S 275	210.566	210.566	0.950	546
	TRON 76x2.5		192.037	192.046	0.920	ULS/528=1*1.350 +
	TRON 76x2.9		193.047	193.047	0.793	3*1.350 + 4*1.500
561 Vigas Longitudinais_561	CAE 80x6.5	S 275	204.920	204.920	1.036	303
	CAE 80x8		206.028	206.028	0.865	ULS/285=1*1.350 +
	CAE 90x6		181.381	181.381	0.903	3*1.350 + 5*1.050 +
561 Vigas Longitudinais_561	TCAR 70x4	S 275	186.179	186.179	0.455	303 ULS/285=1*1.3
514 Vigas Longitudinais_514	THEX 87x3.2	S 275	161.399	161.399	0.590	546
	THEX 87x4.5		164.353	164.353	0.445	ULS/528=1*1.350 +
	TCAR 60x5		223.627	223.627	0.523	303
561 Vigas Longitudinais_561	TCAR 70x3.2	S 275	183.683	183.683	0.555	ULS/285=1*1.350 +
	TCAR 70x4		186.179	186.179	0.455	3*1.350 + 5*1.050 +
	TREC 100x50		151.444	268.833	0.222	303
561 Vigas Longitudinais_561	TREC 100x60	S 275	132.851	198.089	0.459	ULS/285=1*1.350 +
	TREC 120x60		115.519	199.374	0.276	3*1.350 + 5*1.050 +
	CAEP 120x15		109.683	214.329	0.156	313
514 Vigas Longitudinais_514	CAEP 135x10	S 275	95.596	187.777	0.202	ULS/295=1*1.350 +
	CAEP 150x9		85.956	168.583	0.166	3*1.350 + 17*1.500
	IPE 200		60.536	223.648	0.113	303
561 Vigas Longitudinais_561	IPE 220	S 275	54.861	201.788	0.081	ULS/285=1*1.350 +
	IPE 240		50.128	185.682	0.060	3*1.350 + 5*1.050 +
	UPN 220		58.844	218.043	0.090	303
561 Vigas Longitudinais_561	UPN 240	S 275	54.088	206.217	0.072	ULS/285=1*1.350 +
	UPN 260		49.913	194.573	0.056	3*1.350 + 5*1.050 +

Calc. Note Close Help

Change all

Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

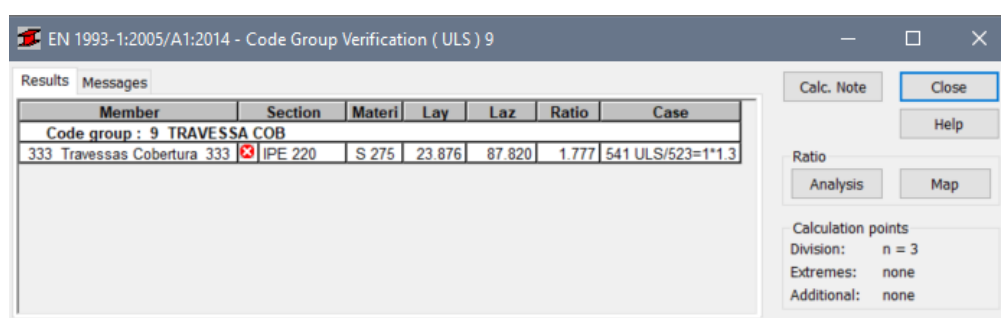
Figura 5.23: Janela informativa referente ao cálculo de otimização das vigas longitudinais das extremidades.

Assim, concluiu-se que, para as vigas longitudinais das extremidades, as secções sugeridas são muito inferiores em termos de resistência, tamanho e peso, do que a "IPE 220"predefinida. Portanto, escolheu-se a "TCAR 70x3,2"por ser uma secção leve e já estar em uso noutras partes do pavilhão.

Já para as vigas longitudinais centrais, a "IPE 220", apesar de ter bastante margem, enquadrar-se bem nos requisitos, e visto que nenhuma das secções sugeridas está em uso, e em virtude da economia de material, permaneceu-se com esta escolha. Relembra-se, no entanto, que poderão haver alterações aquando da revisão de um modo geral do material usado e dos requisitos da estrutura, já com os ajustes deste capítulo realizados.

5.4.1.4 Travessas da Cobertura

Selecionou-se o grupo codificado que engloba todas as travessas da cobertura e, analisando apenas ao ULS, que usando a função de "*Code group verification*" só é possível analisar a um Estado Limite de cada vez, apresentaram-se os seguintes resultados.



Member	Section	Materi	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 9 TRAVESSA COB						
333 Travessas Cobertura	333	X IPE 220	S 275	23 876	87.820	1.777
					541 ULS/523=1*1.3	

Figura 5.24: Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS realizados, para todas as travessas da cobertura.

Verificou-se que o elemento correspondente ao pior caso era o elemento número 333, com um rácio de 1,777, o que representa uma falha considerável. Para a colmatar, decidiu-se consultar os cálculos detalhados para analisar os parâmetros utilizados. Assim, seleciona-se o nome do elemento na janela representada na Figura 5.24.

RESULTS - Code - EN 1993-1:2005/A1:2014

Code: 9 TRAVESSA COB
 Bar: 333 Travessas Cobertura_333
 Point / Coordinate: 3 / x = 0.57 L = 8.704 m
 Load case: 541 ULS/523=1*1.350 + 3*1.350 + 5*1.050 + 4*1.500 (1+3)*1.3

Incorrect section

OK

Auto

IPE 220

Change

Simplified results Detailed results

FORCES

N _{Ed} = 416.136 kN	My _{Ed} = 9.223 kN*m	Mz _{Ed} = 0.260 kN*m	Vy _{Ed} = -0.209 kN
N _{c,Rd} = 917.689 kN	My _{Ed,max} = 13.990 kN*m	Mz _{Ed,max} = 0.260 kN*m	Vy _{T,Rd} = 363.170 kN
Nb _{Rd} = 541.150 kN	My _{c,Rd} = 78.492 kN*m	Mz _{c,Rd} = 15.981 kN*m	Vz _{Ed} = -4.567 kN
	MN _{y,Rd} = 53.406 kN*m	MN _{z,Rd} = 15.824 kN*m	Vz _{T,Rd} = 252.020 kN
	Mb _{Rd} = 22.561 kN*m		Tt _{Ed} = -0.003 kN*m
			Class of section = 1

LATERAL BUCKLING

z = 0.000	Mcr = 22.561 kN*m	Curve,LT - b	XLT = 0.287
L _{cr,upp} = 7.616 m	Lam _{LT} = 1.865	f _{i,LT} = 2.054	XLT _{mod} = 0.287

BUCKLING y

Ly = 15.232 m	Lam _y = 0.275
L _{cr,y} = 2.176 m	Xy = 0.983
Lamy = 23.876	kyy = 2.044

BUCKLING z

Lz = 15.232 m	Lam _z = 1.012
L _{cr,z} = 2.176 m	Xz = 0.590
Lamz = 87.820	kyz = 2.949

SECTION CHECK

N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.453 < 1.000 (6.2.4.(1))
 Vz_{Ed}/Vz_{T,Rd} = 0.018 < 1.000 (6.2.6-7)

MEMBER STABILITY CHECK

Lamy = 23.876 < Lam_{max} = 210.000 Lamz = 87.820 < Lam_{max} = 210.000 STABLE
 N_{Ed}/(Xy*N_{Rk}/gM1) + kyy*My_{Ed,max}/(XLT*My_{Rk}/gM1) + kyz*Mz_{Ed,max}/(Mz_{Rk}/gM1) = 1.777 > 1.000 (6.3.3.(4))

Forces

Detailed

Calc. Note

Parameters

Help

Figura 5.25: Janela informativa referente aos vários passos do cálculos de verificação ao ULS realizados, para a travessa da cobertura número 333.

Observou-se aqui, pelas duas equações na parte "*SECTION CHECK*", que inclusivamente estão referenciadas pela numeração presente no EC3-1, que a secção resiste à compressão e ao esforço transversal com uma boa margem (Comité Européen de Normalização (1993)). Viu-se também, na secção "*MEMBER STABILITY CHECK*" que a secção comprovou-se estável à encurvadura nos dois eixos. No entanto, na combinação de ações avaliada, à "flexão composta com compressão", como descrito no ponto 6.3.3 do EC3-1, a IPE 220 não se verifica suficiente (Comité Européen de Normalização (1993)). Em virtude de comparar os resultados com as restantes travessas, passou-se então ao cálculo de todos os elementos deste grupo codificado, utilizando a primeira opção de cálculo - "*Member verification*" - e, por conveniência do uso desta mesma opção, incluindo a análise ao SLS.

EN 1993-1-2005/A1:2014 - Member Verification (SLS ; ULS) 2 3 72 73 152to392By30 153to393By30

Results Messages

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	Ratio(vx)	Case (vx)	Ratio(vy)	Case (vy)
392 Travessas Cobertura 392	✓ IPE 220	S 275	23.876	175.641	0.343	543 ULS/525=1*1.3	0.045	835 SLS CHR/145=	0.004	844 SLS CHR/154=	0.005	835 SLS CHR/145=	0.075	957 SLS CHR/267=
182 Travessas Cobertura 182	✓ IPE 220	S 275	23.877	87.821	0.354	546 ULS/528=1*1.3	0.045	834 SLS CHR/144=	0.094	957 SLS CHR/267=	0.027	957 SLS CHR/267=	0.038	838 SLS CHR/148=
2 Travessas Cobertura 2	✓ IPE 220	S 275	23.876	175.641	0.377	543 ULS/525=1*1.3	0.049	834 SLS CHR/144=	0.005	846 SLS CHR/156=	0.005	847 SLS CHR/157=	0.024	838 SLS CHR/148=
152 Travessas Cobertura 152	✓ IPE 220	S 275	23.877	87.821	0.395	541 ULS/523=1*1.3	0.046	834 SLS CHR/144=	0.090	957 SLS CHR/267=	0.025	957 SLS CHR/267=	0.032	838 SLS CHR/148=
393 Travessas Cobertura 393	✓ IPE 220	S 275	23.876	175.641	0.439	307 ULS/289=1*1.3	0.075	843 SLS CHR/153=	0.004	840 SLS CHR/150=	0.005	835 SLS CHR/145=	0.074	957 SLS CHR/267=
3 Travessas Cobertura 3	✓ IPE 220	S 275	23.876	175.641	0.448	311 ULS/293=1*1.3	0.075	16 Wind Simulation	0.005	840 SLS CHR/150=	0.005	839 SLS CHR/149=	0.024	847 SLS CHR/157=
72 Travessas Cobertura 72	✓ IPE 220	S 275	23.876	87.820	0.486	541 ULS/523=1*1.3	0.046	834 SLS CHR/144=	0.068	957 SLS CHR/267=	0.011	957 SLS CHR/267=	0.026	838 SLS CHR/148=
73 Travessas Cobertura 73	✓ IPE 220	S 275	23.876	87.820	1.013	311 ULS/293=1*1.3	0.073	835 SLS CHR/145=	0.190	957 SLS CHR/267=	0.013	957 SLS CHR/267=	0.027	846 SLS CHR/156=
153 Travessas Cobertura 153	✓ IPE 220	S 275	23.876	87.820	1.114	548 ULS/530=1*1.3	0.073	835 SLS CHR/145=	0.213	957 SLS CHR/267=	0.010	957 SLS CHR/267=	0.032	846 SLS CHR/156=
183 Travessas Cobertura 183	✓ IPE 220	S 275	23.876	87.820	1.144	548 ULS/530=1*1.3	0.072	835 SLS CHR/145=	0.218	957 SLS CHR/267=	0.011	957 SLS CHR/267=	0.037	846 SLS CHR/156=
303 Travessas Cobertura 303	✓ IPE 220	S 275	23.876	87.820	1.432	541 ULS/523=1*1.3	0.071	843 SLS CHR/153=	0.271	952 SLS CHR/262=	0.026	692 SLS CHR/2=1*	0.060	957 SLS CHR/267=
362 Travessas Cobertura 362	✓ IPE 220	S 275	23.876	87.820	1.613	541 ULS/523=1*1.3	0.043	834 SLS CHR/144=	0.241	957 SLS CHR/267=	0.018	957 SLS CHR/267=	0.072	957 SLS CHR/267=
363 Travessas Cobertura 363	✓ IPE 220	S 275	23.876	87.820	1.613	546 ULS/528=1*1.3	0.071	843 SLS CHR/153=	0.240	957 SLS CHR/267=	0.018	957 SLS CHR/267=	0.072	957 SLS CHR/267=
243 Travessas Cobertura 243	✓ IPE 220	S 275	23.876	87.820	1.728	546 ULS/528=1*1.3	0.072	843 SLS CHR/153=	0.269	952 SLS CHR/262=	0.027	952 SLS CHR/262=	0.048	957 SLS CHR/267=
212 Travessas Cobertura 212	✓ IPE 220	S 275	23.876	87.820	1.735	541 ULS/523=1*1.3	0.045	834 SLS CHR/144=	0.270	952 SLS CHR/262=	0.027	957 SLS CHR/267=	0.043	838 SLS CHR/148=
242 Travessas Cobertura 242	✓ IPE 220	S 275	23.876	87.820	1.737	541 ULS/523=1*1.3	0.044	834 SLS CHR/144=	0.269	952 SLS CHR/262=	0.027	952 SLS CHR/262=	0.049	838 SLS CHR/148=
272 Travessas Cobertura 272	✓ IPE 220	S 275	23.876	87.820	1.740	541 ULS/523=1*1.3	0.044	834 SLS CHR/144=	0.269	957 SLS CHR/267=	0.027	957 SLS CHR/267=	0.054	838 SLS CHR/148=
273 Travessas Cobertura 273	✓ IPE 220	S 275	23.876	87.820	1.741	541 ULS/523=1*1.3	0.071	843 SLS CHR/153=	0.269	957 SLS CHR/267=	0.027	957 SLS CHR/267=	0.054	957 SLS CHR/267=
213 Travessas Cobertura 213	✓ IPE 220	S 275	23.876	87.820	1.742	541 ULS/523=1*1.3	0.072	843 SLS CHR/153=	0.270	957 SLS CHR/267=	0.027	957 SLS CHR/267=	0.043	846 SLS CHR/156=
302 Travessas Cobertura 302	✓ IPE 220	S 275	23.876	87.820	1.745	541 ULS/523=1*1.3	0.043	834 SLS CHR/144=	0.269	952 SLS CHR/262=	0.027	952 SLS CHR/262=	0.060	956 SLS CHR/266=
332 Travessas Cobertura 332	✓ IPE 220	S 275	23.876	87.820	1.758	541 ULS/523=1*1.3	0.043	834 SLS CHR/144=	0.270	957 SLS CHR/267=	0.027	957 SLS CHR/267=	0.066	957 SLS CHR/267=
333 Travessas Cobertura 333	✓ IPE 220	S 275	23.876	87.820	1.777	541 ULS/523=1*1.3	0.071	843 SLS CHR/153=	0.270	957 SLS CHR/267=	0.027	957 SLS CHR/267=	0.066	957 SLS CHR/267=

Calc. Note Close
Help
Ratio
Analysis Map
Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.26: Janela informativa referente aos vários passos do cálculo de verificação ao ULS realizado, para todas a travessas da cobertura.

Comparando os parâmetros de encurvadura e os resultados L_{az} e L_{ay} das barras que são do mesmo tipo, verificou-se que estas apresentam os mesmos valores, que permite concluir que o *software* não cometeu erros nestes cálculos. No secção "*FORCES*" também se verificam forças idênticas, nos membros que são do mesmo tipo e se apresentam na mesma vertente da cobertura, uma vez que neste caso, no que toca às cargas do vento, existe sucção numa vertente e pressão na outra. Desta análise concluiu-se que as únicas travessas que não estavam a falhar eram as dos pórticos que tinham apoios intermédios, que portanto são as que se situam nos pórticos dos topos e as que estão diretamente em cima da zona de escritórios (do lado direito na perspectiva da fachada frontal do pavilhão). As travessas em falha apresentam-se na figura seguinte, realçadas com a cor amarela.

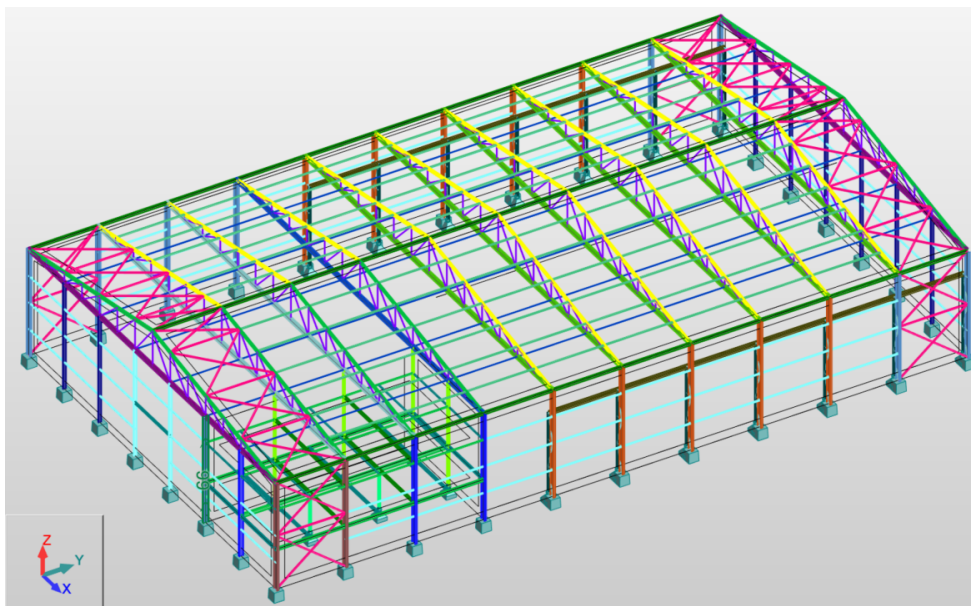


Figura 5.27: Representação da estrutura realçando as travessas da cobertura em falha ao ULS.

Naturalmente que, com a inviabilidade de colocar suportes adicionais para a cobertura dos pórticos onde as travessas falham, foi necessário utilizar uma secção mais resistente para estes elementos, optando-se pela "IPE 300". Em virtude da coerência visual e económica, de não incorrer em desequilíbrios estruturais, nos pórticos suportados pelas zona de escritórios, alterou-se a secção das travessas da cobertura nas duas vertentes. Correndo os cálculos de novo:

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	Ratio(vx)	Case (vx)	Ratio(vy)	Case (vy)
182 Travessas Cobertura 182	IPE 300	S 275	17.463	64.964	0.289	546 ULS/528=1*1.3	0.029	834 SLS CHR/144=	0.082	957 SLS CHR/267=	0.022	957 SLS CHR/267=	0.035	838 SLS CHR/148=
392 Travessas Cobertura 392	IPE 220	S 275	23.876	175.641	0.325	543 ULS/525=1*1.3	0.038	835 SLS CHR/145=	0.004	844 SLS CHR/154=	0.005	835 SLS CHR/145=	0.068	846 SLS CHR/156=
2 Travessas Cobertura 2	IPE 220	S 275	23.876	175.641	0.356	543 ULS/525=1*1.3	0.042	834 SLS CHR/144=	0.005	847 SLS CHR/157=	0.005	847 SLS CHR/157=	0.022	846 SLS CHR/156=
152 Travessas Cobertura 152	IPE 300	S 275	17.463	64.964	0.375	543 ULS/525=1*1.3	0.029	834 SLS CHR/144=	0.078	957 SLS CHR/267=	0.021	957 SLS CHR/267=	0.029	838 SLS CHR/148=
393 Travessas Cobertura 393	IPE 220	S 275	23.876	175.641	0.392	545 ULS/527=1*1.3	0.059	18 Wind Simulation	0.004	840 SLS CHR/150=	0.005	835 SLS CHR/145=	0.068	957 SLS CHR/267=
3 Travessas Cobertura 3	IPE 220	S 275	23.876	175.641	0.403	548 ULS/530=1*1.3	0.060	16 Wind Simulation	0.005	840 SLS CHR/150=	0.005	839 SLS CHR/149=	0.022	847 SLS CHR/157=
72 Travessas Cobertura 72	IPE 300	S 275	17.463	64.964	0.403	541 ULS/523=1*1.3	0.029	834 SLS CHR/144=	0.058	957 SLS CHR/267=	0.014	957 SLS CHR/267=	0.024	838 SLS CHR/148=
73 Travessas Cobertura 73	IPE 300	S 275	17.463	64.964	0.798	311 ULS/293=1*1.3	0.043	835 SLS CHR/145=	0.173	957 SLS CHR/267=	0.006	957 SLS CHR/267=	0.024	847 SLS CHR/157=
153 Travessas Cobertura 153	IPE 300	S 275	17.463	64.964	0.851	548 ULS/530=1*1.3	0.042	835 SLS CHR/145=	0.190	957 SLS CHR/267=	0.002	957 SLS CHR/267=	0.030	847 SLS CHR/157=
183 Travessas Cobertura 183	IPE 300	S 275	17.463	64.964	0.869	548 ULS/530=1*1.3	0.042	835 SLS CHR/145=	0.195	957 SLS CHR/267=	0.003	957 SLS CHR/267=	0.035	846 SLS CHR/156=
303 Travessas Cobertura 303	IPE 300	S 275	17.462	64.963	0.976	303 ULS/285=1*1.3	0.042	843 SLS CHR/153=	0.235	952 SLS CHR/262=	0.030	692 SLS CHR/2=1*	0.055	846 SLS CHR/156=
363 Travessas Cobertura 363	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.029	546 ULS/528=1*1.3	0.041	843 SLS CHR/153=	0.209	957 SLS CHR/267=	0.022	957 SLS CHR/267=	0.066	957 SLS CHR/267=
362 Travessas Cobertura 362	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.046	541 ULS/523=1*1.3	0.027	834 SLS CHR/144=	0.210	957 SLS CHR/267=	0.022	957 SLS CHR/267=	0.066	846 SLS CHR/156=
243 Travessas Cobertura 243	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.086	546 ULS/528=1*1.3	0.042	843 SLS CHR/153=	0.232	952 SLS CHR/262=	0.030	952 SLS CHR/262=	0.045	846 SLS CHR/156=
242 Travessas Cobertura 242	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.090	541 ULS/523=1*1.3	0.028	834 SLS CHR/144=	0.232	952 SLS CHR/262=	0.030	952 SLS CHR/262=	0.045	838 SLS CHR/148=
212 Travessas Cobertura 212	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.091	541 ULS/523=1*1.3	0.028	834 SLS CHR/144=	0.232	952 SLS CHR/262=	0.030	957 SLS CHR/267=	0.040	838 SLS CHR/148=
273 Travessas Cobertura 273	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.091	541 ULS/523=1*1.3	0.042	843 SLS CHR/153=	0.232	957 SLS CHR/267=	0.030	957 SLS CHR/267=	0.050	846 SLS CHR/156=
213 Travessas Cobertura 213	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.092	546 ULS/528=1*1.3	0.042	843 SLS CHR/153=	0.232	957 SLS CHR/267=	0.030	957 SLS CHR/267=	0.040	846 SLS CHR/156=
272 Travessas Cobertura 272	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.093	541 ULS/523=1*1.3	0.028	834 SLS CHR/144=	0.232	957 SLS CHR/267=	0.030	957 SLS CHR/267=	0.050	846 SLS CHR/156=
302 Travessas Cobertura 302	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.096	541 ULS/523=1*1.3	0.028	834 SLS CHR/144=	0.230	952 SLS CHR/262=	0.030	952 SLS CHR/262=	0.056	846 SLS CHR/156=
333 Travessas Cobertura 333	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.106	541 ULS/523=1*1.3	0.042	843 SLS CHR/153=	0.232	957 SLS CHR/267=	0.030	957 SLS CHR/267=	0.060	961 SLS CHR/271=
332 Travessas Cobertura 332	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.107	541 ULS/523=1*1.3	0.027	834 SLS CHR/144=	0.232	957 SLS CHR/267=	0.030	957 SLS CHR/267=	0.061	846 SLS CHR/156=

Figura 5.28: Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS e SLS para todas a travessas da cobertura, já com a mudança da secção dos elementos referidos para "IPE 300".

Como se verificou, com a secção "IPE 300", permaneciam barras em falha. No entanto, o rácio do pior caso toma o valor de 1,107, o qual se encontra muito próximo do 1. Sendo que com cálculo do restante da estrutura, principalmente as travessas longitudinais e os pilares "em baioneta", esta ficará mais rígida, o que fará com que os deslocamentos sejam menores, é possível que não seja necessário aumentar a secção das travessas da cobertura (Reis Gomes (2014)). É importante notar que, qualquer dimensionamento deste tipo tem uma componente iterativa inerente, pelo que no final desta secção, terá de se voltar a analisar os diferentes elementos e fazer alguns ajustes se necessário.

5.4.1.5 Montantes e Diagonais da Asna

Os montantes e diagonais da asna são compostos por barras de secção tubular quadrada "TCAR 80x3.2", e foram definidos como simplesmente apoiados. Ao efetuar os cálculos para o grupo codificado correspondente, o que se encontra é a falha de quase todas as barras, mas não devido à resistência da secção nem à encurvadura. A falha proporcionou-se pelo facto de, nos parâmetros do SLS, aquando da definição do *member type* no capítulo 3, ter sido ativada a opção de limite dos deslocamentos dos nós no plano horizontal para toda a estrutura.

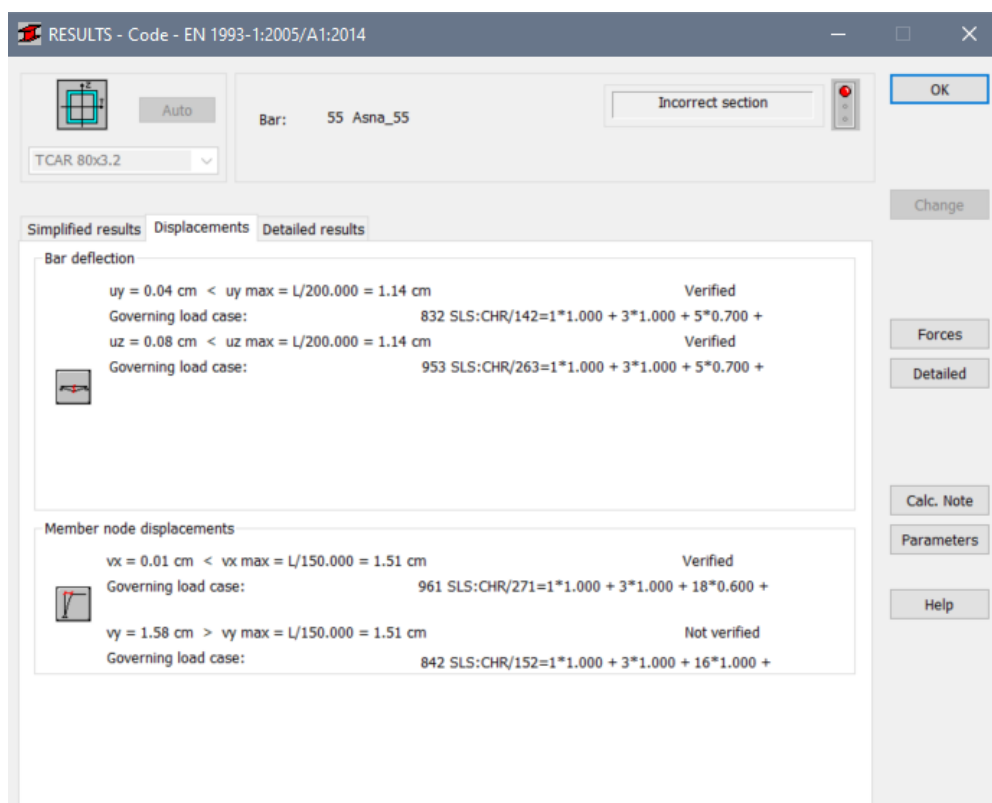


Figura 5.29: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do SLS para o elemento da asna correspondente ao pior caso.

Tal consideração faz sentido para os pilares, conforme previsto no EC3-1, mas no caso da asna em específico, o limite de $x = L/150$ e $y = L/150$ é irrealista, porque em barras muito pequenas, como é o caso das diagonais e montantes das extremidades da cobertura, os deslocamentos são da ordem dos poucos milímetros, pelo que são considerados ignoráveis do ponto de vista de projeto (Comité Européen de Normalização (1993)). Assim, aliado ao facto da asna se mover maioritariamente solidária com as travessas, o limite governante deve ser a deflexão dessas mesmas travessas, como será considerado. Adicionalmente, no resto do dimensionamento, aplicar-se-á este mesmo princípio.

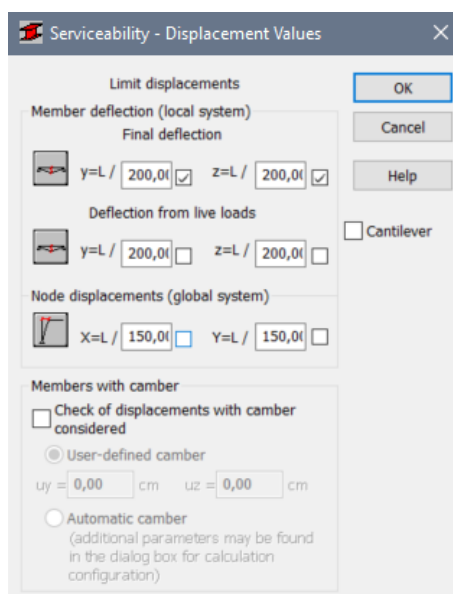


Figura 5.30: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS para o elemento da asna correspondente ao pior caso.

Aplicaram-se posteriormente os mesmos cálculos de verificação do ULS do grupo codificado, mas com a opção referida desativa.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 10 ASNA						
161 Asna 161	TCAR 80x3.2	S 275	91.262	91.262	0.735	546 ULS/528=1*1.3

Figura 5.31: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS para o elemento da asna correspondente ao pior caso.

Verifica-se que a secção "TCAR 80x3,2" cumpre os requisitos, no entanto, com vista em certificar se se conseguia obter um bom desempenho com uma secção mais pequena e mais económica, efetuou-se a verificação do ULS e SLS para o elemento correspondente ao pior caso, a barra número 161, com a secção "TCAR 70x3,2".

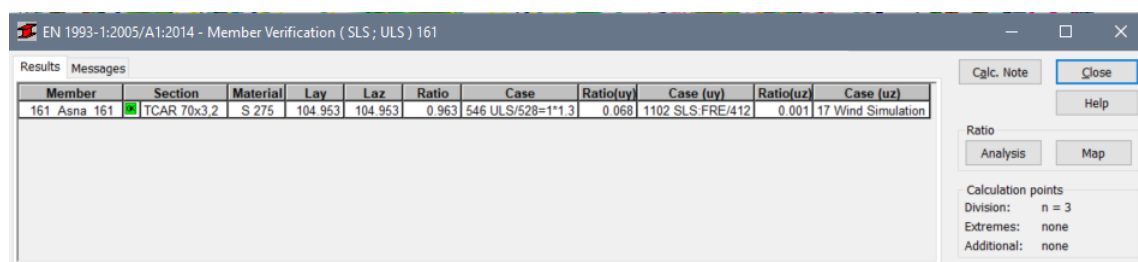


Figura 5.32: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS para a barra número 161.

Conclui-se que, no pior caso, o rácio é de 0,963 que, apesar de bastante próximo do 1, está no lado da segurança, e é expectável que decresça com o dimensionamento dos restantes elementos da estrutura principal, razão pela qual se mantém a "TCAR 70x3,2".

5.4.1.6 Tirantes

Os tirantes são as barras que fazem o travamento lateral das travessas longitudinais, e estão simplesmente apoiadas. A secção que assumem, à priori, é a "TCAR 50x3,2", pelo qual se fazem os cálculos para o pior caso.

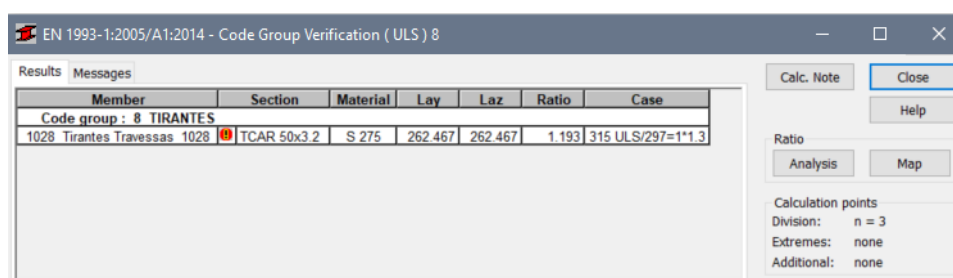


Figura 5.33: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS aos tirantes.

Verifica-se que o tirante correspondente ao pior caso, a barra número 1028, falha com um rácio de 1,193, o que representa uma margem baixa. Assim, para ter a certeza que estes elementos só estão a falhar ao ULS, corre-se todo o cálculo (ULS e SLS) para todos os elementos do grupo codificado.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Member Verification (SLS; ULS) 1023 1025to1029 1032to1036 1038 1052 1059to1062 1064to1067 1097 1098 1100to1105 1107to1112 1114to1119 1121to1126 1128 1135to1139 1141to1146 1148

Results Messages

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	Ratio(vx)	Case (vx)	Ratio(vy)	Case (vy)
1059 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.555	311 ULS/293=1*1.3	0.108	17 Wind Simulation	1.234	701 SLS CHR/11=1	0.087	693 SLS CHR/3=1*	0.004	842 SLS CHR/152=
1064 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.669	307 ULS/289=1*1.3	0.163	837 SLS CHR/147=	1.234	702 SLS CHR/12=1	0.088	693 SLS CHR/3=1*	0.006	838 SLS CHR/148=
1066 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.525	311 ULS/293=1*1.3	0.108	836 SLS CHR/146=	1.234	702 SLS CHR/12=1	0.226	957 SLS CHR/267=	0.004	842 SLS CHR/152=
1136 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.584	307 ULS/289=1*1.3	0.070	838 SLS CHR/148=	1.234	1027 SLS FRE/337	0.020	837 SLS CHR/147=	0.005	838 SLS CHR/148=
1144 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.660	307 ULS/289=1*1.3	0.149	18 Wind Simulation	1.234	701 SLS CHR/11=1	0.006	701 SLS CHR/11=1	0.005	838 SLS CHR/148=
1124 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.560	307 ULS/289=1*1.3	0.112	17 Wind Simulation	1.234	691 SLS CHR/2=1*	0.009	958 SLS CHR/268=	0.004	838 SLS CHR/148=
1137 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.599	307 ULS/289=1*1.3	0.103	836 SLS CHR/146=	1.234	691 SLS CHR/1=1*	0.016	15 Wind Simulation	0.005	838 SLS CHR/148=
1067 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.553	303 ULS/285=1*1.3	0.096	844 SLS CHR/154=	1.234	691 SLS CHR/1=1*	0.213	957 SLS CHR/267=	0.004	834 SLS CHR/144=
1123 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.555	307 ULS/289=1*1.3	0.090	17 Wind Simulation	1.234	952 SLS CHR/262=	0.009	958 SLS CHR/268=	0.004	838 SLS CHR/148=
1100 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.753	307 ULS/289=1*1.3	0.180	845 SLS CHR/155=	1.234	3 PP	0.141	958 SLS CHR/268=	0.007	838 SLS CHR/148=
1143 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.635	307 ULS/289=1*1.3	0.193	18 Wind Simulation	1.234	952 SLS CHR/262=	0.020	957 SLS CHR/267=	0.005	838 SLS CHR/148=
1117 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.527	307 ULS/289=1*1.3	0.116	836 SLS CHR/146=	1.234	1102 SLS FRE/412	0.008	958 SLS CHR/268=	0.004	838 SLS CHR/148=
1119 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.495	307 ULS/289=1*1.3	0.116	17 Wind Simulation	1.234	840 SLS CHR/150=	0.002	958 SLS CHR/268=	0.004	841 SLS CHR/151=
1060 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.580	303 ULS/285=1*1.3	0.096	17 Wind Simulation	1.234	833 SLS CHR/143=	0.088	693 SLS CHR/3=1*	0.005	834 SLS CHR/144=
1038 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.666	307 ULS/289=1*1.3	0.153	845 SLS CHR/155=	1.234	840 SLS CHR/150=	0.067	957 SLS CHR/267=	0.006	838 SLS CHR/148=
1034 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.613	311 ULS/293=1*1.3	0.097	832 SLS CHR/142=	1.234	832 SLS CHR/142=	0.054	957 SLS CHR/267=	0.005	842 SLS CHR/152=
1109 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.503	307 ULS/289=1*1.3	0.092	844 SLS CHR/154=	1.234	836 SLS CHR/146=	0.002	958 SLS CHR/268=	0.004	838 SLS CHR/148=
1033 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.584	311 ULS/293=1*1.3	0.092	17 Wind Simulation	1.234	836 SLS CHR/146=	0.047	957 SLS CHR/267=	0.005	842 SLS CHR/152=
1114 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.760	307 ULS/289=1*1.3	0.173	844 SLS CHR/154=	1.234	844 SLS CHR/154=	0.002	958 SLS CHR/268=	0.007	838 SLS CHR/148=
1121 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.766	307 ULS/289=1*1.3	0.173	836 SLS CHR/146=	1.235	834 SLS CHR/144=	0.008	958 SLS CHR/268=	0.007	838 SLS CHR/148=
1141 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.797	307 ULS/289=1*1.3	0.152	17 Wind Simulation	1.235	835 SLS CHR/145=	0.032	832 SLS CHR/142=	0.007	838 SLS CHR/148=
1107 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.755	307 ULS/289=1*1.3	0.180	844 SLS CHR/154=	1.235	834 SLS CHR/144=	0.004	833 SLS CHR/143=	0.007	838 SLS CHR/148=
1116 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.528	307 ULS/289=1*1.3	0.090	840 SLS CHR/150=	1.236	844 SLS CHR/154=	0.008	958 SLS CHR/268=	0.004	838 SLS CHR/148=
1102 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.498	311 ULS/293=1*1.3	0.097	17 Wind Simulation	1.236	836 SLS CHR/146=	0.004	833 SLS CHR/143=	0.004	842 SLS CHR/152=
1128 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.779	307 ULS/289=1*1.3	0.167	836 SLS CHR/146=	1.237	834 SLS CHR/144=	0.009	958 SLS CHR/268=	0.007	838 SLS CHR/148=
1025 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.661	311 ULS/293=1*1.3	0.121	842 SLS CHR/152=	1.237	843 SLS CHR/153=	0.043	957 SLS CHR/267=	0.005	842 SLS CHR/152=
1145 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.702	307 ULS/289=1*1.3	0.136	846 SLS CHR/156=	1.238	832 SLS CHR/142=	0.005	838 SLS CHR/148=	0.006	838 SLS CHR/148=
1104 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.526	315 ULS/297=1*1.3	0.120	841 SLS CHR/151=	1.241	832 SLS CHR/142=	0.004	833 SLS CHR/143=	0.004	846 SLS CHR/156=
1111 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.557	315 ULS/297=1*1.3	0.120	841 SLS CHR/151=	1.241	840 SLS CHR/150=	0.002	958 SLS CHR/268=	0.004	846 SLS CHR/156=
1103 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.525	303 ULS/285=1*1.3	0.112	17 Wind Simulation	1.241	832 SLS CHR/142=	0.004	833 SLS CHR/143=	0.004	834 SLS CHR/144=
1029 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.673	303 ULS/285=1*1.3	0.189	834 SLS CHR/144=	1.242	835 SLS CHR/145=	0.024	842 SLS CHR/152=	0.006	838 SLS CHR/148=
1061 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.531	311 ULS/293=1*1.3	0.112	833 SLS CHR/143=	1.242	836 SLS CHR/146=	0.088	693 SLS CHR/3=1*	0.004	842 SLS CHR/152=
1025 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.637	311 ULS/293=1*1.3	0.178	843 SLS CHR/153=	1.242	844 SLS CHR/154=	0.040	957 SLS CHR/267=	0.005	842 SLS CHR/152=
1027 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.658	311 ULS/293=1*1.3	0.153	834 SLS CHR/144=	1.244	834 SLS CHR/144=	0.039	957 SLS CHR/267=	0.005	842 SLS CHR/152=
1035 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.579	311 ULS/293=1*1.3	0.103	832 SLS CHR/142=	1.245	841 SLS CHR/151=	0.060	957 SLS CHR/267=	0.004	842 SLS CHR/152=
1098 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	1.039	315 ULS/297=1*1.3	0.097	15 Wind Simulation	1.248	836 SLS CHR/146=	0.174	957 SLS CHR/267=	0.010	846 SLS CHR/156=
1118 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.587	315 ULS/297=1*1.3	0.114	17 Wind Simulation	1.250	832 SLS CHR/142=	0.008	958 SLS CHR/268=	0.005	846 SLS CHR/156=
1138 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.650	307 ULS/289=1*1.3	0.103	844 SLS CHR/154=	1.250	833 SLS CHR/143=	0.020	840 SLS CHR/150=	0.005	838 SLS CHR/148=
1125 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.616	315 ULS/297=1*1.3	0.095	840 SLS CHR/150=	1.250	832 SLS CHR/142=	0.009	958 SLS CHR/268=	0.005	846 SLS CHR/156=
1146 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.818	307 ULS/289=1*1.3	0.193	846 SLS CHR/156=	1.251	845 SLS CHR/155=	0.020	838 SLS CHR/148=	0.007	838 SLS CHR/148=
1097 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.494	311 ULS/293=1*1.3	0.109	833 SLS CHR/143=	1.251	832 SLS CHR/142=	0.196	957 SLS CHR/267=	0.004	833 SLS CHR/143=
1148 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.850	307 ULS/289=1*1.3	0.204	847 SLS CHR/157=	1.252	839 SLS CHR/149=	0.039	952 SLS CHR/262=	0.007	838 SLS CHR/148=
1115 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.526	307 ULS/289=1*1.3	0.176	15 Wind Simulation	1.252	832 SLS CHR/142=	0.008	958 SLS CHR/268=	0.004	838 SLS CHR/148=
1101 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.473	311 ULS/293=1*1.3	0.176	15 Wind Simulation	1.252	832 SLS CHR/142=	0.004	833 SLS CHR/143=	0.003	842 SLS CHR/152=
1108 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.468	315 ULS/297=1*1.3	0.176	15 Wind Simulation	1.252	840 SLS CHR/150=	0.002	958 SLS CHR/268=	0.003	846 SLS CHR/156=
1125 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.987	315 ULS/297=1*1.3	0.086	15 Wind Simulation	1.252	837 SLS CHR/147=	0.004	833 SLS CHR/143=	0.010	846 SLS CHR/156=
1065 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.531	311 ULS/293=1*1.3	0.173	840 SLS CHR/150=	1.253	833 SLS CHR/143=	0.237	957 SLS CHR/267=	0.004	842 SLS CHR/152=
1028 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	1.193	315 ULS/297=1*1.3	0.172	15 Wind Simulation	1.254	845 SLS CHR/155=	0.033	957 SLS CHR/267=	0.012	846 SLS CHR/156=
1126 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.857	307 ULS/289=1*1.3	0.109	15 Wind Simulation	1.255	837 SLS CHR/147=	0.009	958 SLS CHR/268=	0.008	838 SLS CHR/148=
1036 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	1.133	315 ULS/297=1*1.3	0.078	15 Wind Simulation	1.260	837 SLS CHR/147=	0.065	957 SLS CHR/267=	0.011	846 SLS CHR/156=
1112 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.939	315 ULS/297=1*1.3	0.097	833 SLS CHR/143=	1.260	836 SLS CHR/146=	0.002	958 SLS CHR/268=	0.009	846 SLS CHR/156=
1119 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.897	315 ULS/297=1*1.3	0.097	832 SLS CHR/142=	1.260	845 SLS CHR/155=	0.008	958 SLS CHR/268=	0.008	846 SLS CHR/156=
1139 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.823	307 ULS/289=1*1.3	0.086	833 SLS CHR/143=	1.261	836 SLS CHR/146=	0.026	840 SLS CHR/150=	0.007	838 SLS CHR/148=
1032 Tirantes Travessas	TCAR 50x3.2	S 275	262.467	262.467	0.665	311 ULS/293=1*1.3	0.155	833 SLS CHR/143=	1.261	833 SLS CHR/143=	0.042	957 SLS CHR/267=	0.005	842 SLS CHR/152=

Calc. Note Close Help

Ratio Analysis Map

Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.34: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS a todos os tirantes.

Como se verifica, mesmo os elementos que se verificam ao ULS com rácios na ordem dos 0,500, não verificam as condições impostas pelo SLS, e reprovam com rácios de 1,200. Assim, correu-se o cálculo de otimização ao ULS, por forma a obter as sugestões de secções do programa, para depois serem verificadas ao SLS.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Code Group Design (ULS) 8

Results Messages

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 8 TIRANTES						
1028 Tirantes Travessas_1028	CAE 70x7	S 275	235.664	235.664	0.754	315
	CAE 80x5.5		204.340	204.340	0.669	ULS/297=1*1.350 +
	CAE 80x6.5		204.920	204.920	0.569	3*1.350 + 18*1.500
1028 Tirantes Travessas_1028	TCAR 60x5	S 275	223.627	223.627	0.482	315
	TCAR 70x3.2		183.683	183.683	0.442	ULS/297=1*1.350 +
	TCAR 70x4		186.179	186.179	0.363	3*1.350 + 18*1.500
1028 Tirantes Travessas_1028	CAEP 120x15	S 275	109.683	214.329	0.139	315
	CAEP 135x10		95.596	187.777	0.143	ULS/297=1*1.350 +
	CAEP 150x9		85.956	168.583	0.108	3*1.350 + 18*1.500
1028 Tirantes Travessas_1028	THEX 87x3.2	S 275	161.399	161.399	0.348	315
	THEX 87x4.5		164.353	164.353	0.262	ULS/297=1*1.350 +
	TRON 62x2.5		236.298	236.292	1.311	315
1028 Tirantes Travessas_1028	TRON 70x2.5	S 275	209.377	209.361	0.945	ULS/297=1*1.350 +
	TRON 70x2.9		210.566	210.566	0.824	3*1.350 + 18*1.500

Calc. Note

Close

Help

Change all

Calculation points

Division: n = 3

Extremes: none

Additional: none

Verifica-se que o *software* sugere uma secção já em uso noutras barras do pavilhão, a "TCAR 70x3,2", pelo qual será essa a adotada. Passou-se de seguida a verificação das condições do SLS.

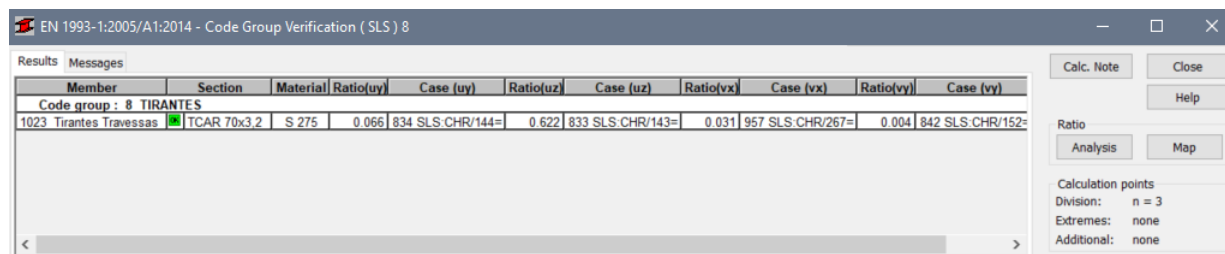


Figura 5.36: Janela informativa referente aos cálculos de otimização do SLS ao pior caso, já com a secção "TCAR 70x3,2".

Visto que o tirante referente ao pior caso, com a referida secção, aprova ao SLS, decidiu-se então pela "TCAR 70x3,2". De notar que, apesar dos rácios finais, com esta escolha, terem bastante margem, decidiu-se manter esta opção um tanto sobredimensionada, não só pela questão de já estar em uso referida, mas também porque estes tirantes são essenciais para o travamento lateral das travessas longitudinais que, como se verá de seguida, são bastante esforçadas nesta direção.

5.4.1.7 Travessas Longitudinais

As travessas longitudinais são bastante mais esforçadas do que as da cobertura, e contam com vários travamentos, em pontos diferentes, ao longo do seu comprimento. Para uma aproximação rápida à ordem de grandeza dos esforços nestas barras, correram-se os cálculos do grupo codificado (ao ULS e SLS separadamente), identificando assim o pior caso.

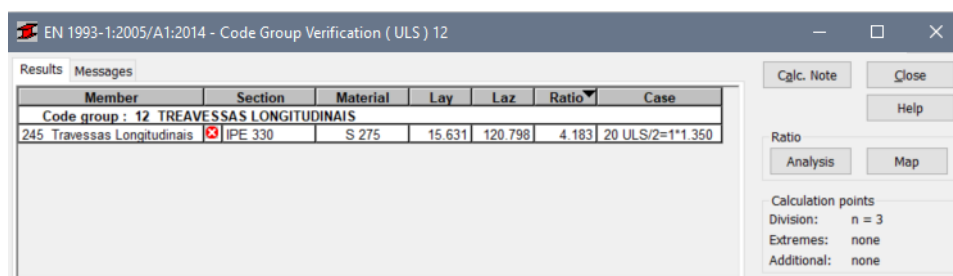


Figura 5.37: Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para todas as travessas longitudinais, apresentado os resultados para o pior caso.

Member	Section	Material	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	Ratio(vx)	Case (vx)	Ratio(vy)	Case (vy)
Code group : 12 TREAVESSAS LONGITUDINAIS										
5 Travessas Longitudinais Topo	IPE 330	S 275	0.544	834 SLS CHR/144=	0.003	957 SLS CHR/267=	0.005	847 SLS CHR/157=	0.002	843 SLS CHR/153=

Figura 5.38: Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao SLS para todas as travessas longitudinais, apresentado os resultados para o pior caso.

Note-se que na verificação ao ULS, a travessa correspondente ao pior caso, a barra número 245 falha com um rácio bastante elevado de 4,183. Já ao SLS não se verificam problemas. Este é o típico caso em que se deve rever o modelo e verificar se existem erros que possam não ter sido detetados e, após ter sido feito, verificou-se que estes não existiam, quer nas medidas das barras, quer na posição dos respetivos nós. Os parâmetros de encurvadura considerados nos *member types* também estavam em conformidade com o definido no Capítulo 3, bem como as considerações do SLS. Adicionalmente, verificou-se que a combinação que estava a ser considerada neste caso era a número 20, que engloba apenas a ação da neve e das sobrecargas, e concluiu-se também que não havia nenhum problema aparente. No entanto, importante notar que nesta combinação o esforço predominante nas barras é axial, o que influenciará a escolha dos perfis, assunto a abordar mais adiante.

Assim, avançou-se com o dimensionamento, passando à análise de todas as travessas para verificar se existiam discrepâncias nos valores entre as mesmas.

Member	Section	Materi	Lay	Laz	Ratio	Case
395 Travessas Longitudinais Topo 395	IPE 330	S 275	15.631	120.798	0.105	311 ULS/293=1*1.3
5 Travessas Longitudinais Topo 5	IPE 330	S 275	15.631	120.798	0.123	310 ULS/292=1*1.3
75 Travessas Longitudinais Zona Esc 1 75	IPE 330	S 275	15.631	120.798	1.407	311 ULS/293=1*1.3
185 Travessas Longitudinais Zona Esc 2 185	IPE 330	S 275	15.631	120.798	1.460	541 ULS/523=1*1.3
155 Travessas Longitudinais Zona Esc 1 155	IPE 330	S 275	15.631	120.798	1.516	546 ULS/528=1*1.3
365 Travessas Longitudinais 365	IPE 330	S 275	15.631	120.798	3.676	29 ULS/11=1*1.350
335 Travessas Longitudinais 335	IPE 330	S 275	15.631	120.798	4.172	20 ULS/2=1*1.350
215 Travessas Longitudinais 215	IPE 330	S 275	15.631	120.798	4.181	20 ULS/2=1*1.350
305 Travessas Longitudinais 305	IPE 330	S 275	15.631	120.798	4.182	29 ULS/11=1*1.350
275 Travessas Longitudinais 275	IPE 330	S 275	15.631	120.798	4.183	20 ULS/2=1*1.350
245 Travessas Longitudinais 245	IPE 330	S 275	15.631	120.798	4.183	20 ULS/2=1*1.350

Figura 5.39: Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para todas as travessas longitudinais.

Daqui retira-se que, efetivamente, existem discrepâncias, nomeadamente nas travessas dos topos, as quais verificam as condições do ULS com umas margem bastante larga, e nas travessas que são apoiadas pelos pilares internos dos escritórios. Assim, para melhor otimização da estrutura,

separaram-se em grupos codificados distintos, com a finalidade de obter as sugestões de secções por parte do *Robot* mais adequadas a cada situação.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 27 trav long topos						
5 Travessas Longitudinais Topo_5	HE 100 A	S 275	52.845	170.743	1.006	310
	HE 120 A		43.813	141.976	0.690	ULS/292=1*1.350 + 3*1.350 + 15*1.500
	HE 140 A		37.370	121.752	0.459	
5 Travessas Longitudinais Topo_5	IPE 160	S 275	32.579	232.434	1.075	310
	IPE 180		28.898	208.854	0.751	ULS/292=1*1.350 + 3*1.350 + 15*1.500
	IPE 200		25.946	191.711	0.544	
5 Travessas Longitudinais	HE 140 A	S 275	37.370	121.752	0.459	310 ULS/292=1*1.3
5 Travessas Longitudinais	HE 100 B	S 275	51.573	169.094	0.752	310
	HE 120 B		42.506	140.263	0.461	ULS/292=1*1.350 +

Figura 5.40: Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para as travessas longitudinais dos topos.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 28 trav long esc						
155 Travessas Longitudinais Zona Esc 1_155	HE 160 B	S 275	31.619	105.864	1.301	546
	HE 180 B		27.967	93.783	0.901	ULS/528=1*1.350 + 3*1.350 + 4*1.500
	HE 200 B		25.090	84.615	0.644	
155 Travessas Longitudinais Zona Esc 1_155	HE 200 A	S 275	25.876	86.049	1.376	546
	HE 220 A		23.371	77.763	0.939	ULS/528=1*1.350 + 3*1.350 + 4*1.500
	HE 240 A		21.320	71.398	0.662	
155 Travessas Longitudinais Zona Esc 1_155	IPE 360	S 275	14.330	113.154	1.107	546
	IPE 400		12.950	108.507	0.862	ULS/528=1*1.350 + 3*1.350 + 4*1.500
	IPE 450		11.597	104.078	0.652	

Figura 5.41: Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para as travessas longitudinais diretamente por cima da zona dos escritórios.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 12 TREAVERSAS LONGITUDINAIS						
305 Travessas Longitudinais_305	HE 300 A	S 275	16.821	57.238	1.067	29 ULS/11=1*1.350 + 3*1.350
	HE 320 A		15.783	57.189	0.872	
	HE 340 A		14.878	57.422	0.770	
305 Travessas Longitudinais_305	HE 240 B	S 275	20.792	70.451	1.153	29 ULS/11=1*1.350 + 3*1.350
	HE 260 B		19.094	65.097	0.930	
	HE 280 B		17.694	60.492	0.753	
305 Travessas Longitudinais_305	IPE 550	S 275	9.590	96.210	1.308	29 ULS/11=1*1.350 + 3*1.350
	IPE 600		8.820	91.974	0.978	
	IPE 750137		7.082	78.793	0.835	

Figura 5.42: Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para todas as restantes travessas longitudinais.

Pôde observar-se que, para os 3 casos são sugeridas secções distintas. É importante referir que o símbolo que aparece a azul e branco se refere ao perfil ótimo (opção de otimização ativa), que neste caso foi selecionada pelo peso da secção.

Para o primeiro grupo, que se refere às travessas longitudinais dos topos, a solução proposta é um "IPE 180" que, por isso, será o utilizado.

Para o segundo caso, o das travessas apoiadas pelos pilares dos escritórios, a solução proposta é um perfil "HEA 220", embora seja sugerido também um "IPE 400". Apesar do último estar também em uso, nos pilares dos pórticos, optou-se por adotar o "HEA 220", visto que estará menos sujeito a situações posteriores e, por isso, ser uma solução mais segura. Note-se ainda que o "HEA 220" é cerca de 15 [kg/m] mais leve que o "IPE 400", apesar de apresentarem resistências semelhantes, o que no final contribui para o melhor dimensionamento do resto da estrutura (Thomaz dos Santos S.A.).

Já para o último caso, o das restantes travessas longitudinais, no qual as barras falhavam com o rácio maior, é sugerido um "HEA 320" que, devido à maior área de secção comparativamente aos perfis "IPE" equivalentes em termos de dimensões, oferece mais resistência ao grande esforço axial ao qual as barras estavam expostas. Este esforço era a razão principal da falha e, apesar de se estar a usar maioritariamente secções "IPE", neste caso é essencial usar-se os perfis "HEA" referidos.

Assim, depois destas alterações, correram-se os cálculos para todas as travessas, como verificação final.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	Ratio(vx)	Case (vx)	Ratio(vy)	Case (vy)
5 Travessas Lon	IPE 180	S 275	28 898	208 854	0.192	310 ULS/292	0.349	834 SLS CHR	0.005	701 SLS C	0.007	847 SLS CH	0.002	843 SLS C
75 Travessas Lo	HEA 220	S 275	23 371	77 763	0.563	312 ULS/294	0.344	834 SLS CHR	0.117	952 SLS C	0.005	835 SLS CH	0.002	843 SLS C
155 Travessas L	HEA 220	S 275	23 371	77 763	0.576	29 ULS/11=1*	0.342	834 SLS CHR	0.131	952 SLS C	0.009	692 SLS CH	0.002	843 SLS C
185 Travessas L	HEA 220	S 275	23 371	77 763	0.577	29 ULS/11=1*	0.340	834 SLS CHR	0.134	952 SLS C	0.010	692 SLS CH	0.002	843 SLS C
215 Travessas L	HE 320 A	S 275	15 783	57 189	0.956	20 ULS/2=1**	0.338	834 SLS CHR	0.265	957 SLS C	0.019	957 SLS CH	0.002	843 SLS C
245 Travessas L	HE 320 A	S 275	15 783	57 189	0.957	20 ULS/2=1**	0.336	834 SLS CHR	0.265	957 SLS C	0.019	957 SLS CH	0.002	843 SLS C
275 Travessas L	HE 320 A	S 275	15 783	57 189	0.957	20 ULS/2=1**	0.335	834 SLS CHR	0.265	957 SLS C	0.019	957 SLS CH	0.002	843 SLS C
305 Travessas L	HE 320 A	S 275	15 783	57 189	0.957	29 ULS/11=1*	0.333	834 SLS CHR	0.266	952 SLS C	0.019	952 SLS CH	0.002	843 SLS C
335 Travessas L	HE 320 A	S 275	15 783	57 189	0.954	20 ULS/2=1**	0.332	834 SLS CHR	0.265	957 SLS C	0.019	957 SLS CH	0.001	838 SLS C
365 Travessas L	HE 320 A	S 275	15 783	57 189	0.886	29 ULS/11=1*	0.331	834 SLS CHR	0.243	957 SLS C	0.015	957 SLS CH	0.001	838 SLS C
395 Travessas L	IPE 180	S 275	28 898	208 854	0.122	310 ULS/292	0.330	834 SLS CHR	0.005	701 SLS C	0.008	835 SLS CH	0.001	838 SLS C

Figura 5.43: Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS e SLS para todas as travessas longitudinais.

Em jeito de nota final, achou-se necessário referir que as travessas longitudinais dos topos passam com um rácio bastante baixo, no entanto, em termos de construção não fará sentido adotar uma secção mais baixa, visto que dificulta as ligações com os pilares da empena e com os elementos constituintes da treliça da asna, por poder ter uma menor área de banzos do que os mesmos. Conclui-se assim o dimensionamento da cobertura do pavilhão, passando de seguida para os pilares.

5.4.2 Pilares

A presente secção visa a análise estrutural dos pilares, começando pelos elementos externos neles apoiados.

5.4.2.1 Madres das Fachadas

À semelhança das madres da cobertura, as das fachadas também adotam a secção tubular quadrada "TCAR 80x3,2", às quais se testam de seguida as condições do ULS.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 29 MADRES FACHADA						
1228 Madres Fa	TCAR 80x3.2	S 275	159.722	159.722	0.137	23 ULS/5=1*1.350

Figura 5.44: Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para o pior caso das madres das fachadas.

Verifica-se que o pior caso verifica as condições do ULS, ainda que com um rácio bastante próximo de 1. Para a verificação do SLS, corre-se também esse mesmo cálculo, para todas as barras e, verificou-se que todas cumprem. Assim, visando a otimização, passou-se aos cálculos desse tipo para as madres da fachada.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 29 MADRES FACHADA						
1228 Madres Fachada_1228	CAE 70x7	S 275	235.664	235.664	0.403	23 ULS/5=1*1.350
	CAE 80x5.5		204.340	204.340	0.423	+ 3*1.350 + 5*1.500
	CAE 80x6.5		204.920	204.920	0.320	+ 16*0.900 +
1275 Madres Fachada_1275	TCAR 60x5	S 275	223.627	223.627	0.224	10 PONTE
	TCAR 70x3.2		183.683	183.683	0.198	ROLANTE /1/
	TCAR 70x4		186.179	186.179	0.165	
1228 Madres Fachada_1228	THEX 87x3.2	S 275	161.399	161.399	0.187	23 ULS/5=1*1.350
	THEX 87x4.5		164.353	164.353	0.142	+ 3*1.350 + 5*1.500
	TRON 62x2.5		236.298	236.292	0.577	10 PONTE
1275 Madres Fachada_1275	TRON 70x2.5	S 275	209.377	209.361	0.407	ROLANTE /1/
	TRON 70x2.9		210.566	210.566	0.356	

Figura 5.45: Janela informativa referente aos cálculos de otimização, ao ULS, para o pior caso das madres das fachadas.

O *software* sugere perfis "TCAR 70x3,2" que, visto estarem já em uso abundante na estrutura, será benéfico utilizá-los, com vista quer à economia de massas, quer na cobertura de imprevistos

em obra, como material danificado na montagem ou no transporte. Pelas mesmas razões, optou-se então pela secção sugerida pelo programa.

5.4.2.2 Contraventamentos

Para os contraventamentos das fachadas, começou-se pelo já usual cálculo de verificação do ULS.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 21 CONTRAV FACHADA						
1030 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.914	34 ULS/16=1*1.000

Calc. Note Close Help

Ratio Analysis Map

Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.46: Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para o pior caso dos contraventamentos nas fachadas.

Verificou-se que não existiam falhas, no entanto, como já visto nos contraventamentos da cobertura, era provável que existissem discrepâncias nos valores entre as diagonais e os montantes, pelo que se passou ao cálculo, desta vez também com a verificação do SLS, de todos os elementos do grupo codificado.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
533 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	159.722	159.722	0.122	19 ULS/1=1*1.350	0.169	956 SLS CHR/266=	0.365	3 PP
542 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	159.722	159.722	0.515	23 ULS/5=1*1.350	0.171	954 SLS CHR/264=	0.366	838 SLS CHR/148=
573 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	159.722	159.722	0.122	29 ULS/11=1*1.350	0.170	956 SLS CHR/266=	0.365	3 PP
582 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	159.722	159.722	0.122	20 ULS/2=1*1.350	0.165	959 SLS CHR/269=	0.365	1102 SLS FRE/412
1030 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.910	34 ULS/16=1*1.000	0.063	959 SLS CHR/269=	0.134	700 SLS CHR/10=1
1039 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.781	307 ULS/289=1*1.3	0.040	843 SLS CHR/153=	0.017	843 SLS CHR/153=
1040 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.230	319 ULS/301=1*1.0	0.038	844 SLS CHR/154=	0.016	3 PP
1068 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.730	307 ULS/289=1*1.3	0.237	958 SLS CHR/268=	0.622	843 SLS CHR/153=
1069 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.336	328 ULS/310=1*1.0	0.225	954 SLS CHR/264=	0.602	845 SLS CHR/155=
1070 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.773	307 ULS/289=1*1.3	0.217	954 SLS CHR/264=	0.604	834 SLS CHR/144=
1071 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.210	16 Wind Simulation	0.235	953 SLS CHR/263=	0.600	839 SLS CHR/149=
1073 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.796	303 ULS/285=1*1.3	0.221	961 SLS CHR/271=	0.611	838 SLS CHR/148=
1082 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.183	18 Wind Simulation	0.235	960 SLS CHR/270=	0.602	834 SLS CHR/144=
1083 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.744	303 ULS/285=1*1.3	0.238	960 SLS CHR/270=	0.614	839 SLS CHR/149=
1084 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.294	332 ULS/314=1*1.0	0.228	956 SLS CHR/266=	0.605	833 SLS CHR/143=
1093 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.203	18 Wind Simulation	0.233	958 SLS CHR/268=	0.601	835 SLS CHR/145=
1094 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.843	303 ULS/285=1*1.3	0.222	956 SLS CHR/266=	0.602	845 SLS CHR/155=
1095 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.352	332 ULS/314=1*1.0	0.226	956 SLS CHR/266=	0.609	837 SLS CHR/147=
1096 Contraventamentos	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.760	303 ULS/285=1*1.3	0.238	958 SLS CHR/268=	0.633	838 SLS CHR/148=

Calc. Note Close Help

Ratio Analysis Map

Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.47: Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS e SLS para todos os contraventamentos nas fachadas.

Deste cálculo depreendeu-se que existiam, no fundo, três subgrupos: o das diagonais cujo rácio era superior a 0,700; o das diagonais cujo rácio era inferior a esse mesmo valor; e o dos

montantes. Havia, no entanto, a exceção do montante número 542 que apresentava um rácio da ordem dos 0,500, devido ao facto de fazer o travamento numa zona bastante esforçada, logo acima do pavimento do primeiro piso dos escritórios. Por essa razão, foi considerado no grupo das diagonais mais esforçadas. Assim, passou-se a definição de 3 novos *code groups* para proceder aos cálculos de otimização dos mesmos.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Code Group Design (ULS) 30

Results

Messages

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 30 contrav fach diag						
1094	CAE 90x9	S 275	234.412	234.412	0.806	303
Contraventamento s_1094	CAE 100x7		209.047	209.047	0.771	ULS/285=1*1.350 +
	CAE 100x8		209.593	209.593	0.678	3*1.350 + 5*1.050 +
1030	TCAR 70x5	S 275	242.203	242.203	0.935	34 ULS/16=1*1.000
Contraventamento s_1030	TCAR 80x3.2		204.544	204.544	0.910	+ 3*1.000 + 5*1.500
	TCAR 80x3.6		205.239	205.239	0.821	+ 16*0.900 +
1030	THEX 87x3.2	S 275	206.691	206.691	0.982	34 ULS/16=1*1.000
Contraventamento s_1030	THEX 87x4.5		210.474	210.474	0.739	+ 3*1.000 + 5*1.500
	TRON 88x5		215.479	215.479	0.753	34 ULS/16=1*1.000
Contraventamento s_1030	TRON 101x3.6	S 275	184.679	184.679	0.680	+ 3*1.000 + 5*1.500
	TRON 101x4		185.406	185.406	0.613	+ 16*0.900 +
1030	TREC 120x60		S 275	159.765	288.376	0.501
Contraventamento s_1030	TREC 120x80	141.801		194.286	0.631	+ 3*1.000 + 5*1.500
	TREC 120x80	144.583		199.240	0.427	+ 16*0.900 +

Calc. Note

Close

Help

Change all

Calculation points

Division: n = 3

Extremes: none

Additional: none

Figura 5.48: Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para as diagonais dos contraventamentos mais esforçados das fachadas.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Code Group Design (ULS) 31

Results Messages

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 31 contrav fach diag 2						
1095	CAE 90x9	S 275	234.412	234.412	0.382	316
Contraventamento s_1095	CAE 100x7		209.047	209.047	0.397	ULS/298=1*1.350 +
	CAE 100x8		209.593	209.593	0.349	3*1.350 + 18*1.500
1095	TCAR 70x5	S 275	242.203	242.203	0.351	332
Contraventamento s_1095	TCAR 80x3.2		204.544	204.544	0.355	ULS/314=1*1.000 +
	TCAR 80x3.6		205.239	205.239	0.319	3*1.000 + 18*1.500
1095	THEX 87x3.2	S 275	206.691	206.691	0.421	316
Contraventamento s_1095	THEX 87x4.5		210.474	210.474	0.318	ULS/298=1*1.350 +
	TRON 76x5		254.095	254.095	0.454	332
Contraventamento s_1095	TRON 88x2.5	S 275	209.535	209.530	0.560	ULS/314=1*1.000 +
	TRON 88x3.2		211.180	211.180	0.438	3*1.000 + 18*1.500
1095	TREC 120x60		S 275	159.765	288.376	0.154
Contraventamento s_1095	TREC 120x80	141.801		194.286	0.214	ULS/314=1*1.000 +
	TREC 120x80	144.583		199.240	0.143	3*1.000 + 18*1.500

Calc. Note

Close

Help

Change all

Calculation points

Division: n = 3

Extremes: none

Additional: none

Figura 5.49: Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para as diagonais dos contraventamentos menos esforçados das fachadas.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 32 contrav fach mont						
582	CAE 70x7	S 275	235.664	235.664	0.368	29 ULS/11=1*1.350
Contraventamento s_582	CAE 80x5.5		204.340	204.340	0.394	+ 3*1.350
	CAE 80x6.5		204.920	204.920	0.295	
533	TCAR 60x5	S 275	223.627	223.627	0.152	541
Contraventamento s_533	TCAR 70x3.2		183.683	183.683	0.162	ULS/523=1*1.350 +
	TCAR 70x4		186.179	186.179	0.132	3*1.350 + 5*1.050 +
533	THEX 87x3.2	S 275	161.399	161.399	0.171	19 ULS/1=1*1.350
Contraventamento s_533	THEX 87x4.5		164.353	164.353	0.130	+ 3*1.350 + 5*1.500
533	TRON 62x2.5	S 275	236.298	236.292	0.390	541
Contraventamento s_533	TRON 70x2.5		209.377	209.361	0.306	ULS/523=1*1.350 +
	TRON 70x2.9		210.566	210.566	0.266	3*1.350 + 5*1.050 +
533	TREC 100x50	S 275	151.444	268.833	0.065	541
Contraventamento s_533	TREC 100x60		132.851	198.089	0.134	ULS/523=1*1.350 +
	TREC 120x60		115.519	199.374	0.080	3*1.350 + 5*1.050 +

Figura 5.50: Janela informativa referente aos cálculos de verificação ao ULS para os montantes dos contraventamentos das fachadas, exceto a barra número 542.

Concluiu-se assim que, para o primeiro e o segundo grupo, os perfis manter-se-iam "TCAR 80x3,2", não pela resistência, porque são mais resistentes do que o que seria necessário, mas pela deflexão por encurvadura, como se observa pelas Figuras 5.48 e 5.49. Já para os montantes, o terceiro grupo, o *software* sugere um perfil "TCAR 70x3,2" que, sendo já abundantemente utilizado na estrutura, foi o designado para estes elementos.

5.4.2.3 Carril da Ponte

Para os carris da ponte, visto serem só dois, começou-se logo pelo cálculo completo aos dois.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
1001 Rail Ponte	IFBB265-70x70+HE 400 A	S 275	47.380	502.002	0.527	10 PONTE ROLA	0.040	957 SLS CHR/267=	0.035	10 PONTE ROLA
1002 Rail Ponte	IFBB265-70x70+HE 400 A	S 275	47.380	502.002	0.527	10 PONTE ROLA	0.040	701 SLS CHR/11=1	0.035	10 PONTE ROLA

Figura 5.51: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS para os carris da ponte rolante.

Verificou-se que, apesar de apresentarem boa resistência aos esforços, o parâmetro *Laz* está muito acima dos 210, o que significa que estes elementos falham à encurvadura no eixo *zz*. Depois da procura por erros usuais de modelação, e não se ter verificado nenhum, assumiu-se o bom funcionamento do cálculo e, portanto, conclui-se que o problema advinha efetivamente das considerações de encurvadura do tipo de barra em questão. Recordando o definido no Capítulo 3, na Secção 3.3, foram definidos travamentos apenas para a encurvadura em *yy* e para a lateral (banzo inferior), o que explica este pico no valor de *Laz* nos cálculos. Para colmatar esta falha, considerou-se existirem travamentos à encurvadura em *zz* nos mesmo pontos de apoio no pilares

"em baioneta", os quais serão assegurados pela ligação aos pilares dos pórticos, por exemplo, pela utilização de secções menores. Dado o pormenor e a irrealidade de que as ligações são feitas pelo eixo central, conforme discutido no Capítulo 3, optou-se por não se representar a referida solução e assumir que será executada em obra, recorrendo, por exemplo, a perfis tubulares quadrados sobranceiros, o que poderia diminuir ao custo de execução. No entanto, para que se pudesse prosseguir o dimensionamento dos carris, foram inseridos os travamentos à encurvadura em zz na definição do respetivo tipo de barra, ainda que as barras que os efetivam não tenham sido modeladas.

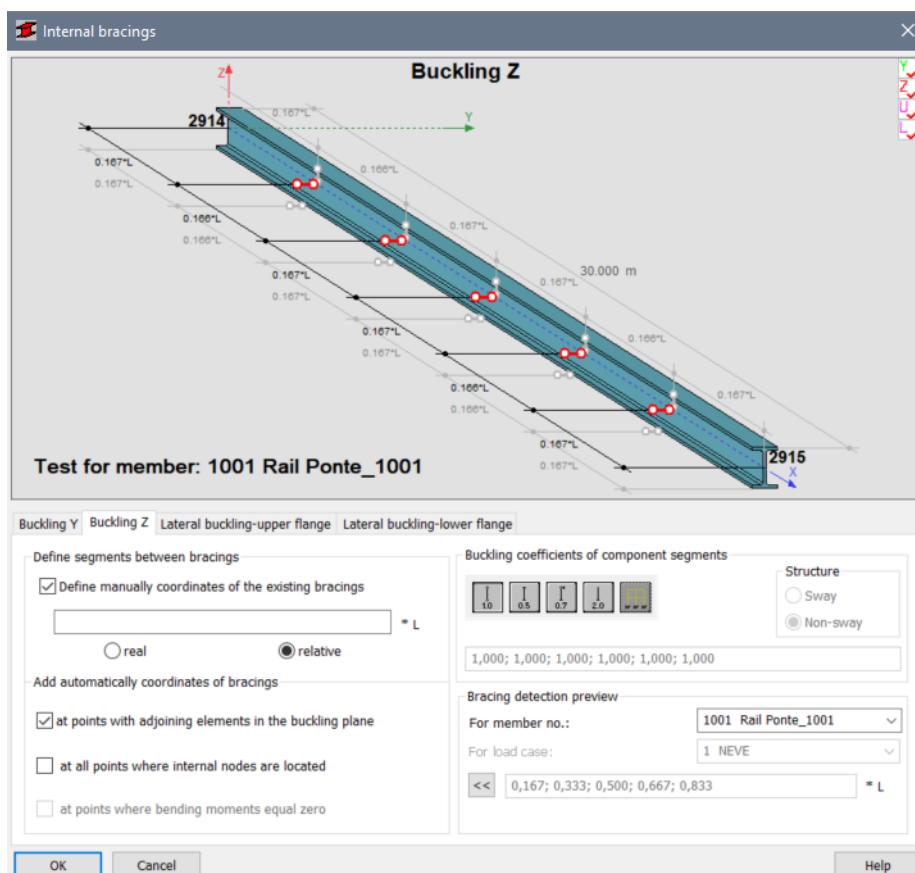


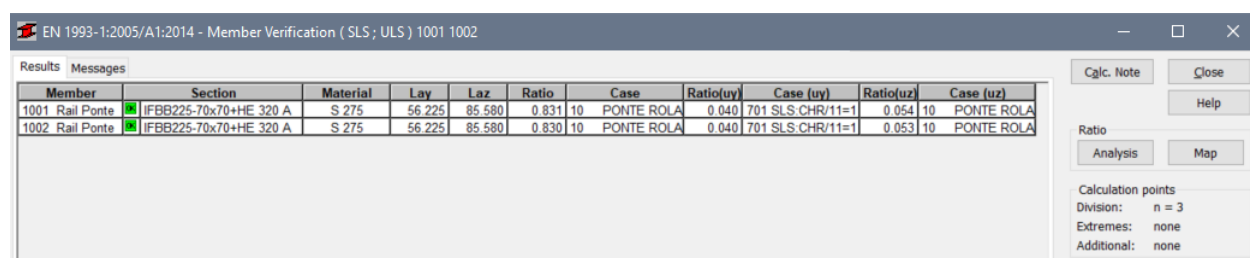
Figura 5.52: Caixa de diálogo para definição dos travamentos à encurvadura no eixo zz dos carris da ponte.

Assim, procedeu-se de novo ao cálculo completo para os dois carris da ponte rolante.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
1001 Rail Ponte	IFBB265-70x7	S 275	47.380	83.667	0.538	10 PONTE ROLA	0.040	957 SLS CHR/267=	0.035	10 PONTE ROLA
1002 Rail Ponte	IFBB265-70x7	S 275	47.380	83.667	0.538	10 PONTE ROLA	0.040	701 SLS CHR/11=1	0.035	10 PONTE ROLA

Figura 5.53: Caixa de diálogo para definição dos travamentos à encurvadura no eixo zz dos carris da ponte.

Foi evidente a alteração significativa nos resultados e, por consequência, tornou-se aparente um sobredimensionamento. Neste caso, o expectável seria que se corresse o cálculo de otimização, no entanto, o *Robot* não permite inserir este tipo de vigas preparadas para carris nesse tipo de análise, pelo que se teve de proceder a um cálculo iterativo. Sendo que a secção predefinida tinha por base um perfil "HEA 400", e já se encontra em uso nas travessas longitudinais, considerou-se a solução ideal e, por isso, procedeu-se ao cálculo.



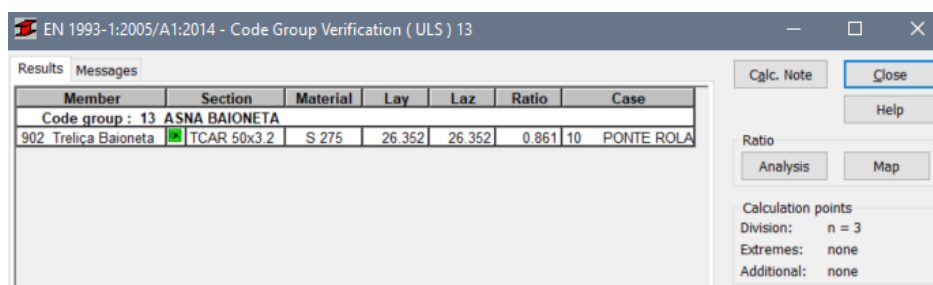
Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
1001 Rail Ponte	IFBB225-70x70+HE 320 A	S 275	56 225	85 580	0.831	10 PONTE ROLA	0.040	701 SLS CHR/11=1	0.054	10 PONTE ROLA
1002 Rail Ponte	IFBB225-70x70+HE 320 A	S 275	56 225	85 580	0.830	10 PONTE ROLA	0.040	701 SLS CHR/11=1	0.053	10 PONTE ROLA

Figura 5.54: Janela informativa referente aos cálculos de otimização com verificação do ULS dos carris da ponte, utilizando como perfil de base o "HEA 320".

Os resultados foram promissores em relação ao referido perfil, com rácios de 0,830 e, após algumas iterações, conclui-se que seriam a solução ótima.

5.4.2.4 Treliça da "baioneta"

As barras da treliça presente nos pilares "em baioneta" encontram-se definidas com a secção "TCAR 50x3,2" que, numa primeira abordagem, cumpriam os requisitos (Reis Gomes (2014)). Nesta fase do dimensionamento, a estrutura já havia sofrido alterações significativas, pelo que se passou à verificação ao ULS do grupo codificado das mesmas.



Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 13 ASNA BAIONETA						
902 Treliça Baioneta	TCAR 50x3.2	S 275	26.352	26.352	0.861	10 PONTE ROLA

Figura 5.55: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS dos elementos da treliça dos pilares "em baioneta" (Reis Gomes (2014)).

Os resultados apresentados sugerem o cumprimento dos requisitos, mas ainda assim é necessário verificar as condições do SLS, pelo que se procede ao cálculo correspondente, do grupo codificado.

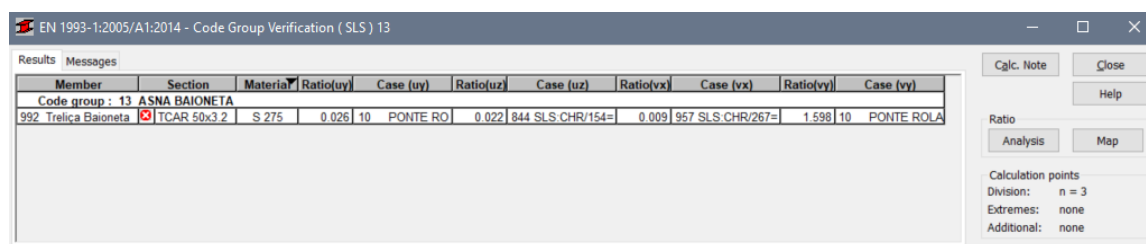


Figura 5.56: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do SLS dos elementos da treliça dos pilares "em baioneta" (Reis Gomes (2014)).

Nos resultados, apresentou-se um perfeito exemplo de que se deve proceder às verificações dos dois estados limite: as barras, apesar de serem suficientemente resistentes, não aprovam às condições do SLS. Após conferir a causa da falha, verificou-se que aconteceu o mesmo que para as barras da treliça da asna na Secção 5.4.1.5: a condição decisiva foi a limitação dos deslocamentos nodais da estrutura global. À semelhança do que foi feito na referida secção, estes limites impostos foram dados como desprezáveis. Assim, retomando o cálculo.

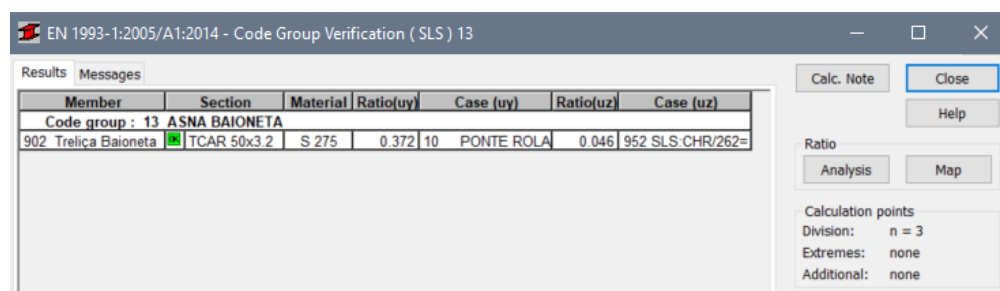


Figura 5.57: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do SLS dos elementos da treliça dos pilares "em baioneta", ignorando os deslocamentos nodais globais (Reis Gomes (2014)).

Assim, verificou-se que a referida consideração era efetivamente a causa, pelo que se depreende que os perfis "TCAR 50x3,2" verifica todas as condições.

É Importante referir que, á semelhança de outros grupos anteriormente calculados, também foi feito o cálculo de todos os elementos para verificar discrepâncias que, efetivamente, existiam. No entanto, ao contrário das outras situações, nesta não se alteraram os perfis, primeiro pelo facto de já ter sido dimensionado grande parte da estrutura que, cujos esforços foram calculadas com a treliça assumindo os perfis predefinidos, e segundo, pela coesão em termos económicos que se poderá atingir ao encomendar todos os perfis iguais nas quantidades que seriam necessárias.

5.4.2.5 Pilares interiores da "baioneta"

Nesta secção trata-se o dimensionamento dos pilares interiores constituintes dos pilares "em baioneta". Assim, procedeu-se à verificação do ULS do grupo codificado correspondente.

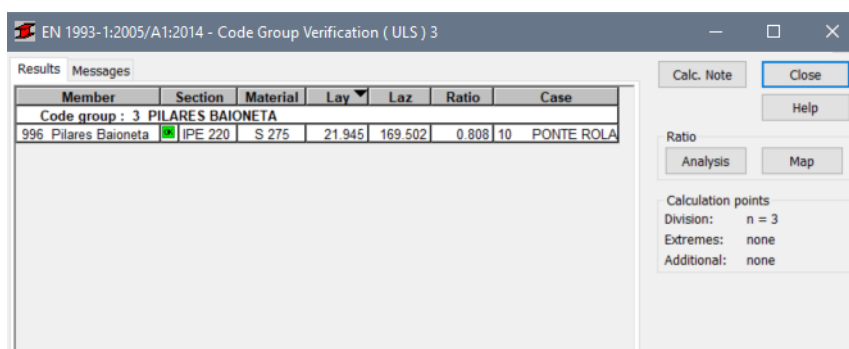


Figura 5.58: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS dos pilares interiores dos pilares "em baioneta".

Observou-se que os pilares cumpriam os requisitos do ULS, pelo que se passou à verificação do SLS.

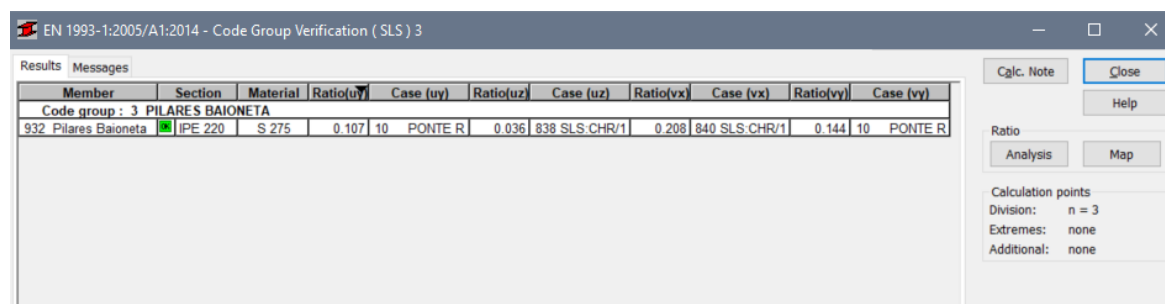


Figura 5.59: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do SLS dos pilares interiores dos pilares "em baioneta".

Conclui-se que os pilares cumprem todos os requisitos. No entanto, efetuaram-se os cálculos de todos os pilares, por forma a verificar se os rácios dos pilares se distanciam significativamente.

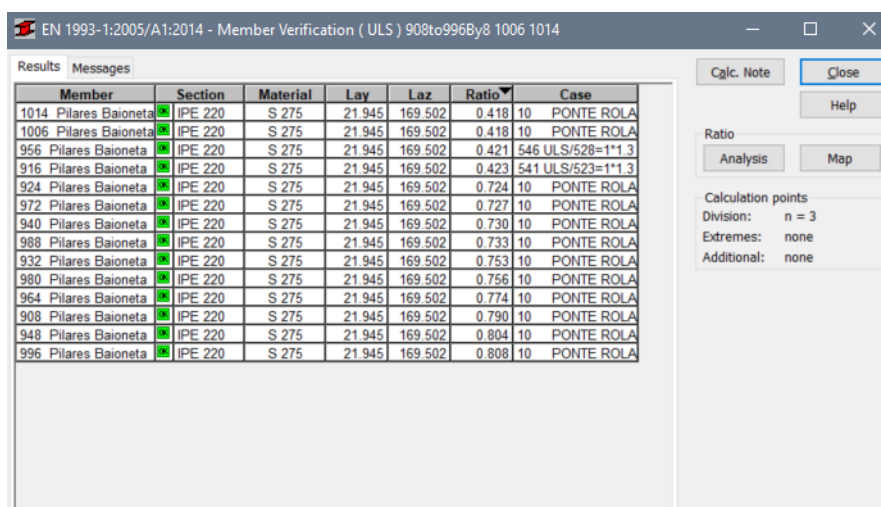


Figura 5.60: Janela informativa referente aos cálculos de todos os pilares interiores dos pilares "em baioneta".

Não se verificando diferenças significativas, ao ponto de justificarem a alteração das secções, permaneceu-se então com a secção "IPE 220" para os referidos pilares.

5.4.2.6 Pilares dos Pórticos

Nesta secção tratar-se-á o dimensionamento dos pilares dos pórticos, com exceção dos designados "Pilares Mistos" que são os que são apoio à zona de escritório. Assim, corre-se o primeiro cálculo, ao ULS, para o pior caso.

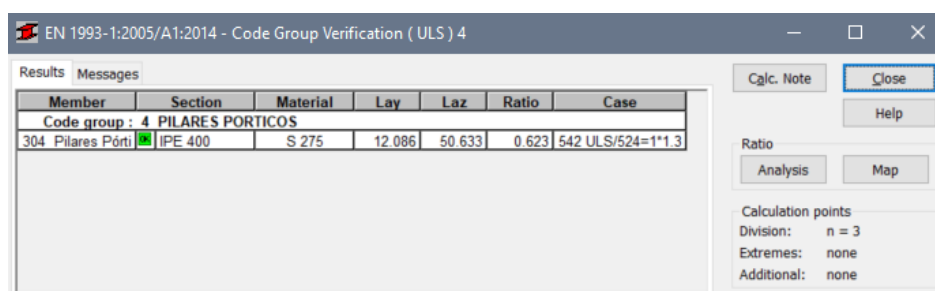


Figura 5.61: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS dos pilares dos pórticos.

Como se pôde observar, os pilares, em perfil "IPE 400" cumprem os requisitos do Estado Limite Último (ULS). No entanto, é necessária fazer a verificação ao SLS, dado que, como já referido, neste caso, o limite dos deslocamentos nodais globais de $L/150$ nas duas direções no plano horizontal fazem sentido ser consideradas.

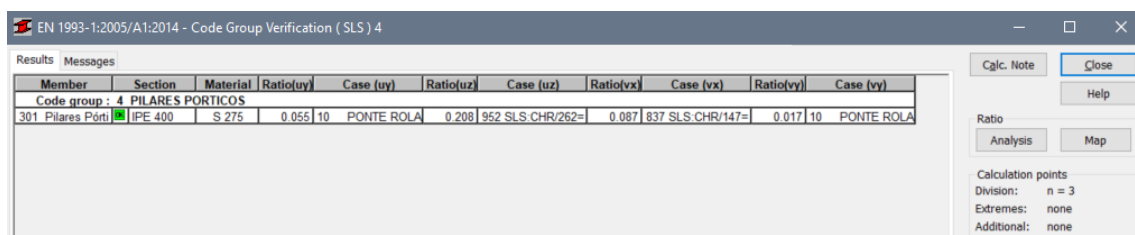


Figura 5.62: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do SLS dos pilares dos pórticos.

Ao SLS, os pilares dos pórticos verificam as condições com uma margem considerável, pelo que o "IPE 400" é adequado. No entanto, para otimizar a estrutura, primeiro procedeu-se ao cálculo com todos os elementos para verificar as discrepâncias, e depois ao cálculo de otimização propriamente dito.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	Ratio(vx)	Case (vx)	Ratio(vy)	Case (vy)
304 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 304	IPE 400	S 275	12.086	50.633	0.623	542 ULS/524=	0.048	10 PONTE	0.202	952 SLS.CH	0.097	840 SLS.CH	0.015	10 PONT
334 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 334	IPE 400	S 275	12.086	50.633	0.622	547 ULS/529=	0.052	10 PONTE	0.204	957 SLS.CH	0.095	832 SLS.CH	0.016	834 SLS.CH
274 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 274	IPE 400	S 275	12.086	50.633	0.616	542 ULS/524=	0.043	10 PONTE	0.203	957 SLS.CH	0.095	832 SLS.CH	0.016	10 PONT
244 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 244	IPE 400	S 275	12.086	50.633	0.615	542 ULS/524=	0.036	10 PONTE	0.203	957 SLS.CH	0.094	841 SLS.CH	0.015	10 PONT
214 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 214	IPE 400	S 275	12.086	50.633	0.613	542 ULS/524=	0.027	10 PONTE	0.203	957 SLS.CH	0.092	840 SLS.CH	0.016	847 SLS.CH
301 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 301	IPE 400	S 275	12.086	50.633	0.612	544 ULS/526=	0.055	10 PONTE	0.208	952 SLS.CH	0.087	837 SLS.CH	0.017	10 PONT
331 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 331	IPE 400	S 275	12.086	50.633	0.611	549 ULS/531=	0.058	10 PONTE	0.204	957 SLS.CH	0.087	845 SLS.CH	0.019	834 SLS.CH
241 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 241	IPE 400	S 275	12.086	50.633	0.607	544 ULS/526=	0.046	10 PONTE	0.203	957 SLS.CH	0.087	836 SLS.CH	0.017	10 PONT
271 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 271	IPE 400	S 275	12.086	50.633	0.607	544 ULS/526=	0.051	10 PONTE	0.203	957 SLS.CH	0.087	845 SLS.CH	0.017	10 PONT
211 Pilares Pórtico (c/ Baioneta) 211	IPE 400	S 275	12.086	50.633	0.603	544 ULS/526=	0.039	10 PONTE	0.203	957 SLS.CH	0.085	836 SLS.CH	0.017	838 SLS.CH
364 Pilares Pórticos Topos 364	IPE 400	S 275	12.086	50.633	0.571	547 ULS/529=	0.055	10 PONTE	0.187	957 SLS.CH	0.084	832 SLS.CH	0.019	834 SLS.CH
361 Pilares Pórticos Topos 361	IPE 400	S 275	12.086	50.633	0.559	549 ULS/531=	0.061	10 PONTE	0.185	957 SLS.CH	0.079	844 SLS.CH	0.020	834 SLS.CH
151 Pilares Pórtico (s/ Baioneta) 151	IPE 400	S 275	48.345	50.633	0.473	20 ULS/2=1*1	0.031	10 PONTE	0.133	957 SLS.CH	0.125	840 SLS.CH	0.021	838 SLS.CH
63 Pilares Pórtico (s/ Baioneta) 63	IPE 400	S 275	48.345	50.633	0.441	20 ULS/2=1*1	0.032	10 PONTE	0.120	957 SLS.CH	0.110	840 SLS.CH	0.024	838 SLS.CH
181 Pilares Pórtico (s/ Baioneta) 181	IPE 400	S 275	48.345	50.633	0.433	20 ULS/2=1*1	0.034	10 PONTE	0.139	952 SLS.CH	0.167	840 SLS.CH	0.019	838 SLS.CH
394 Pilares Pórticos Topos 394	IPE 400	S 275	12.086	50.633	0.187	301 ULS/283=	0.020	18 Wind Sim	0.022	833 SLS.CH	0.071	841 SLS.CH	0.023	834 SLS.CH
391 Pilares Pórticos Topos 391	IPE 400	S 275	12.086	50.633	0.178	305 ULS/287=	0.020	18 Wind Sim	0.020	837 SLS.CH	0.066	837 SLS.CH	0.024	834 SLS.CH
1 Pilares 1	IPE 400	S 275	12.086	50.633	0.166	321 ULS/303=	0.025	16 Wind Sim	0.019	840 SLS.CH	0.094	840 SLS.CH	0.026	838 SLS.CH

Figura 5.63: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS de todos os pilares dos pórticos.

Verificou-se assim que existiam algumas diferenças entre os pilares, principalmente por estarem definidos em tipos de barra distintos. Para os pilares dos pórticos "em baioneta" (Reis Gomes (2014)), visto suportarem a cobertura na zona crítica onde havia mais falha das travessas longitudinais, decidiu-se manter a secção "IPE 400". Quanto aos dos topos, os pilares número 1, 391 e 394 são os que apresentam o rácio menor, por estarem numa fachada de empena. Apesar disso, não é aconselhável diminuir muito à secção dos mesmos, porque obrigará ao aumento da secção dos pilares de empena, pelo que se efetuaram os cálculos de otimização, tendo isso em consideração.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 26 pilares porticos ultimo portico						
394 Pilares	IPE 200	S 275		24.215	89.459	1.376
Pórticos	IPE 220			21.945	80.715	0.973
Topos_394	IPE 240			20.051	74.273	0.723

Figura 5.64: Janela informativa referente aos cálculos de otimização dos pilares do último pórtico.

A secção sugerida é a "IPE 220" que, apesar de estar em uso, está no limite do dimensionamento que, como já referido, prejudicaria o dimensionamento da cobertura e dos pilares da fachada de empena. Assim, procedeu-se ao cálculo com perfis "IPE 300", que é o utilizado para as travessas da cobertura, permitindo uma margem maior.

De seguida, abordou-se o caso dos pilares que não estão "em baioneta" (Reis Gomes (2014)), que apresentam rácios entre 0,400 e 0,500. Assim, efetuou-se o cálculo de otimização para ter uma melhor perceção de que secção se poderá adotar.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 34 pilares porticos s baioneta						
151 Pilares	IPE 270	S 275	71.265	66.160	1.328	20 ULS/2=1*1.350 + 3*1.350 + 5*1.500
Pórtico (s/ Baioneta)_151	IPE 300		64.199	59.708	0.953	
Baioneta)_151	IPE 330		58.354	56.368	0.782	

Figura 5.65: Janela informativa referente aos cálculos de otimização dos pilares que não estão "em baioneta" (Reis Gomes (2014)).

Deste cálculo, retirou-se que a sugestão por parte do *Robot* era um "IPE 300", ainda que com um rácio de 0,953, próximo do limite. No entanto, dado o facto das travessas longitudinais e de cobertura, nesta zona, terem uma boa margem, seguiu-se com este perfil.

5.4.2.7 Pilares das Fachadas de Empena

Para as fachadas de empena, estão em uso perfis "IPE 220". Abordou-se primeiramente o cálculo do grupo codificado respetivo.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 35 PILARES EMPENA						
779 Pilares Empena	IPE 220	S 275	87.778	80.715	1.704	304 ULS/2

Figura 5.66: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS dos pilares das fachadas de empena.

Verifica-se que o pior caso corresponde ao pilar número 779, que falha com um rácio considerável de 1,704. Assim, para melhor entender se todos os pilares falham dessa forma, procedeu-se ao cálculo para todos.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
779 Pilares Empena	IPE 220	S 275	87.778	80.715	1.704	304 ULS/2
832 Pilares Empena	IPE 220	S 275	87.778	80.715	1.663	304 ULS/2
739 Pilares Empena	IPE 220	S 275	87.778	80.715	1.653	316 ULS/2
835 Pilares Empena	IPE 220	S 275	87.778	80.715	1.611	316 ULS/2
60 Pilares Empena	IPE 220	S 275	87.778	80.715	1.474	304 ULS/2
814 Pilares Empena	IPE 220	S 275	87.778	80.715	1.453	316 ULS/2
822 Pilares Empena	IPE 220	S 275	87.778	80.715	1.359	316 ULS/2
58 Pilares Empena	IPE 220	S 275	87.778	80.715	1.155	304 ULS/2
809 Pilares Empena	IPE 220	S 275	87.778	80.715	1.150	316 ULS/2
820 Pilares Empena	IPE 220	S 275	87.778	80.715	1.080	316 ULS/2

Figura 5.67: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os pilares das fachadas de empena.

Verificou-se uma falha coletiva dos pilares das fachadas da empena. Ainda que existam algumas diferenças nos rácios, os quais flutuam entre 1,080 e 1,704, não fará sentido diferenciá-los, pois para além de a diferença não justificar, foi sugerida a colocação de cais de carga na fachada posterior do pavilhão, o que significa que poderá haver necessidade de fixação de perfis horizontais que apoiam os portões, tal como na entrada principal. Isto levaria a alguns esforços adicionais, tais como os que atuam nos pilares da empena da fachada frontal, que representam os dois piores casos deste grupo. Assim, foi para estes casos que se dimensionou, passando-se ao cálculo de otimização do *code group* respetivo.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
779 Pilares Empena	IPE 240	S 275	80.205	74.273	1.229	304
Empena	IPE 270		71.265	66.160	0.860	ULS/286=1*1.350 +
Entrada_779	IPE 300		64.199	59.708	0.618	3*1.350 + 5*1.050 +
779 Pilares Empena	HE 160 A	S 275	121.787	50.193	1.106	304
Empena	HE 180 A		107.410	44.245	0.785	ULS/286=1*1.350 +
Entrada_779	HE 200 A		96.598	40.154	0.567	3*1.350 + 5*1.050 +

Figura 5.68: Janela informativa referente aos cálculos de otimização dos pilares das fachadas de empena.

Como se pode ver, o perfil sugerido é o "IPE 270" que embora em pouco uso, seria uma melhor opção ao "HEA 180" que não foi utilizado de todo. Assim, prosseguiu-se com esta escolha. Fez-se a verificação a todas as barras.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
779 Pilares Empena	IPE 270	S 275	71.265	66.160	1.114	304 ULS/286=1*1.3
832 Pilares Empena	IPE 270	S 275	71.265	66.160	1.093	304 ULS/286=1*1.3
739 Pilares Empena	IPE 270	S 275	71.265	66.160	1.078	316 ULS/298=1*1.3
835 Pilares Empena	IPE 270	S 275	71.265	66.160	1.052	316 ULS/298=1*1.3
60 Pilares Empena	IPE 270	S 275	71.265	66.160	0.952	304 ULS/286=1*1.3
814 Pilares Empena	IPE 270	S 275	71.265	66.160	0.935	316 ULS/298=1*1.3
822 Pilares Empena	IPE 270	S 275	71.265	66.160	0.875	316 ULS/298=1*1.3
58 Pilares Empena	IPE 270	S 275	71.265	66.160	0.704	304 ULS/286=1*1.3
809 Pilares Empena	IPE 270	S 275	71.265	66.160	0.700	316 ULS/298=1*1.3
820 Pilares Empena	IPE 270	S 275	71.265	66.160	0.656	316 ULS/298=1*1.3

Figura 5.69: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS de todos os pilares das fachadas de empena.

Aqui deparou-se com uma incongruência de cálculo, ou seja, anteriormente o perfil "IPE 270" passava, no entanto, correndo de novo o cálculo, os dois pilares mais centrais de cada fachada falham, embora por pouco. Assim, aumentou-se a secção desses pilares para um "IPE 300", que já está em uso, e assim correu-se um último cálculo para verificar.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
58 Pilares Empena	IPE 270	S 275	71.265	66.160	0.676	304 ULS/286=1*1.3
60 Pilares Empena	IPE 270	S 275	71.265	66.160	0.892	304 ULS/286=1*1.3
739 Pilares Empena	IPE 300	S 275	64.199	59.708	0.904	316 ULS/298=1*1.3
779 Pilares Empena	IPE 300	S 275	64.199	59.708	0.934	304 ULS/286=1*1.3
809 Pilares Empena	IPE 270	S 275	71.265	66.160	0.672	316 ULS/298=1*1.3
814 Pilares Empena	IPE 270	S 275	71.265	66.160	0.877	316 ULS/298=1*1.3
820 Pilares Empena	IPE 270	S 275	71.265	66.160	0.632	316 ULS/298=1*1.3
822 Pilares Empena	IPE 270	S 275	71.265	66.160	0.824	316 ULS/298=1*1.3
832 Pilares Empena	IPE 300	S 275	64.199	59.708	0.917	304 ULS/286=1*1.3
835 Pilares Empena	IPE 300	S 275	64.199	59.708	0.880	316 ULS/298=1*1.3

Figura 5.70: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS de todos os pilares das fachadas de empena.

Como expectável os pilares verificam as condições, e conclui-se assim o dimensionamento de toda a estrutura, exceto a zona de escritórios, que será abordada de seguida.

5.4.3 Zona dos Escritórios

Finalmente, passa-se, nesta secção, ao dimensionamento objetivo dos escritórios, pela ordem adotada até agora, ou seja, começando pela cobertura, depois pelo primeiro piso e, por último, os pilares mistos, de apoio e interiores.

5.4.3.1 Cobertura

A cobertura dos escritórios é constituída por travessas, vigas e vigas secundárias. As primeiras assumem perfis "IPE 220", e as restantes secções tubular quadradas "TCAR 80x3,2". Assim, visto estes elementos fazerem parte de *member types* diferentes, não faz sentido calculá-los todos no mesmo grupo codificado, pelo que se corre a verificação, aos dois estados limite, a todos os elementos.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	Ratio(vx)	Case (vx)	Ratio(vy)	Case (vy)
1164 Vig	TCAR 80x3.2	S 275	159.722	79.861	2.017	19 ULS/1=1	0.067	954 SLS C	4.338	692 SLS CH	0.029	841 SLS	0.003	696 SLS CH
1163 Vig	TCAR 80x3.2	S 275	159.722	79.861	2.017	19 ULS/1=1	0.065	954 SLS C	4.338	692 SLS CH	0.085	694 SLS	0.003	696 SLS CH
7 Vigas L	TCAR 80x3.2	S 275	159.722	79.861	2.016	19 ULS/1=1	0.057	836 SLS C	4.338	691 SLS CH	0.041	842 SLS	0.003	696 SLS CH
1162 Trav	IPE 220	S 275	47.027	172.973	0.957	20 ULS/2=1	0.114	696 SLS C	0.287	692 SLS CH	0.002	694 SLS	0.285	834 SLS CH
1161 Trav	IPE 220	S 275	47.027	173.053	0.956	20 ULS/2=1	0.110	696 SLS C	0.286	692 SLS CH	0.002	694 SLS	0.283	834 SLS CH
9 Vigas L	TCAR 80x3.2	S 275	159.722	79.861	0.824	19 ULS/1=1	0.067	959 SLS C	2.398	691 SLS CH	0.029	841 SLS	0.000	16 Wind Sim
889 Viga	TCAR 80x3.2	S 275	159.722	79.861	0.824	19 ULS/1=1	0.062	959 SLS C	2.398	691 SLS CH	0.086	694 SLS	0.000	843 SLS CH
888 Viga	TCAR 80x3.2	S 275	159.722	79.861	0.824	19 ULS/1=1	0.056	836 SLS C	2.397	691 SLS CH	0.045	959 SLS	0.000	16 Wind Sim
530 Viga	TCAR 80x3.2	S 275	159.722	79.861	0.824	19 ULS/1=1	0.067	954 SLS C	2.397	692 SLS CH	0.084	693 SLS	0.006	10 POINT
531 Viga	TCAR 80x3.2	S 275	159.722	79.861	0.824	19 ULS/1=1	0.069	954 SLS C	2.397	691 SLS CH	0.029	841 SLS	0.006	10 POINT
1180 Vig	TCAR 80x3.2	S 275	136.914	136.914	0.602	19 ULS/1=1	0.000	834 SLS C	1.782	691 SLS CH	0.000	836 SLS	0.397	835 SLS CH
1181 Vig	TCAR 80x3.2	S 275	136.914	136.914	0.602	19 ULS/1=1	0.000	16 Wind St	1.782	691 SLS CH	0.000	836 SLS	0.315	839 SLS CH
1185 Vig	TCAR 80x3.2	S 275	136.946	136.946	0.602	20 ULS/2=1	0.000	16 Wind St	1.784	691 SLS CH	0.000	959 SLS	0.311	839 SLS CH
1183 Vig	TCAR 80x3.2	S 275	136.946	136.946	0.602	20 ULS/2=1	0.000	839 SLS C	1.784	691 SLS CH	0.000	959 SLS	0.313	839 SLS CH
1184 Vig	TCAR 80x3.2	S 275	136.882	136.882	0.601	20 ULS/2=1	0.000	843 SLS C	1.781	692 SLS CH	0.000	959 SLS	0.386	835 SLS CH
1182 Vig	TCAR 80x3.2	S 275	136.882	136.882	0.601	20 ULS/2=1	0.000	834 SLS C	1.781	691 SLS CH	0.000	959 SLS	0.392	835 SLS CH
868 Viga	TCAR 80x3.2	S 275	136.914	136.914	0.454	20 ULS/2=1	0.000	836 SLS C	1.083	691 SLS CH	0.004	701 SLS	0.310	839 SLS CH
870 Viga	TCAR 80x3.2	S 275	136.914	136.914	0.433	20 ULS/2=1	0.002	833 SLS C	1.083	692 SLS CH	0.004	841 SLS	0.383	835 SLS CH
748 Viga	TCAR 80x3.2	S 275	136.914	136.914	0.361	19 ULS/1=1	0.180	960 SLS C	1.083	691 SLS CH	0.004	956 SLS	0.398	835 SLS CH
749 Viga	TCAR 80x3.2	S 275	136.914	136.914	0.361	19 ULS/1=1	0.170	960 SLS C	1.083	692 SLS CH	0.004	956 SLS	0.316	839 SLS CH
532 Viga	TCAR 80x3.2	S 275	79.861	79.861	0.109	543 ULS/52	0.059	844 SLS C	0.013	701 SLS CH	0.038	843 SLS	0.003	10 POINT

Figura 5.71: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os elementos constituintes da cobertura dos escritórios.

A Figura 5.71 permitiu observar que a grande parte das barras estavam à falha, umas ao ULS, outras ao SLS, e algumas a ambos. Passou-se a analisar os tipos diferentes de barras e quais desses é que estavam a falhar com os rácios maiores. As primeiras três barras, as 1164, 1163 e 7 falham com uma rácio de cerca de 2,017, mas um rácio ao SLS ainda maior de 4,338. De seguida, as travessas em perfil "IPE 220" passam com pouca margem, mas suficiente. A partir da viga número 9, todas estão condicionadas pelo SLS, e há uma clara separação entre as barras com rácios de cerca de 0,824, que são as vigas laterais da cobertura, as com rácios a rondar os 0,602, que são as vigas secundárias da zona interior da cobertura, e as quatro restantes, com rácios entre 0,361 e 0,454, que são as vigas secundárias dos topos. Nesta fase, seria expectável que se utiliza-se a opção de otimização pelos quatro grupos, mas visto que uns falham ao ULS e outros ao SLS, a análise seria bastante maçuda.

Assim, partiu-se do princípio que se iam utilizar perfis "IPE" (já em uso) para as travessas e vigas laterais, enquanto que para as vigas secundárias iria ser usada uma secção tubular quadrada para que respondam de forma igual à encurvadura nos dois eixos, para além de ser mais leve em proporção ao tamanho das vigas em "I" ou "H". Deliberou-se, após algumas iterações, o uso de perfis "IPE 270" para as travessas, "IPE 180" para as vigas laterais, e tubulares quadrados "TCAR

100x3,2" para as restantes vigas secundárias, dado que os perfis deste tipo já em uso não cumpriam os requisitos. Os respetivos cálculos de verificação do ULS e do SLS encontram-se de seguida.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	Ratio(vx)	Case (vx)	Ratio(vy)	Case (vy)
7 Vigas Laterais	IPE 180	S 275	67 424	121 823	0.314	19 ULS/1=	0.045	836 SLS.CH	0.297	691 SLS.C	0.041	842 SLS.CHR	0.001	696 SLS.CH
9 Vigas Laterais	IPE 180	S 275	67 424	121 823	0.174	19 ULS/1=	0.047	959 SLS.CH	0.181	691 SLS.C	0.020	841 SLS.CHR	0.000	953 SLS.CH
530 Vigas Late	IPE 180	S 275	67 424	121 823	0.173	19 ULS/1=	0.047	954 SLS.CH	0.181	691 SLS.C	0.098	833 SLS.CHR	0.003	10 POINT
531 Vigas Late	IPE 180	S 275	67 424	121 823	0.173	19 ULS/1=	0.049	954 SLS.CH	0.181	692 SLS.C	0.020	841 SLS.CHR	0.003	10 POINT
532 Vigas Late	IPE 180	S 275	33 712	121 823	0.077	543 ULS/5	0.047	844 SLS.CH	0.005	5 SOB ESC	0.038	843 SLS.CHR	0.002	10 POINT
748 Vigas Escr	TCAR 100x3.2	S 275	108 407	108 407	0.242	19 ULS/1=	0.109	960 SLS.CH	0.461	691 SLS.C	0.004	956 SLS.CHR	0.397	835 SLS.CH
749 Vigas Escr	TCAR 100x3.2	S 275	108 407	108 407	0.242	19 ULS/1=	0.105	960 SLS.CH	0.461	691 SLS.C	0.004	956 SLS.CHR	0.314	839 SLS.CH
868 Vigas Escr	TCAR 100x3.2	S 275	108 407	108 407	0.291	20 ULS/2=	0.000	844 SLS.CH	0.461	691 SLS.C	0.003	701 SLS.CHR	0.311	839 SLS.CH
870 Vigas Escr	TCAR 100x3.2	S 275	108 407	108 407	0.281	20 ULS/2=	0.001	833 SLS.CH	0.461	692 SLS.C	0.003	841 SLS.CHR	0.390	835 SLS.CH
888 Vigas Late	IPE 180	S 275	67 424	121 823	0.173	19 ULS/1=	0.044	836 SLS.CH	0.181	691 SLS.C	0.044	959 SLS.CHR	0.000	956 SLS.CH
889 Vigas Late	IPE 180	S 275	67 424	121 823	0.174	19 ULS/1=	0.044	959 SLS.CH	0.181	691 SLS.C	0.101	833 SLS.CHR	0.000	843 SLS.CH
1161 Travessas	IPE 270	S 275	38 180	141 846	0.620	20 ULS/2=	0.090	696 SLS.CH	0.142	692 SLS.C	0.001	694 SLS.CHR	0.285	834 SLS.CH
1162 Travessas	IPE 270	S 275	38 180	141 780	0.622	20 ULS/2=	0.091	696 SLS.CH	0.143	692 SLS.C	0.001	694 SLS.CHR	0.286	834 SLS.CH
1163 Vigas Late	IPE 180	S 275	67 424	121 823	0.315	19 ULS/1=	0.046	954 SLS.CH	0.297	692 SLS.C	0.100	833 SLS.CHR	0.001	696 SLS.CH
1164 Vigas Late	IPE 180	S 275	67 424	121 823	0.316	19 ULS/1=	0.048	954 SLS.CH	0.297	691 SLS.C	0.020	841 SLS.CHR	0.001	696 SLS.CH
1180 Vigas Es	TCAR 100x3.2	S 275	108 407	108 407	0.389	19 ULS/1=	0.000	18 Wind Sim	0.730	691 SLS.C	0.000	836 SLS.CHR	0.397	835 SLS.CH
1181 Vigas Es	TCAR 100x3.2	S 275	108 407	108 407	0.389	19 ULS/1=	0.000	706 SLS.CH	0.730	691 SLS.C	0.000	836 SLS.CHR	0.314	839 SLS.CH
1182 Vigas Es	TCAR 100x3.2	S 275	108 382	108 382	0.388	20 ULS/2=	0.000	16 Wind Sim	0.730	691 SLS.C	0.000	959 SLS.CHR	0.394	835 SLS.CH
1183 Vigas Es	TCAR 100x3.2	S 275	108 433	108 433	0.389	20 ULS/2=	0.000	16 Wind Sim	0.731	691 SLS.C	0.000	959 SLS.CHR	0.312	839 SLS.CH
1184 Vigas Es	TCAR 100x3.2	S 275	108 382	108 382	0.388	20 ULS/2=	0.000	843 SLS.CH	0.730	691 SLS.C	0.000	959 SLS.CHR	0.391	835 SLS.CH
1185 Vigas Es	TCAR 100x3.2	S 275	108 433	108 433	0.389	20 ULS/2=	0.000	839 SLS.CH	0.731	691 SLS.C	0.000	959 SLS.CHR	0.312	839 SLS.CH

Figura 5.72: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os elementos constituintes da cobertura dos escritórios, já com as novas secções.

Embora os rácios estejam bastante baixos para alguns elementos, nesta fase final do dimensionamento, do ponto de vista económico e da coerência estrutural, pensou-se fazer sentido gerir os tipos de perfis usados desta forma. Terminou-se, assim, a análise estrutural da cobertura dos escritórios.

5.4.3.2 Pavimento Primeiro Piso

O pavimento do primeiro piso foi das áreas mais complexas de dimensionar, pelo cuidado com que se escolheram os perfis, para que cumprissem com os requisitos, dada a elevada sobrecarga específica dessa zona, mas também para que se conseguisse otimizar a estrutura. Em primeira fase, e à semelhança do que foi feito anteriormente, efetuou-se um cálculo a todos os elementos, com verificação dos dois estados limite.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Member Verification (SLS ; ULS) 12 14 17to20 851to854 857 858 863 866 867 873 874 878 1177to1179

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
19 Vigas Escritório	IPE 220	S 275	47.027	172.973	1.852	25 ULS/7=1*1.350	0.000	695 SLS CHR/5=1*	1.091	700 SLS CHR/10=1
12 Vigas Escritório	IPE 220	S 275	47.033	172.993	1.852	26 ULS/8=1*1.350	0.000	695 SLS CHR/5=1*	1.091	699 SLS CHR/9=1*
20 Vigas Escritório	IPE 220	S 275	47.027	172.973	1.851	27 ULS/9=1*1.350	0.000	839 SLS CHR/149=	1.091	700 SLS CHR/10=1
17 Vigas Escritório	IPE 220	S 275	47.027	172.973	1.851	26 ULS/8=1*1.350	0.000	696 SLS CHR/6=1*	1.091	699 SLS CHR/9=1*
18 Vigas Escritório	IPE 220	S 275	47.027	172.973	1.851	27 ULS/9=1*1.350	0.000	5 SOB ESC	1.091	699 SLS CHR/9=1*
14 Vigas Escritório	IPE 220	S 275	47.022	172.952	1.850	26 ULS/8=1*1.350	0.000	18 Wind Simulation	1.090	700 SLS CHR/10=1
857 Vigas Latera	IPE 220	S 275	54.861	100.894	1.733	23 ULS/5=1*1.350	0.020	959 SLS CHR/269=	1.241	699 SLS CHR/9=1*
878 Vigas Latera	IPE 220	S 275	54.861	100.894	1.728	23 ULS/5=1*1.350	0.034	956 SLS CHR/266=	1.241	691 SLS CHR/1=1*
853 Vigas Latera	IPE 220	S 275	54.861	100.894	1.716	23 ULS/5=1*1.350	0.046	959 SLS CHR/269=	1.241	699 SLS CHR/9=1*
863 Vigas Latera	IPE 220	S 275	54.861	100.894	1.713	27 ULS/9=1*1.350	0.032	956 SLS CHR/266=	1.241	699 SLS CHR/9=1*
854 Vigas Latera	IPE 220	S 275	54.861	100.894	1.708	27 ULS/9=1*1.350	0.017	959 SLS CHR/269=	1.241	699 SLS CHR/9=1*
874 Travessas E	IPE 220	S 275	47.027	172.973	1.412	22 ULS/4=1*1.350	0.083	696 SLS CHR/6=1*	0.158	694 SLS CHR/4=1*
873 Travessas E	IPE 220	S 275	47.027	172.973	1.410	22 ULS/4=1*1.350	0.083	696 SLS CHR/6=1*	0.157	694 SLS CHR/4=1*
1179 Vigas Latera	IPE 270	S 275	44.541	82.699	1.017	27 ULS/9=1*1.350	0.033	956 SLS CHR/266=	0.580	699 SLS CHR/9=1*
867 Vigas Escrit	IPE 220	S 275	47.027	172.973	0.973	22 ULS/4=1*1.350	0.004	17 Wind Simulation	0.562	691 SLS CHR/1=1*
851 Vigas Escrit	IPE 220	S 275	47.027	172.973	0.957	26 ULS/8=1*1.350	0.124	955 SLS CHR/265=	0.562	697 SLS CHR/7=1*
866 Vigas Escrit	IPE 220	S 275	47.027	172.973	0.956	22 ULS/4=1*1.350	0.000	695 SLS CHR/5=1*	0.562	700 SLS CHR/10=1
852 Vigas Escrit	IPE 220	S 275	47.027	172.973	0.955	26 ULS/8=1*1.350	0.122	959 SLS CHR/269=	0.562	698 SLS CHR/8=1*
1178 Vigas Latera	IPE 270	S 275	44.541	82.699	0.929	27 ULS/9=1*1.350	0.018	961 SLS CHR/271=	0.209	699 SLS CHR/9=1*
1177 Vigas Latera	IPE 270	S 275	44.541	82.699	0.872	24 ULS/6=1*1.350	0.046	959 SLS CHR/269=	0.424	696 SLS CHR/6=1*
858 Vigas Latera	IPE 220	S 275	27.431	100.894	0.443	25 ULS/7=1*1.350	0.048	959 SLS CHR/269=	0.123	697 SLS CHR/7=1*

Calc. Note Close Help

Ratio

Analysis Map

Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.73: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os elementos constituintes do pavimento do primeiro piso dos escritórios.

Em primeira análise, quase todas as barras falham, ao ULS e SLS, mas por uma margem reduzida. As primeiras seis barras da Figura 5.73, as vigas secundárias interiores do pavimento, e as mais esforçadas, apresentam um rácio da ordem dos 1,850, pelo que se poderá proceder ao cálculo de otimização para as mesmas, sendo para isso necessário criar um *code group* dedicado.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Code Group Design (ULS) 40

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 40 PAV ESC VIG SEC						
19 Vigas Escritório_19	IPE 240	S 275	42.970	159.166	1.372	25 ULS/7=1*1.350
	IPE 270		38.180	141.780	0.975	+ 3*1.350 + 5*1.500
	IPE 300		34.395	127.954	0.706	+ 17*0.900 +
19 Vigas Escritório_19	HE 140 B	S 275	72.308	119.816	1.432	25 ULS/7=1*1.350
	HE 160 B		63.239	105.864	0.973	+ 3*1.350 + 5*1.500
	HE 180 B		55.935	93.783	0.702	+ 17*0.900 +
19 Vigas Escritório_19	TCAR 150x10	S 275	76.243	76.243	1.051	25 ULS/7=1*1.350
	TCAR 150x12		77.759	77.759	0.900	+ 3*1.350 + 5*1.500
	TCAR 180x3.6		60.336	60.336	2.274	+ 17*0.900 +
19 Vigas Escritório_19	TREC 200x100x8	S 275	61.468	105.965	1.071	25 ULS/7=1*1.350
	TREC 200x100x10		62.616	108.443	0.879	+ 3*1.350 + 5*1.500
	TREC 200x150x5		56.348	70.209	1.308	+ 17*0.900 +
19 Vigas Escritório_19	TRON 219x6.3	S 275	56.942	56.942	1.084	25 ULS/7=1*1.350
	TRON 273x5		45.226	45.226	0.862	+ 3*1.350 + 5*1.500
	TRON 273x6.3		45.442	45.442	0.690	+ 17*0.900 +
19 Vigas Escritório_19	HE 180 A	S 275	57.545	94.818	1.099	25 ULS/7=1*1.350
	HE 200 A		51.752	86.049	0.812	+ 3*1.350 + 5*1.500
	HE 220 A		46.742	77.763	0.597	+ 17*0.900 +

Calc. Note Close Help

Change all

Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.74: Janela informativa referente aos cálculos de otimização ao ULS para as vigas secundárias do pavimento do primeiro piso dos escritórios.

Member	Section	Material	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
Code group : 40 PAV ESC VIG SEC						
12 Vigas	TCAR 180x10	S 275	0.000	695 SLS-CH	0.993	699 SLS-C
12 Vigas	TREC 200x15	S 275	0.000	695 SLS-CH	0.894	699 SLS-C
12 Vigas	TRON 273x5	S 275	0.000	695 SLS-CH	0.800	699 SLS-C
12 Vigas	IPE 240	S 275	0.000	695 SLS-CH	0.777	699 SLS-C
12 Vigas	HE 200 A	S 275	0.000	695 SLS-CH	0.819	699 SLS-C
12 Vigas	HE 180 B	S 275	0.000	695 SLS-CH	0.789	699 SLS-C

Figura 5.75: Janela informativa referente aos cálculos de otimização ao SLS para as vigas secundárias do pavimento do primeiro piso dos escritórios.

Na verificação ao ULS, é sugerido como ótimo um perfil "IPE 270" com um rácio de 0,975. Após a verificação ao SLS, conclui-se que este perfil cumpriria facilmente os requisitos. No entanto, não seria benéfico dimensionar uma viga que será esforçada não linearmente, por ser uma zona com movimento imprevisível de pessoas, tão próxima de uma situação limite à sua resistência. Assim, verificando as características dos outros perfis sugeridos, verificou-se que os "HEA" e "HEB" seriam mais pesados, apesar dos melhores resultados, do que o perfil "IPE 300" que segue, no sentido crescente de resistência, o "IPE 270" (Thomaz dos Santos S.A.). Posto isto, adotou-se então a secção "IPE 300" para as vigas secundárias interiores do pavimento.

De seguida, as barras mais esforçadas, de acordo com a Figura 5.73, correspondem às vigas laterais, pelo que se efetuam os mesmo cálculos.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 41 PAV ESC VIG LAT						
857 Vigas Laterais	HE 180 A	S 275	67.131	55.307	1.368	23 ULS/5=1*1.350
Escritório_857	HE 200 A	S 275	60.374	50.192	0.888	+ 3*1.350 + 5*1.500
	HE 220 A	S 275	54.529	45.359	0.671	+ 16*0.900 +
857 Vigas Laterais	HE 160 B	S 275	73.774	61.750	1.153	23 ULS/5=1*1.350
Escritório_857	HE 180 B	S 275	65.253	54.703	0.792	+ 3*1.350 + 5*1.500
	HE 200 B	S 275	58.540	49.355	0.594	+ 16*0.900 +
857 Vigas Laterais	IPE 240	S 275	50.128	92.841	1.086	23 ULS/5=1*1.350
Escritório_857	IPE 270	S 275	44.541	82.699	0.794	+ 3*1.350 + 5*1.500
	IPE 300	S 275	40.124	74.635	0.612	+ 16*0.900 +
857 Vigas Laterais	TCAR 180x8	S 275	71.927	35.964	1.113	23 ULS/5=1*1.350
Escritório_857	TCAR 180x10	S 275	73.002	36.501	0.876	+ 3*1.350 + 5*1.500
	TCAR 180x12	S 275	74.121	37.061	0.747	+ 16*0.900 +
857 Vigas Laterais	TREC 200x15	S 275	67.175	41.946	1.060	23 ULS/5=1*1.350
Escritório_857	TREC 200x15	S 275	68.183	42.636	0.851	+ 3*1.350 + 5*1.500
	TREC 200x15	S 275	69.239	43.351	0.726	+ 16*0.900 +
857 Vigas Laterais	TRON 273x5	S 275	52.760	26.380	1.113	23 ULS/5=1*1.350
Escritório_857	TRON 273x6.3	S 275	53.012	26.506	0.848	+ 3*1.350 + 5*1.500
	TRON 323x5.6	S 275	44.423	22.212	0.670	+ 16*0.900 +

Figura 5.76: Janela informativa referente aos cálculos de otimização ao ULS para as vigas laterais do pavimento do primeiro piso dos escritórios.

Member	Section	Material	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
Code group : 41 PAV ESC VIG LAT						
863 Vigas Laterais	TCAR 200x8	S 275	0.002	960 SLS CHR/	0.976	699 SLS CHR/9
863 Vigas Laterais	HE 200 A	S 275	0.005	960 SLS CHR/	0.949	699 SLS CHR/9
863 Vigas Laterais	TRON 273x5	S 275	0.002	960 SLS CHR/	0.927	699 SLS CHR/9
863 Vigas Laterais	HE 180 B	S 275	0.005	960 SLS CHR/	0.915	699 SLS CHR/9
863 Vigas Laterais	TREC 200x15	S 275	0.003	960 SLS CHR/	0.910	699 SLS CHR/9
863 Vigas Laterais	IPE 240	S 275	0.026	960 SLS CHR/	0.900	699 SLS CHR/9

Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.77: Janela informativa referente aos cálculos de otimização ao SLS para as vigas laterais do pavimento do primeiro piso dos escritórios.

Verifica-se, como no caso anterior, que as sugestões viáveis são de perfis "IPE", "HEA" e "HEB". À semelhança do que foi feito para as vigas secundárias, e tendo por base as mesmas considerações, foi adotado o perfil "IPE 270" por já estar em uso e cumprir com as condições de ambos os estados limite.

Seguidamente, correu-se um cálculo de otimização às travessas dos escritórios, que são as que ligam os pilares exteriores aos interiores. Neste caso não será necessária a verificação ao SLS, devido ao facto destas travessas serem suportadas pelos pilares de apoio ao pavimento, pelo que as deflexões são mínimas e cumprem com bastante margem os requisitos impostos por este estado limite, conforme se observa na Figura 5.73.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 42 PAV ESC TRAV						
874 Travessas Escritório_874	HE 160 A	S 275	65.247	107.564	1.112	22 ULS/4=1*1.350
	HE 180 A		57.545	94.818	0.815	+ 3*1.350 + 5*1.500
	HE 200 A		51.752	86.049	0.602	+ 15*0.900
874 Travessas Escritório_874	HE 140 B	S 275	72.308	119.816	1.062	22 ULS/4=1*1.350
	HE 160 B		63.239	105.864	0.722	+ 3*1.350 + 5*1.500
	HE 180 B		55.935	93.783	0.520	+ 15*0.900
874 Travessas Escritório_874	IPE 240	S 275	42.970	159.166	1.037	22 ULS/4=1*1.350
	IPE 270		38.180	141.780	0.734	+ 3*1.350 + 5*1.500
	IPE 300		34.395	127.954	0.524	+ 15*0.900
874 Travessas Escritório_874	TCAR 150x6	S 275	73.576	73.576	1.407	22 ULS/4=1*1.350
	TCAR 150x8		74.876	74.876	0.947	+ 3*1.350 + 5*1.500
	TCAR 150x10		76.243	76.243	0.779	+ 15*0.900
874 Travessas Escritório_874	TREC 200x10	S 275	60.388	103.619	1.052	22 ULS/4=1*1.350
	TREC 200x10		61.468	105.965	0.794	+ 3*1.350 + 5*1.500
	TREC 200x10		62.616	108.443	0.652	+ 15*0.900
874 Travessas Escritório_874	TRON 168x8	S 275	75.531	75.531	1.243	22 ULS/4=1*1.350
	TRON 168x10		76.428	76.428	0.914	+ 3*1.350 + 5*1.500
	TRON 168x12		77.560	77.560	0.754	+ 15*0.900

Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.78: Janela informativa referente aos cálculos de otimização ao ULS para as travessas do pavimento do primeiro piso dos escritórios.

Observou-se então que, uma vez mais, o perfil "IPE 270" cumpre os requisitos, portanto será o utilizado.

Nesta fase, correram-se os cálculos de todos os elementos de novo, no âmbito de verificar as melhorias.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Member Verification (SLS ; ULS) 12 14 17to20 851to854 857 858 863 866 867 873 874 878 1177to1179

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
12 Vigas Escritório	IPE 300	S 275	34.399	127.969	0.718	26 ULS/8=1*1	0.000	18 Wind Simul	0.369	699 SLS-CHR
14 Vigas Escritório	IPE 300	S 275	34.391	127.939	0.717	26 ULS/8=1*1	0.000	956 SLS-CHR/	0.369	700 SLS-CHR
17 Vigas Escritório	IPE 300	S 275	34.395	127.954	0.718	26 ULS/8=1*1	0.000	18 Wind Simul	0.369	700 SLS-CHR
18 Vigas Escritório	IPE 300	S 275	34.395	127.954	0.718	27 ULS/9=1*1	0.000	842 SLS-CHR/	0.369	700 SLS-CHR
19 Vigas Escritório	IPE 300	S 275	34.395	127.954	0.718	25 ULS/7=1*1	0.000	16 Wind Simul	0.369	699 SLS-CHR
20 Vigas Escritório	IPE 300	S 275	34.395	127.954	0.718	27 ULS/9=1*1	0.000	834 SLS-CHR/	0.369	699 SLS-CHR
851 Vigas Escritório	IPE 220	S 275	47.027	172.973	0.957	26 ULS/8=1*1	0.124	955 SLS-CHR/	0.562	697 SLS-CHR
852 Vigas Escritório	IPE 220	S 275	47.027	172.973	0.955	26 ULS/8=1*1	0.122	954 SLS-CHR/	0.562	697 SLS-CHR
853 Vigas Laterais	IPE 270	S 275	44.541	82.699	0.803	27 ULS/9=1*1	0.058	954 SLS-CHR/	0.615	699 SLS-CHR
854 Vigas Laterais	IPE 270	S 275	44.541	82.699	0.800	27 ULS/9=1*1	0.038	954 SLS-CHR/	0.615	699 SLS-CHR
857 Vigas Laterais	IPE 270	S 275	44.541	82.699	0.807	25 ULS/7=1*1	0.037	959 SLS-CHR/	0.615	699 SLS-CHR
858 Vigas Laterais	IPE 270	S 275	22.270	82.699	0.292	25 ULS/7=1*1	0.058	959 SLS-CHR/	0.087	697 SLS-CHR
863 Vigas Laterais	IPE 270	S 275	44.541	82.699	0.800	25 ULS/7=1*1	0.038	960 SLS-CHR/	0.615	699 SLS-CHR
866 Vigas Escritório	IPE 220	S 275	47.027	172.973	0.957	22 ULS/4=1*1	0.000	838 SLS-CHR/	0.562	699 SLS-CHR
867 Vigas Escritório	IPE 220	S 275	47.027	172.973	0.959	22 ULS/4=1*1	0.004	836 SLS-CHR/	0.562	691 SLS-CHR
873 Travessas E	IPE 270	S 275	38.180	141.780	0.850	22 ULS/4=1*1	0.041	843 SLS-CHR/	0.098	694 SLS-CHR
874 Travessas E	IPE 270	S 275	38.180	141.780	0.849	22 ULS/4=1*1	0.041	843 SLS-CHR/	0.097	694 SLS-CHR
878 Vigas Laterais	IPE 270	S 275	44.541	82.699	0.792	19 ULS/1=1*1	0.038	955 SLS-CHR/	0.615	691 SLS-CHR
1177 Vigas Laterais	IPE 270	S 275	44.541	82.699	2.421	23 ULS/5=1*1	0.058	959 SLS-CHR/	1.195	697 SLS-CHR
1178 Vigas Laterais	IPE 270	S 275	44.541	82.699	2.414	23 ULS/5=1*1	0.037	954 SLS-CHR/	1.194	698 SLS-CHR
1179 Vigas Laterais	IPE 270	S 275	44.541	82.699	2.414	25 ULS/7=1*1	0.038	960 SLS-CHR/	1.194	700 SLS-CHR

Calc. Note Close Help

Ratio Analysis Map

Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.79: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os elementos constituintes do pavimento do primeiro piso dos escritórios.

Verificou-se que as vigas centrais, depois das atualizações dos restantes perfis, apresentavam uma falha considerável, pelo que se fez o cálculo de otimização, uma vez mais.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Code Group Design (ULS) 43

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 43 PAV ESC VIG MID						
1177 Vigas Laterais	HE 240 A	S 275	49.743	41.646	1.019	27 ULS/9=1*1.350
Escritório_1177	HE 260 A	S 275	45.563	38.464	0.819	+ 3*1.350 + 5*1.500
	HE 280 A	S 275	42.171	35.727	0.678	+ 18*0.900 +
1177 Vigas Laterais	HE 200 B	S 275	58.540	49.355	1.368	27 ULS/9=1*1.350
Escritório_1177	HE 220 B	S 275	53.038	44.735	0.911	+ 3*1.350 + 5*1.500
	HE 240 B	S 275	48.511	41.094	0.715	+ 18*0.900 +
1177 Vigas Laterais	IPE 300	S 275	40.124	74.635	1.437	27 ULS/9=1*1.350
Escritório_1177	IPE 330	S 275	36.471	70.461	0.941	+ 3*1.350 + 5*1.500
	IPE 360	S 275	33.434	66.002	0.743	+ 18*0.900 +
1177 Vigas Laterais	TCAR 250x8	S 275	50.962	25.481	1.114	27 ULS/9=1*1.350
Escritório_1177	TCAR 250x10	S 275	51.490	25.745	0.870	+ 3*1.350 + 5*1.500
	TCAR 250x12	S 275	52.027	26.014	0.737	+ 18*0.900 +
1177 Vigas Laterais	TREC 300x10	S 275	50.371	60.793	1.172	27 ULS/9=1*1.350
Escritório_1177	TREC 300x10	S 275	51.118	62.153	0.938	+ 3*1.350 + 5*1.500
	TREC 300x20	S 275	44.271	30.173	1.443	+ 18*0.900 +
1177 Vigas Laterais	TRON 323x7.1	S 275	44.629	22.315	1.109	27 ULS/9=1*1.350
Escritório_1177	TRON 355x6.3	S 275	40.481	20.240	0.978	+ 3*1.350 + 5*1.500
	TRON 355x8	S 275	40.674	20.337	0.778	+ 18*0.900 +

Calc. Note Close Help

Change all

Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.80: Janela informativa referente aos cálculos de otimização ao ULS para as vigas centrais do pavimento do primeiro piso dos escritórios.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Code Group Design (SLS) 43

Member	Section	Material	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
Code group : 43 PAV ESC VIG MID						
1177 Vigas	HE 240 A	S 275	0.009	959 SLS-CH	0.891	697 SLS-C
1177 Vigas	HE 220 B	S 275	0.009	959 SLS-CH	0.855	697 SLS-C
1177 Vigas	IPE 300	S 275	0.040	959 SLS-CH	0.828	697 SLS-C
1177 Vigas	TCAR 250x8	S 275	0.003	959 SLS-CH	0.952	697 SLS-C
1177 Vigas	TREC 300x100x10	S 275	0.020	959 SLS-CH	0.963	697 SLS-C
1177 Vigas	TRON 323x5.6	S 275	0.003	959 SLS-CH	0.975	697 SLS-C

Calc. Note Close Help

Change all

Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.81: Janela informativa referente aos cálculos de otimização ao SLS para as vigas centrais do pavimento do primeiro piso dos escritórios.

Na verificação do SLS o "IPE 300" cumpre os requisitos, o que não se verifica no cálculo ao ULS, no qual o *software* sugere um "IPE 330". Esta secção deixou de ser utilizada em todo o pavilhão, pelo que se preferiu abordar uma solução que passasse pela seleção de um perfil já utilizado, como várias vezes referido ao longo do dimensionamento.

Assim, foi feita uma análise global mais objetiva, e percebeu-se que os perfis "HEA" teriam um melhor desempenho neste caso, e teriam vantagens construtivas, por terem abas mais largas facilitariam a aplicação da "Laje Mista" escolhida para o pavimento (O FELIZ). Para além disso, oferecem uma resposta mais uniforme à encurvadura, por serem perfis menos esbeltos, e são, proporcionalmente ao tamanho e ao peso, mais resistentes do que os "IPE". Posto isto, para todos as vigas anteriormente calculadas foi-lhe atribuído o perfil "HEA 220" e, para as vigas centrais, o perfil "HEA 320", ambos utilizados já para as travessas longitudinais da cobertura. Adicionalmente, como referido no Capítulo 3, este pavimento é uma zona bastante esforçada, e as sobrecargas calculadas partem de suposições de utilização descritas, que podem não vir a ser as reais, o que faz com que o sobredimensionamento aqui considerado possa vir a ser benéfico, queiram os utilizadores do escritório adicionar uma zona de arquivo maior do que o dimensionado, ou revestimentos mais massivos nas paredes, chãos e tetos.

Os cálculos finais de verificação apresentam-se de seguida.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Member Verification (SLS ; ULS) 12 14 17to20 851to854 857 858 863 866 867 873 874 878 1177to1179

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
12 Vigas Escritório	HEA 220	S 275	46.748	77.772	0.612	26 ULS/8=1	0.000	846 SLS-CH	0.575	700 SLS-CH
14 Vigas Escritório	HEA 220	S 275	46.737	77.754	0.612	27 ULS/9=1	0.000	16 Wind Sim	0.575	699 SLS-CH
17 Vigas Escritório	HEA 220	S 275	46.742	77.763	0.612	27 ULS/9=1	0.000	16 Wind Sim	0.575	700 SLS-CH
18 Vigas Escritório	HEA 220	S 275	46.742	77.763	0.612	27 ULS/9=1	0.000	843 SLS-CH	0.575	699 SLS-CH
19 Vigas Escritório	HEA 220	S 275	46.742	77.763	0.613	25 ULS/7=1	0.000	842 SLS-CH	0.575	699 SLS-CH
20 Vigas Escritório	HEA 220	S 275	46.742	77.763	0.612	27 ULS/9=1	0.000	16 Wind Sim	0.575	700 SLS-CH
851 Vigas Escrit	IPE 220	S 275	47.027	172.973	0.958	25 ULS/7=1	0.124	955 SLS-CH	0.562	698 SLS-CH
852 Vigas Escrit	IPE 220	S 275	47.027	172.973	0.955	26 ULS/8=1	0.122	959 SLS-CH	0.562	697 SLS-CH
853 Vigas Latera	HEA 220	S 275	54.529	45.359	0.697	27 ULS/9=1	0.015	954 SLS-CH	0.679	700 SLS-CH
854 Vigas Latera	HEA 220	S 275	54.529	45.359	0.696	27 ULS/9=1	0.013	954 SLS-CH	0.679	699 SLS-CH
857 Vigas Latera	HEA 220	S 275	54.529	45.359	0.711	23 ULS/5=1	0.013	958 SLS-CH	0.679	700 SLS-CH
858 Vigas Latera	HEA 220	S 275	27.265	45.359	0.250	25 ULS/7=1	0.016	959 SLS-CH	0.091	697 SLS-CH
863 Vigas Latera	HEA 220	S 275	54.529	45.359	0.695	27 ULS/9=1	0.012	958 SLS-CH	0.679	699 SLS-CH
866 Vigas Escrit	IPE 220	S 275	47.027	172.973	0.957	22 ULS/4=1	0.000	834 SLS-CH	0.562	699 SLS-CH
867 Vigas Escrit	IPE 220	S 275	47.027	172.973	0.959	22 ULS/4=1	0.004	836 SLS-CH	0.562	692 SLS-CH
873 Travessas E	IPE 270	S 275	38.180	141.780	0.850	22 ULS/4=1	0.041	843 SLS-CH	0.098	694 SLS-CH
874 Travessas E	IPE 270	S 275	38.180	141.780	0.850	22 ULS/4=1	0.041	835 SLS-CH	0.098	694 SLS-CH
878 Vigas Latera	HEA 220	S 275	54.529	45.359	0.691	19 ULS/1=1	0.013	955 SLS-CH	0.679	691 SLS-CH
1177 Vigas Later	HE 320 A	S 275	36.824	33.358	0.489	27 ULS/9=1	0.015	959 SLS-CH	0.320	698 SLS-CH
1178 Vigas Later	HE 320 A	S 275	36.824	33.358	0.488	27 ULS/9=1	0.012	954 SLS-CH	0.320	697 SLS-CH
1179 Vigas Later	HE 320 A	S 275	36.824	33.358	0.488	27 ULS/9=1	0.012	960 SLS-CH	0.320	700 SLS-CH

Calc. Note Close Help

Ratio Analysis Map

Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.82: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os elementos constituintes do pavimento do primeiro piso dos escritórios, com os perfis finais.

Conclui-se assim o dimensionamento do pavimento do primeiro piso dos escritórios que, com uma margem justificadamente superior ao expectável, dá certamente garantias de um bom desempenho.

5.4.3.3 Pilares Mistos

Nesta fase, os únicos elementos não dimensionados são os pilares da zona dos escritórios, que são separados em três grupos: pilares mistos, pilares interiores, e pilares de apoio.

Começando pelos pilares mistos, que são os que constituem o pórtico mas também suportam as travessas e vigas do pavimento e cobertura dos escritórios. Para primeira aproximação, executam-se os cálculos de verificação do ULS e SLS a todos os elementos.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	Ratio(vx)	Case (vx)	Ratio(vy)	Case (vy)
4 Pilares Mistos	IPE 400	S 275	8.460	75.950	0.304	301 ULS/28	0.014	695 SLS.C	0.028	841 SLS.CHR	0.094	841 SLS.CHR	0.028	847 SLS.CHR
66 Pilares Misto	IPE 400	S 275	12.691	50.633	0.728	307 ULS/28	0.024	841 SLS.C	0.160	834 SLS.CHR	0.089	841 SLS.CHR	0.455	834 SLS.CHR
68 Pilares Misto	IPE 300	S 275	16.852	59.708	0.588	307 ULS/28	0.026	841 SLS.C	0.067	847 SLS.CHR	0.093	841 SLS.CHR	0.248	834 SLS.CHR
74 Pilares Misto	IPE 400	S 275	12.691	25.317	0.488	301 ULS/28	0.009	5 SOB ESC	0.034	961 SLS.CHR	0.100	841 SLS.CHR	0.027	847 SLS.CHR
154 Pilares Mist	IPE 400	S 275	12.691	50.633	0.521	301 ULS/28	0.008	10 PONT	0.034	961 SLS.CHR	0.114	841 SLS.CHR	0.024	847 SLS.CHR
184 Pilares Mist	IPE 400	S 275	12.691	50.633	0.613	301 ULS/28	0.011	10 PONT	0.041	841 SLS.CHR	0.204	841 SLS.CHR	0.020	847 SLS.CHR

Figura 5.83: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os pilares mistos.

Os resultados apresentam uma boa margem para todos os pilares, que sugere que se possa diminuir à sua secção. Embora seja possível que, ao diminuir a secção, se possa estar a afetar toda a estrutura dos escritórios já dimensionada, alterou-se o pilar número 4 para "IPE 300" à semelhança do pilar oposto do mesmo pórtico. Optou-se por manter a secção "IPE 400" nos restantes pilares, pelas mesmas razões que se sobredimensionou o pavimento do primeiro piso. Assim, voltou-se a fazer a verificação do ULS.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	Ratio(vx)	Case (vx)	Ratio(vy)	Case (vy)
4 Pilares Mistos	IPE 300	S 275	11.235	89.562	0.331	301 ULS	0.015	695 SLS.C	0.030	840 SLS.CH	0.105	840 SLS.C	0.029	847 SLS.C
66 Pilares Mistos	IPE 400	S 275	12.691	50.633	0.732	307 ULS	0.027	840 SLS.C	0.160	834 SLS.CH	0.100	840 SLS.C	0.455	834 SLS.C
68 Pilares Mistos	IPE 300	S 275	16.852	59.708	0.593	307 ULS	0.028	840 SLS.C	0.067	847 SLS.CH	0.103	840 SLS.C	0.247	834 SLS.C
74 Pilares Mistos	IPE 400	S 275	12.691	25.317	0.517	301 ULS	0.009	5 SOB ESC	0.034	961 SLS.CH	0.111	840 SLS.C	0.028	847 SLS.C
154 Pilares Misto	IPE 400	S 275	12.691	50.633	0.521	301 ULS	0.008	10 PONT	0.034	961 SLS.CH	0.114	841 SLS.C	0.025	847 SLS.C
184 Pilares Misto	IPE 400	S 275	12.691	50.633	0.613	301 ULS	0.011	10 PONT	0.041	841 SLS.CH	0.204	841 SLS.C	0.021	847 SLS.C

Figura 5.84: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os pilares mistos, já com as alterações dos perfis.

Ficou então comprovada a eficácia dos perfis utilizados para os pilares mistos. Prosseguiu-se então para o dimensionamento dos pilares interiores.

5.4.3.4 Pilares Interiores

Os elementos a serem tratados na presente secção são os pilares que se situam dentro do pavilhão e dão suporte aos escritórios, os quais assumem, à priori, secções "IPE 220". Procedeu-se ao cálculo usual de verificação dos estados limite.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	Ratio(vx)	Case (vx)	Ratio(vy)	Case (vy)
15 Pilares Escrit	IPE 220	S 275	32.917	121.073	1.596	27 ULS/9	0.166	847 SLS-CHR	0.039	5 SOB ESC	0.117	841 SLS-CH	0.454	834 SLS-C
16 Pilares Escrit	IPE 220	S 275	32.917	121.073	1.506	28 ULS/1	0.164	847 SLS-CHR	0.040	5 SOB ESC	0.117	840 SLS-CH	0.455	834 SLS-C
871 Pilares Escrit	IPE 220	S 275	32.917	121.073	0.689	28 ULS/1	0.032	841 SLS-CHR	0.072	847 SLS-CH	0.206	841 SLS-CH	0.243	834 SLS-C
872 Pilares Escrit	IPE 220	S 275	32.917	121.073	1.179	310 ULS	0.169	847 SLS-CHR	0.035	832 SLS-CH	0.208	841 SLS-CH	0.453	834 SLS-C

Figura 5.85: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os pilares interiores.

Observou-se que os perfis, como esperado pelo aumento considerável das secções das vigas do pavimento do primeiro piso, falham, com a exceção do pilar 871. Neste caso não se considerou necessário o cálculo de otimização, pelo que simplesmente se aumentou a secção aos pilares 15, 16 e 872 para "IPE 270", apresentando-se, de seguida, os resultados provenientes dessas alterações.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
15 Pilares Escrit	IPE 270	S 275	26.724	99.239	0.861	27 ULS/9=1
16 Pilares Escrit	IPE 270	S 275	26.724	99.239	0.837	28 ULS/10=
871 Pilares Escrit	IPE 220	S 275	32.917	121.073	0.681	28 ULS/10=
872 Pilares Escrit	IPE 270	S 275	26.724	99.239	0.786	310 ULS/292

Figura 5.86: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os pilares interiores, já com as alterações dos perfis.

Assim, conclui-se o dimensionamento dos pilares interiores, passando-se, por último, aos pilares de apoio ao pavimento.

5.4.3.5 Pilares de Apoio

Finalmente, chegou-se ao dimensionamento dos últimos elementos, os pilares de apoio ao pavimento do primeiro piso, de secção "IPE 220" até ao momento, pelo que se passou aos cálculos de verificação do ULS e SLS.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	Ratio(vx)	Case (vx)	Ratio(vy)	Case (vy)
8 Pilares Apoio	IPE 220	S 275	32 917	121.073	1.060	22 ULS/4	0.067	841 SLS C	0.000	839 SLS C	0.107	841 SLS	0.193	16 Wind Simu
10 Pilares Apoio	IPE 220	S 275	32 917	121.073	1.064	21 ULS/3	0.069	832 SLS C	0.000	17 Wind S	0.108	840 SLS	0.193	16 Wind Simu

Figura 5.87: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os pilares de apoio.

Verifica-se que os dois falham com rácios muito semelhantes, e muito próximos do limite, pelo que se optou pela secção seguinte em uso, a "IPE 270". Assim:

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
8 Pilares Apoio	IPE 270	S 275	26.724	99.239	0.599	22 ULS/4=1*1
10 Pilares Apoio	IPE 270	S 275	26.724	99.239	0.602	21 ULS/3=1*1

Figura 5.88: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS e SLS de todos os pilares de apoio, já com as alterações dos perfis.

Por último, tendo-se cumprido todos os requisitos ao longo do dimensionamento por partes feito na presente secção, restou fazer a verificação do mesmo para toda a zona de escritórios, que será abordado na secção seguinte.

5.5 Verificação

Nesta fase, correram-se os cálculos de algumas secções do pavilhão, cálculos esses que são demorados por analisarem muitas barras ao mesmo tempo, e por isso devem só ser executados para verificação.

5.5.1 Cobertura

Na verificação do dimensionamento da cobertura, começa-se pelo o cálculo das travessas longitudinais e da cobertura.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Member Verification (SLS ; ULS) 2 3 5 72 73 75 152to392By30 153to393By30 155to395By30

Results Messages

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	Ratio(vx)	Case (vx)	Ratio(vy)	Case (vy)
2 Travessas Cob	IPE 220	S 275	23.876	175.641	0.326	543 ULS/52	0.022	834 SLS CH	0.006	839 SLS CH	0.008	847 SLS CH	0.012	846 SLS CH
3 Travessas Cob	IPE 220	S 275	23.876	175.641	0.327	543 ULS/52	0.022	16 Wind SI	0.006	839 SLS CH	0.008	839 SLS CH	0.014	847 SLS CH
5 Travessas Lon	IPE 180	S 275	28.898	208.854	0.170	306 ULS/28	0.228	842 SLS CH	0.004	701 SLS CH	0.008	847 SLS CH	0.002	845 SLS CH
72 Travessas Co	IPE 300	S 275	17.463	64.964	0.388	541 ULS/52	0.032	842 SLS CH	0.064	701 SLS CH	0.017	701 SLS CH	0.015	838 SLS CH
73 Travessas Co	IPE 300	S 275	17.463	64.964	0.894	546 ULS/52	0.032	834 SLS CH	0.182	701 SLS CH	0.008	957 SLS CH	0.017	847 SLS CH
75 Travessas Lo	HEA 220	S 275	23.371	77.763	0.587	312 ULS/29	0.222	842 SLS CH	0.123	692 SLS CH	0.005	835 SLS CH	0.002	843 SLS CH
152 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	0.334	541 ULS/52	0.031	842 SLS CH	0.081	701 SLS CH	0.023	701 SLS CH	0.021	838 SLS CH
153 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	0.919	546 ULS/52	0.031	842 SLS CH	0.196	701 SLS CH	0.005	701 SLS CH	0.023	846 SLS CH
155 Travessas L	HEA 220	S 275	23.371	77.763	0.620	29 ULS/11=	0.221	842 SLS CH	0.137	692 SLS CH	0.010	692 SLS CH	0.002	843 SLS CH
182 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	0.294	546 ULS/52	0.030	842 SLS CH	0.083	957 SLS CH	0.025	701 SLS CH	0.027	838 SLS CH
183 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	0.920	546 ULS/52	0.031	842 SLS CH	0.200	701 SLS CH	0.005	701 SLS CH	0.029	846 SLS CH
185 Travessas L	HEA 220	S 275	23.371	77.763	0.661	29 ULS/11=	0.219	842 SLS CH	0.138	692 SLS CH	0.010	692 SLS CH	0.002	843 SLS CH
212 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.210	546 ULS/52	0.031	842 SLS CH	0.225	957 SLS CH	0.019	957 SLS CH	0.033	838 SLS CH
213 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.212	541 ULS/52	0.032	842 SLS CH	0.225	957 SLS CH	0.019	957 SLS CH	0.035	846 SLS CH
215 Travessas L	HE 320 A	S 275	15.783	57.189	0.956	20 ULS/2=1	0.217	842 SLS CH	0.265	957 SLS CH	0.019	957 SLS CH	0.002	843 SLS CH
242 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.206	541 ULS/52	0.030	842 SLS CH	0.225	957 SLS CH	0.019	957 SLS CH	0.039	846 SLS CH
243 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.204	546 ULS/52	0.032	842 SLS CH	0.225	957 SLS CH	0.019	957 SLS CH	0.040	846 SLS CH
245 Travessas L	HE 320 A	S 275	15.783	57.189	0.957	20 ULS/2=1	0.215	842 SLS CH	0.265	957 SLS CH	0.019	957 SLS CH	0.002	843 SLS CH
272 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.211	541 ULS/52	0.030	842 SLS CH	0.225	957 SLS CH	0.019	957 SLS CH	0.046	846 SLS CH
273 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.213	541 ULS/52	0.032	842 SLS CH	0.225	957 SLS CH	0.019	957 SLS CH	0.046	846 SLS CH
275 Travessas L	HE 320 A	S 275	15.783	57.189	0.957	20 ULS/2=1	0.213	842 SLS CH	0.265	957 SLS CH	0.019	957 SLS CH	0.001	843 SLS CH
302 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.214	541 ULS/52	0.030	834 SLS CH	0.224	952 SLS CH	0.019	952 SLS CH	0.052	846 SLS CH
303 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.019	541 ULS/52	0.032	842 SLS CH	0.227	952 SLS CH	0.019	692 SLS CH	0.052	846 SLS CH
305 Travessas L	HE 320 A	S 275	15.783	57.189	0.957	29 ULS/11=	0.212	842 SLS CH	0.266	952 SLS CH	0.019	952 SLS CH	0.001	843 SLS CH
332 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.223	546 ULS/52	0.029	834 SLS CH	0.225	957 SLS CH	0.019	957 SLS CH	0.058	846 SLS CH
333 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.237	541 ULS/52	0.032	842 SLS CH	0.224	957 SLS CH	0.019	957 SLS CH	0.058	846 SLS CH
335 Travessas L	HE 320 A	S 275	15.783	57.189	0.954	20 ULS/2=1	0.213	839 SLS CH	0.265	957 SLS CH	0.019	957 SLS CH	0.001	843 SLS CH
362 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.194	546 ULS/52	0.028	834 SLS CH	0.213	957 SLS CH	0.015	957 SLS CH	0.065	846 SLS CH
363 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	1.187	546 ULS/52	0.031	842 SLS CH	0.210	957 SLS CH	0.015	957 SLS CH	0.064	957 SLS CH
365 Travessas L	HE 320 A	S 275	15.783	57.189	0.886	29 ULS/11=	0.215	839 SLS CH	0.243	957 SLS CH	0.015	957 SLS CH	0.001	843 SLS CH
392 Travessas C	IPE 220	S 275	23.876	175.641	0.325	545 ULS/52	0.028	952 SLS CH	0.006	834 SLS CH	0.008	835 SLS CH	0.068	961 SLS CH
393 Travessas C	IPE 220	S 275	23.876	175.641	0.330	545 ULS/52	0.027	957 SLS CH	0.007	834 SLS CH	0.008	835 SLS CH	0.068	957 SLS CH
395 Travessas L	IPE 180	S 275	28.898	208.854	0.120	302 ULS/28	0.221	839 SLS CH	0.004	692 SLS CH	0.008	835 SLS CH	0.000	10. POINT

Calc. Note Close Help

Ratio Analysis Map

Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.89: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do dimensionamento das travessas longitudinais e das travessas da cobertura.

Verifica-se a falha das travessas da cobertura dos pórticos onde está aplicada a ponte rolante, pelo que se executa o cálculo de otimização às mesmas.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Code Group Design (ULS) 9

Results Messages

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 9 TRAVESSA COB						
333 Travessas Cobertura_333	HE 140 B	S 275	36.712	60.832	1.451	541
	HE 160 B		32.107	53.749	0.956	ULS/523=1*1.350
	HE 180 B		28.399	47.615	0.699	+ 3*1.350 +
333 Travessas Cobertura_333	HE 180 A	S 275	29.216	48.140	1.279	541
	HE 200 A		26.275	43.688	0.943	ULS/523=1*1.350
	HE 220 A		23.732	39.481	0.691	+ 3*1.350 +
333 Travessas Cobertura_333	IPE 330	S 275	15.873	61.330	1.053	541
	IPE 360		14.551	57.450	0.717	ULS/523=1*1.350
	IPE 400		13.150	55.091	0.564	+ 3*1.350 +

Calc. Note Close Help

Change all

Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.90: Janela informativa referente aos cálculos de otimização do dimensionamento das travessas da cobertura.

Uma das sugestões do *software* é a mudança para um perfil "HEA 200", que por não estar em uso, optou-se por utilizar o "HEA 220", do lado da segurança.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 9 TRAVESSA COB						
183 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	0.921	546 ULS/528=1*1.3
Code group : 12 TRAVESSAS LONGITUDINAIS						
305 Travessas L	HE 320 A	S 275	15.783	57.189	1.103	29 ULS/11=1*1.350

Figura 5.91: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do dimensionamento das travessas longitudinais e da cobertura, após alterações, mas com falha dos perfis "HEA 320".

Verificou-se que, depois da alteração, ocorreu a falha das travessas longitudinais, possivelmente pelo peso adicionado, fruto da alteração do perfil das travessas da cobertura. Depois de se ter concluído que mesmo com a secção "HEA 200", as travessas longitudinais ("HEA 320") continuavam a falhar, não sobrou escolha a não ser aumentar a secção dos perfis das mesmas, desta vez para um "HEA 340". Assim, executaram-se os cálculos de verificação de novo, e conclui-se que o perfil verifica as condições do ULS e do SLS.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 9 TRAVESSA COB						
183 Travessas C	IPE 300	S 275	17.463	64.964	0.920	546 ULS/528=1*1.3
Code group : 12 TRAVESSAS LONGITUDINAIS						
305 Travessas L	HE 340 A	S 275	14.878	57.422	0.938	29 ULS/11=1*1.350

Figura 5.92: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do dimensionamento das travessas longitudinais e da cobertura, após alteração para o perfil "HEA 340".

Passando à verificação dos montantes e diagonais da asna, efetuou-se o cálculo ao grupo codificado e, como expectável, verificou-se que estes elementos se encontram bem calculados com uma boa margem, pelo que foram mantidos os perfis adotados.

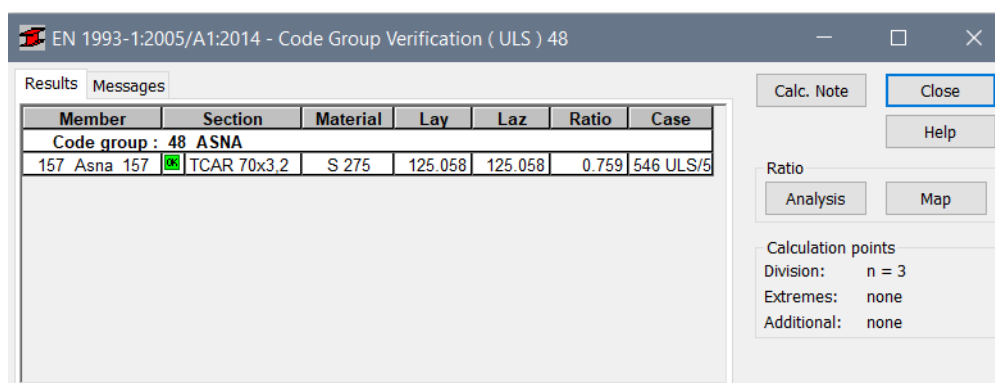


Figura 5.93: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do grupo codificado das diagonais e montantes da asna.

De seguida, verificaram-se, da mesma forma, os elementos das madres e contraventamentos da cobertura, dos tirantes e das vigas longitudinais, tendo-se concluído o mesmo: o dimensionamento feito anteriormente corresponde aos requisitos, pelo que foi mantido.

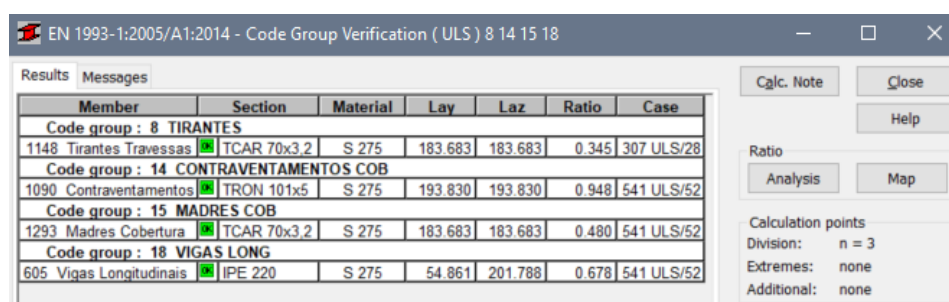


Figura 5.94: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do grupo codificado dos restantes elementos da cobertura.

Concluído o dimensionamento apresenta-se, de seguida, uma representação da cobertura com anotações dos perfis utilizados para cada grupo de elementos.

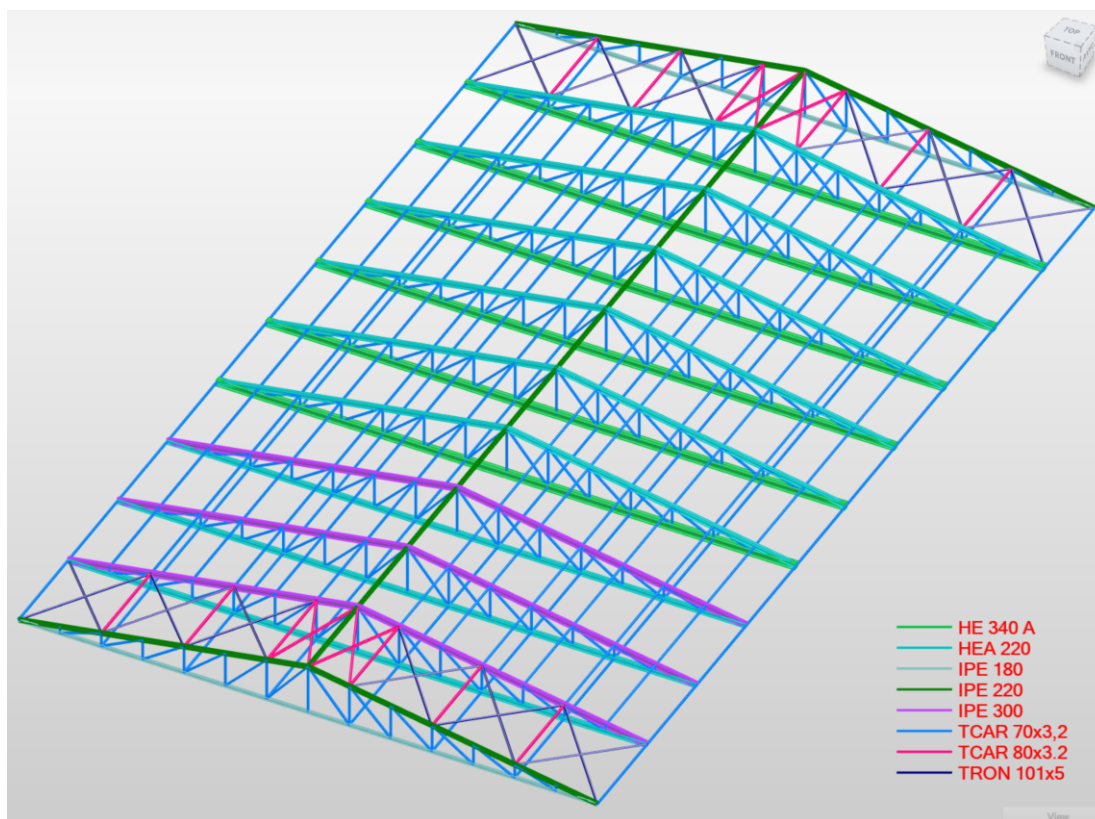


Figura 5.95: Representação da cobertura com legenda dos perfis utilizados nos vários elementos.

5.5.2 Pilares

No dimensionamento já feito para os pilares, iniciou-se pelos elementos que lhe transmitem esforços, como os pilares da "baioneta" e a respetiva estrutura reticulada, os contraventamentos e as madres das fachadas (Reis Gomes (2014)). Nesta secção, começou-se também por aí e, após análise, concluiu-se que todos os elementos mencionados cumprem os requisitos, e dão-se, então, como dimensionados em conformidade.

EN 1993-1:2005/A1:2014 - Code Group Verification (ULS) 13 21 29

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 13 ASNA BAIONETA						
902 Treliça Baioneta	TCAR 50x3.2	S 275	26.352	26.352	0.881	10 PON
Code group : 21 CONTRAV FACHADA						
1030 Contraventamen	TCAR 80x3.2	S 275	204.544	204.544	0.909	34 ULS/16
Code group : 29 MADRES FACHADA						
1274 Madres Fachad	TCAR 70x3.2	S 275	183.683	183.683	0.239	10 PON

Calc. Note Close Help

Ratio Analysis Map

Calculation points
Division: n = 3
Extremes: none
Additional: none

Figura 5.96: Janela informativa referente aos cálculos de verificação dos grupos codificados das madres e contraventamentos da fachada, e da estrutura reticulada dos pilares "em baioneta" /Reis Gomes (2014)).

De seguida, executaram-se os cálculos de verificação aos pilares dos pórticos, os da "baioneta", e aos pilares das fachadas de empena, de onde se retiraram resultados positivos, pelo que se concluiu o mesmo (Reis Gomes (2014)).

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 3 PILARES BAIONETA						
996 Pilares Baio	IPE 220	S 275	21.945	169.502	0.810	10 PONTE
Code group : 16 PILARES PORTICOS						
151 Pilares Pórti	IPE 300	S 275	64.199	59.708	0.638	20 ULS/2=1*1
Code group : 35 PILARES EMPENA						
779 Pilares Emp	IPE 300	S 275	64.199	59.708	0.861	312 ULS/294

Figura 5.97: Janela informativa referente aos cálculos de verificação dos grupos codificados dos vários pilares.

Posto isto, passou-se, por fim, à verificação do dimensionamento da zona dos escritórios.

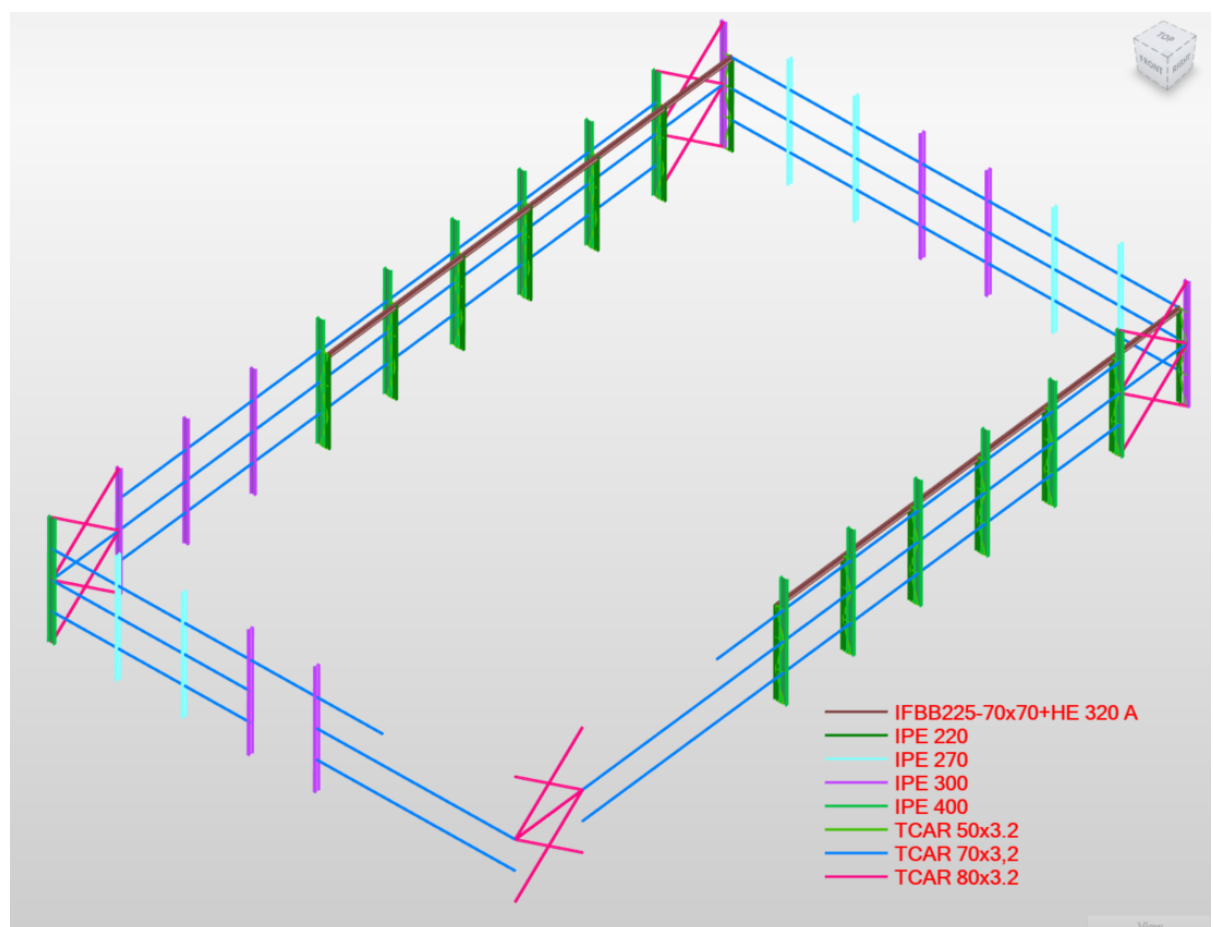


Figura 5.98: Representação dos pilares com legenda dos perfis utilizados nos vários elementos.

5.5.3 Zona dos Escritórios

Concluindo definitivamente o dimensionamento da estrutura, faz-se a verificação da estrutura dos escritórios pela ordem adotando anteriormente, pelo que se executam os cálculos dos grupos codificados da cobertura, passando de seguida para o pavimento do primeiro piso, terminando, assim, nos pilares. Neste caso, faz-se a verificação aos dois estados limite, por serem zonas suficientemente influenciadas pelos limites impostos pelo SLS.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 45 TRAVESSAS ESC COB						
1162 Travessas	IPE 270	S 275	38.180	141.780	0.568	20 ULS/2=1*
Code group : 46 VIGAS LAT ESC COB						
7 Vigas Laterais	IPE 180	S 275	67.424	121.823	0.296	20 ULS/2=1*
Code group : 47 VIGAS SEC ESC COB						
1180 Vigas Escritório	TCAR 100x3.2	S 275	108.407	108.407	0.389	19 ULS/1=1*

Figura 5.99: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS, dos grupos codificados dos vários elementos da cobertura dos escritórios.

Member	Section	Material	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
Code group : 45 TRAVESSAS ESC COB						
1162 Travessas	IPE 270	S 275	0.032	835 SLS C	0.135	692 SLS C
Code group : 46 VIGAS LAT ESC COB						
1163 Vigas Laterais	IPE 180	S 275	0.046	954 SLS C	0.297	691 SLS C
Code group : 47 VIGAS SEC ESC COB						
1183 Vigas Escritório	TCAR 100x3.2	S 275	0.000	834 SLS C	0.731	692 SLS C

Figura 5.100: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do SLS, dos grupos codificados dos vários elementos da cobertura dos escritórios.

Conforme se pode observar nas Figuras 5.99 e 5.100, as barras aprovam aos dois estados limite, pelo que se passa à verificação do primeiro piso.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 40 PAV ESC VIG SEC						
19 Vigas Escritório	HEA 220	S 275	46.742	77.763	0.613	25 ULS/7=1*1
Code group : 41 PAV ESC VIG LAT						
857 Vigas Laterais	HEA 220	S 275	54.529	45.359	0.710	23 ULS/5=1*1
Code group : 42 PAV ESC TRAV						
873 Travessas E	IPE 270	S 275	38.180	141.780	0.792	21 ULS/3=1*1
Code group : 43 PAV ESC VIG MID						
1177 Vigas Laterais	HE 320 A	S 275	36.824	33.358	0.489	27 ULS/9=1*1

Figura 5.101: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS dos grupos codificados dos vários elementos do primeiro piso dos escritórios.

Member	Section	Material	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
Code group : 40 PAV ESC VIG SEC						
12 Vigas Escritório	HEA 220	S 275	0.000	16 Wind Sim	0.575	699 SLS-CHR/
Code group : 41 PAV ESC VIG LAT						
863 Vigas Laterais	HEA 220	S 275	0.012	958 SLS-CH	0.679	699 SLS-CHR/
Code group : 42 PAV ESC TRAV						
873 Travessas E	IPE 270	S 275	0.035	835 SLS-CH	0.086	693 SLS-CHR/
Code group : 43 PAV ESC VIG MID						
1177 Vigas Laterais	IHE 320 A	S 275	0.015	959 SLS-CH	0.320	697 SLS-CHR/

Figura 5.102: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do SLS dos grupos codificados dos vários elementos do primeiro piso dos escritórios.

Como na cobertura, conclui-se que o dimensionamento para o pavimento do primeiro piso está correto, o que permite passar-se à verificação dos pilares.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 1 PILARES ESC						
15 Pilares Escritório	IPE 270	S 275	26.724	99.239	0.838	25 ULS/7=1*
Code group : 17 PILARES APOIO ESC						
10 Pilares Apoio	IPE 270	S 275	26.724	99.239	0.602	21 ULS/3=1*
Code group : 44 PILARES MISTOS						
66 Pilares Misto	IPE 400	S 275	12.691	50.633	0.673	307 ULS/289

Figura 5.103: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do ULS dos grupos codificados dos vários pilares da zona dos escritórios.

Member	Section	Material	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	Ratio(vx)	Case (vx)	Ratio(vy)	Case (vy)
Code group : 1 PILARES ESC										
16 Pilares Escritório	IPE 270	S 275	0.142	847 SLS-C	0.026	5 SOB ESC	0.112	840 SLS-CH	0.399	834 SLS-CH
Code group : 17 PILARES APOIO ESC										
8 Pilares Apoio	IPE 270	S 275	0.065	841 SLS-C	0.000	839 SLS-CH	0.106	841 SLS-CH	0.174	16 Wind Sim
Code group : 44 PILARES MISTOS										
66 Pilares Misto	IPE 400	S 275	0.025	840 SLS-C	0.138	834 SLS-CH	0.095	840 SLS-CH	0.400	834 SLS-CH

Figura 5.104: Janela informativa referente aos cálculos de verificação do SLS dos grupos codificados dos vários pilares da zona dos escritórios.

Finalmente, pôde dar-se como terminada a verificação extensiva do dimensionamento, e concluir assim que o projeto estrutural estaria pronto para passar à próxima fase, como será referido nos Capítulo 6.

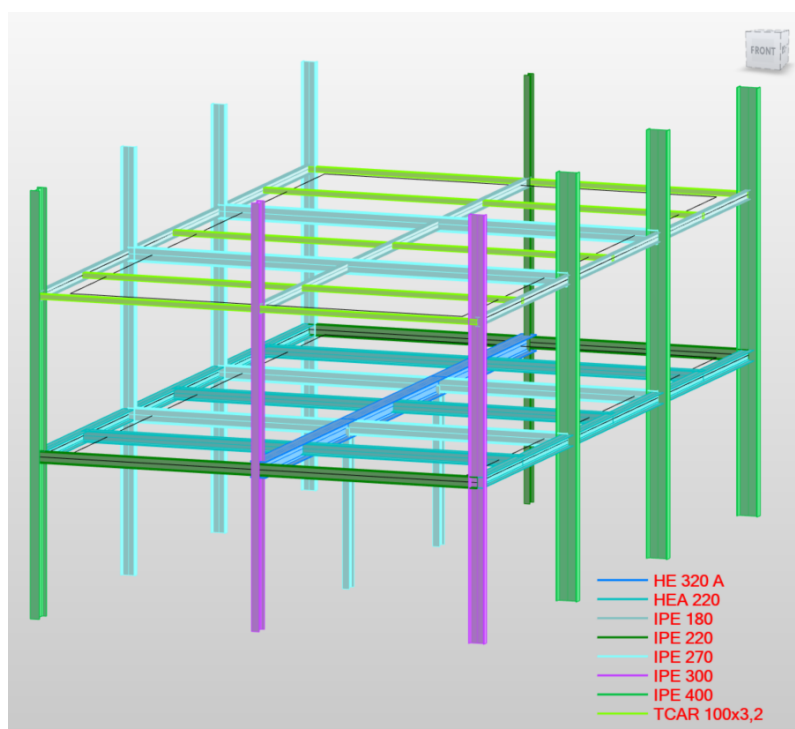


Figura 5.105: Representação dos escritórios com legenda dos perfis utilizados nos vários elementos.

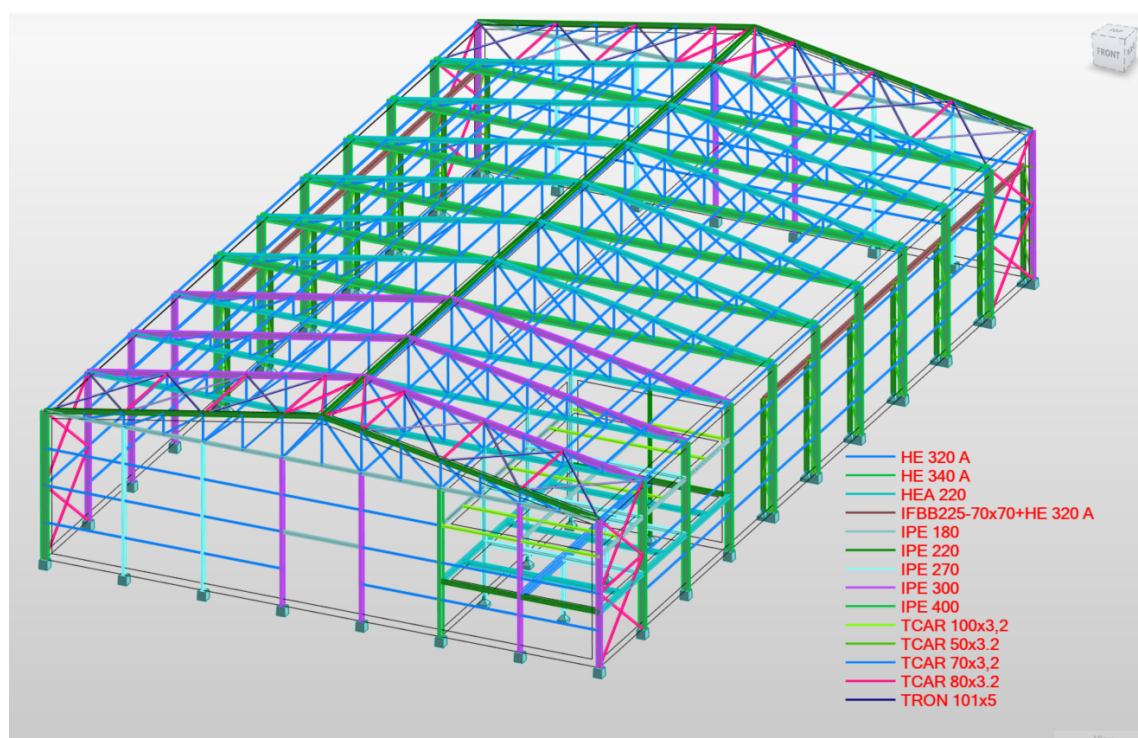


Figura 5.106: Representação de toda a estrutura com legenda dos perfis utilizados nos vários elementos.

Após o dimensionamento, fez-se a contabilização dos perfis, ao metro, para a futura execução do projeto. É importante referir que se teve em consideração o excedente de material para acomodar possíveis danificações e erros no manuseio e montagem dos perfis e que, para se verificar a margem, apresentam-se as quantidades exatas entre parêntesis.

- "HEA 340" - 220 [m] (180,02);
- "HEA 320" - 100 [m] (75);
- "HEA 220" - 350 [m] (328,51);
- "IPE 400" - 150 [m] (136);
- "IPE 300" - 200 [m] (179,40);
- "IPE 270" - 125 [m] (112,29);
- "IPE 220" - 250 [m] (220,08);
- "IPE 180" - 120 [m] (109,30);
- "TCAR 50X3,2" - 125 [m] (114,72);
- "TCAR 70X3,2" - 1900 [m] (1855,90);
- "TCAR 80X3,2" - 250 [m] (226,10);
- "TCAR 100X3,2" - 60 (42,86);
- "TRON 101X5" - 170 [m] (159,10);
- "IFFBB225-70X70" (perfil quadrado do carril, a aplicar num "HEA 320" já contabilizado)
- 80 [m] (60);

Capítulo 6

Conclusão

6.1 Comparação de Desempenho

Recorda-se que, como visto no Capítulo 3, não foi possível modelar a secção em "C" prevista nos cálculos analíticos do Capítulo 2. Em jeito de comparação da eficiência do dimensionamento entre o *software* e o cálculo analítico, comparam-se as duas secções pelos seus módulos de resistência.

PERFIL	Dimensões					A (cm²)	P (Kg/m)	Centro de Gravidade		Relação Y-Y			Relação Z-Z		
	h (mm)	B (mm)	a (mm)	e (mm)	r (mm)			Y _g (cm)	Z _g (cm)	I _y (cm⁴)	W _y (cm³)	I _y (cm)	I _z (cm⁴)	W _z (cm³)	I _z (cm)
C200x55x3.0	200	55	18	3,0	3,0	9,79	7,69	1,44	10,00	552,08	55,21	7,51	35,40	8,72	1,90

PERFIL	Dimensões					A (cm²)	P (Kg/m)	Centro de Gravidade		Relação Y-Y			Relação Z-Z		
	h (mm)	B (mm)	a (mm)	e (mm)	r (mm)			Y _g (cm)	Z _g (cm)	I _y (cm⁴)	W _y (cm³)	I _y (cm)	I _z (cm⁴)	W _z (cm³)	I _z (cm)
C200x70x3.0	200	70	18	3,0	3,0	10,69	8,39	1,96	10,00	639,41	63,94	7,73	64,45	12,79	2,46

RESULTS - Code - EN 1993-1:2005/A1:2014

TCAR 70x3,2

Auto

Bar: 1383 Madres Fachada_1383

Point / Coordinate: 2 / x = 0.50 L = 1.892 m

Load case: 314 ULS/296=1*1.350 + 3*1.350 + 17*1.500 (1+3)*1.350+17*1.

Section OK

OK

Simplified results

Displacements

Detailed results

Symbol	Values	Unit	Symbol description	Section
Cross-section properties: TCAR 70x3,2				
Ax	8.50	cm²	Cross-section area	
Ay	4.25	cm²	Shear area - y-axis	
Az	4.25	cm²	Shear area - z-axis	
Ix	97.44	cm⁴	Torsional constant	
Iy	62.99	cm⁴	Moment of inertia of a section about the y-axis	
Iz	62.99	cm⁴	Moment of inertia of a section about the z-axis	
Wply	21.44	cm³	Plastic section modulus about the y (major) axis	
Wplz	21.44	cm³	Plastic section modulus about the z (minor) axis	
h	7.00	cm	Height of cross-section	
b	7.00	cm	Width of cross-section	
tf	0.32	cm	Flange thickness	
tw	0.32	cm	Web thickness	
ry	2.72	cm	Radius of gyration - y-axis	
rz	2.72	cm	Radius of gyration - z-axis	
Anb	1.000		Net area to gross area ratio	(6.2.2.2)
Eta	1.000		Factor for Av calculation	(6.2.6.(3))
Material:				
Name			S 275 (S 275)	
fy	275.000	MPa	Design yield strength of material	(3.2)
fu	430.000	MPa	limit tensile stress - characteristic value	(3.2)
gM0	1.000		Partial safety factor	(6.1.(1))
gM1	1.000		Partial safety factor	(6.1.(1))

Forces

Detailed

Calc. Note

Parameters

Help

Figura 6.1: Comparação dos perfis em "C" com a solução do *software*, os perfis "TCAR 70x3,2", no seu Módulo de Resistência.

Para além de terem sido adotados os mesmo perfis tubulares para as madres das fachadas e da cobertura, a Figura 6.1 mostra que a resistência desses mesmos perfis no eixo forte (eixo yy) é

menor do que nos perfis em "C" ([UTILPERFIL .Lda](#)). Adicionalmente, o aço utilizado nos perfis dessa empresa é o "SDG280", que tem uma Tensão de Cedência de $\sigma_{ced} = 280 [MPa]$, maior do que o aço utilizado no *Robot*, o "S275" com $\sigma_{ced} = 275 [MPa]$ o que confirma uma otimização por parte do *software*.

Note-se, no entanto, que os perfis tubulares não oferecem tanta elevação dos painéis de revestimento relativamente às travessas da cobertura como os perfis em "C". Por fim, pode ainda verificar-se que, em termos do peso, ambos os perfis rondam os $7 [kg/m]$, pelo que não há desvantagens a esse nível ([Thomaz dos Santos S.A.](#)).

Conclui-se ainda assim, que a solução apresentada pelo *Robot* será mais otimizada comparativamente com a solução do Capítulo 2, assumindo que a elevação dos painéis não é um fator decisivo.

6.2 Trabalhos Futuros

Dado o tempo previsto para a execução de uma Dissertação, não foi possível concluir o projeto da estrutura do pavilhão a um nível em que ele se pudesse passar de imediato à fase de obra. O que naturalmente sucederia o trabalho feito no presente documento seria o Projeto de Ligações, para o qual o *Robot* possui ferramentas dedicadas de visualização e de cálculo, seguindo, naturalmente, o EC3-8 ([Comité Européen de Normalização \(2010b\)](#)). A título de exemplo, apresenta-se a simulação da ligação entre um pilar do pórtico e uma travessa longitudinal e vários parâmetros que o *software* permite definir.

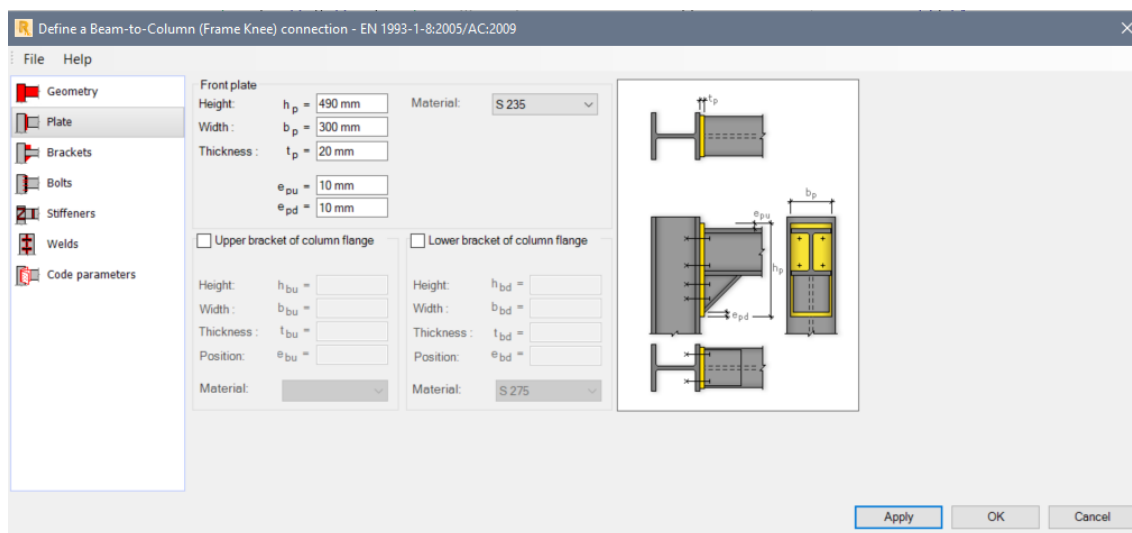


Figura 6.2: Caixa de diálogo referente aos parâmetros da ligação entre um pilar de um pórtico e uma travessa longitudinal.

Como se pode observar, é possível definir enumeras características da ligação, como a chapas para aparafusar, as cartelas de reforço (*Brackets*), os reforços à encurvadura (*Stiffeners*), parafusos, soldas, em variadíssimas configurações. Note-se que a ferramenta de definição das cartelas de reforço pode também ser utilizada na fase de modelação da estrutura (também chamada de

Brackets), o que não foi considerado no dimensionamento, mas que possivelmente diminuiria o tamanho dos perfis usados para as travessas longitudinais.

É possível ainda visualizar em 3D a ligação desenhada, e obter um desenho 2D esquemático da mesma.

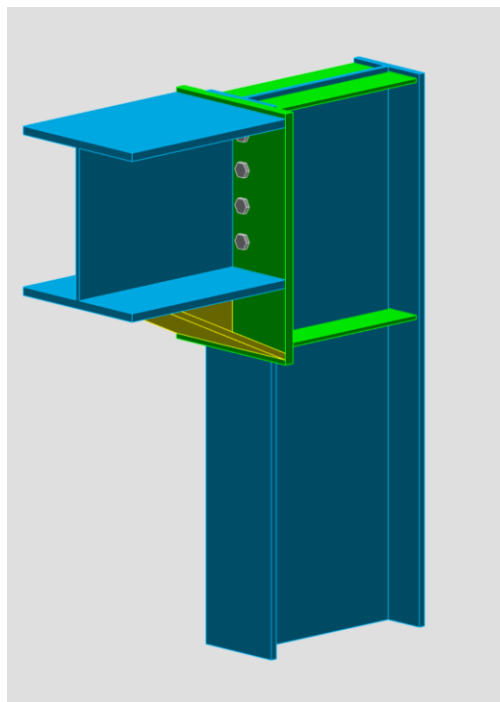


Figura 6.3: Desenho 3D da ligação entre um pilar de um pórtico e uma travessa longitudinal.

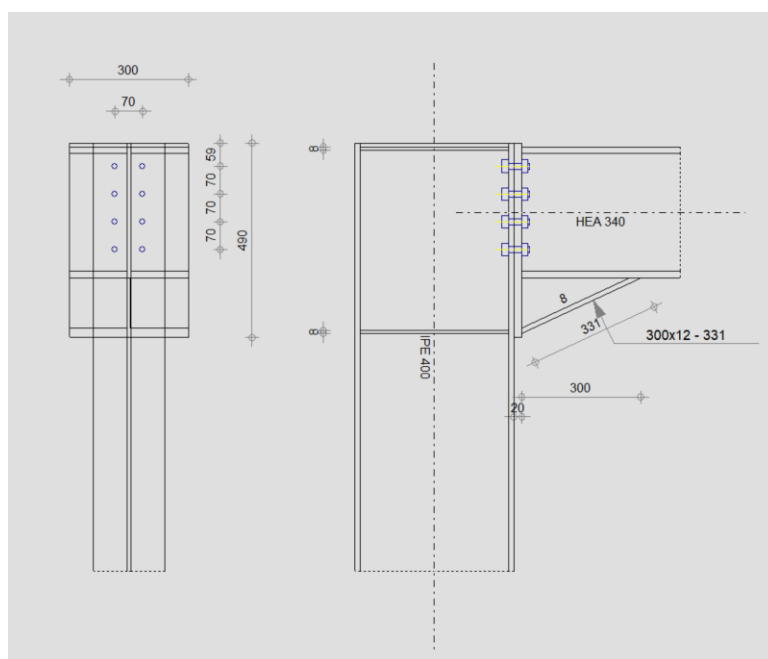


Figura 6.4: Esquema 2D da ligação entre um pilar de um pórtico e uma travessa longitudinal.

Para além das ligações, seria também de esperar que houvesse posteriormente alguma preocupação com o sistema de ventilação do edifício, bem como as entradas de luz natural, adotando painéis de revestimento translúcidos, por exemplo.

De seguida, seria necessário o Projeto das Fundações do edifício, que integram o dimensionamento das sapatas de betão, ainda que não seja da área na qual se insere esta Dissertação. Pode ainda referir-se o Projeto de Montagem, no qual seriam delineadas as fases da armação da estrutura, considerando as várias ações que poderiam vir a afetar este processo. Finalmente, já numa fase mais avançada, a orçamentação e mapa de quantidades fariam naturalmente parte de um projeto terminado, bem como os desenhos de fabrico a serem utilizados em obra.

6.3 Observações Finais

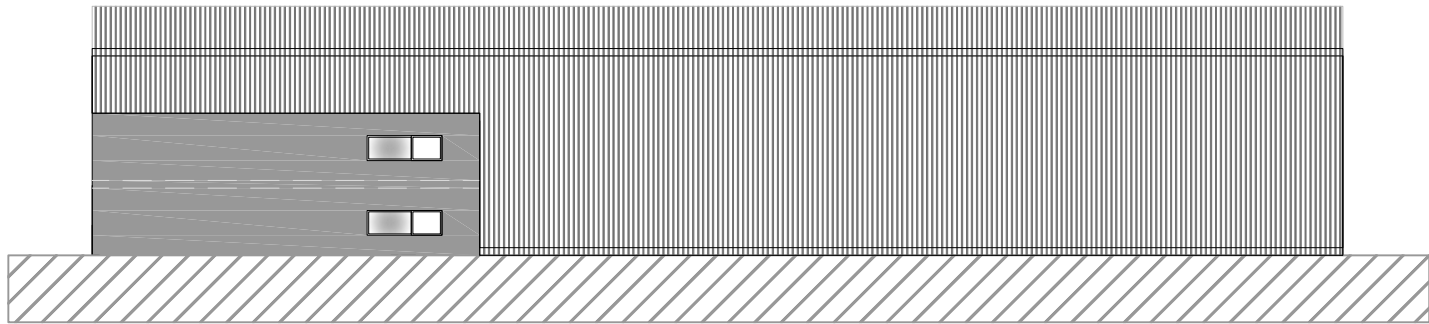
A abordagem da dissertação dada aqui por terminada, teve como objetivo, para além do dimensionamento da estrutura, a descrição do processo de execução do mesmo no *Robot Structural Analysis Professional 2020*.

A conclusão final é simples: sim, é possível utilizar o referido *software* como ferramenta principal de cálculo e de análise estrutural. Primeiro, porque o *Robot* permite fundamentalmente verificar, de uma forma inteiramente detalhada o seu processo de cálculo das cargas máximas e de verificação dos estados limites para qualquer elemento estrutural, em todas as instâncias do dimensionamento. Esta característica revela-se importantíssima para que se atenuem o possível receio que qualquer projetista teria se não estivesse em controlo de todas as variáveis do processo. Adicionalmente, permite uma economia de tempo investido em cálculos analíticos extensos, empregando as funcionalidades de simulação das ações do vento e das cargas móveis.

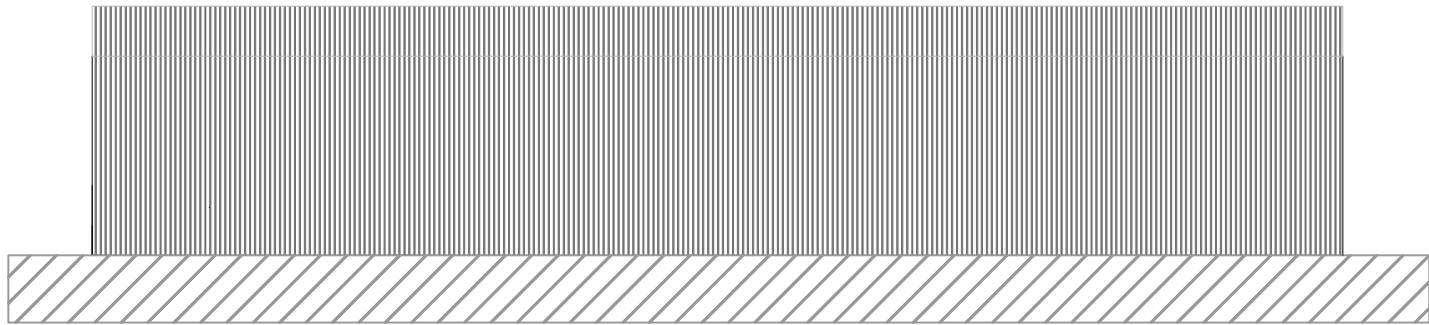
No final, pretende-se expor a clara funcionalidade e aplicabilidade de *softwares* como o *Robot* no contexto de projeto estrutural de estruturas metálicas, e deseja-se que este seja um ramo em expansão também no ambiente académico, por forma a que a formação em Engenharia Mecânica ganhe uma componente mais prática, visto serem os estudantes de Engenharia de outrora que constituem hoje a indústria.

Anexo A

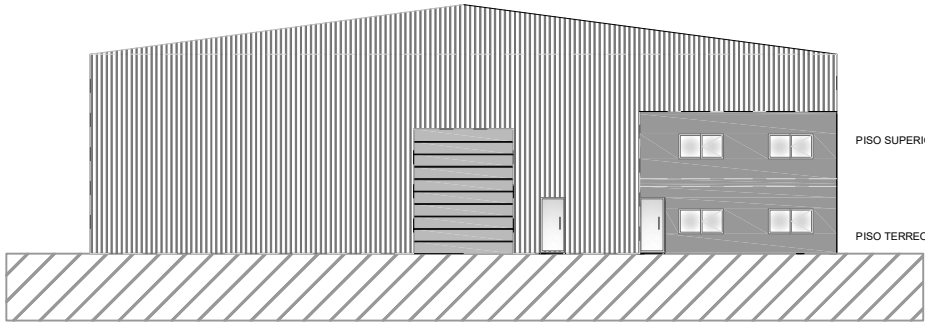
Proposta de Arquitetura do Pavilhão



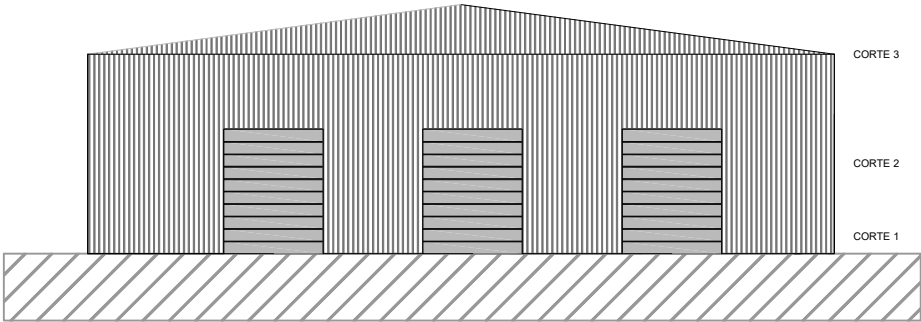
ALÇADO LATERAL DIREITO



ALÇADO LATERAL ESQUERDO



ALÇADO FRONTAL

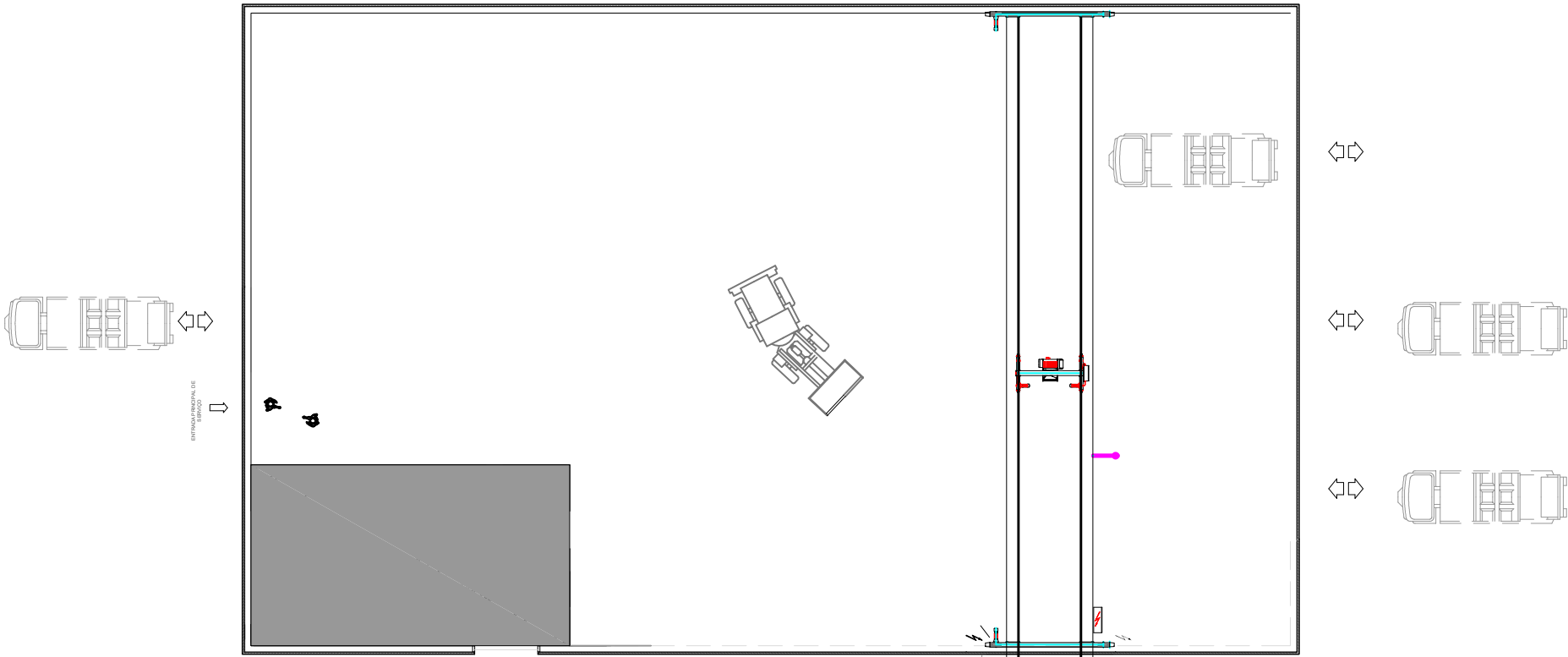


ALÇADO POSTERIOR

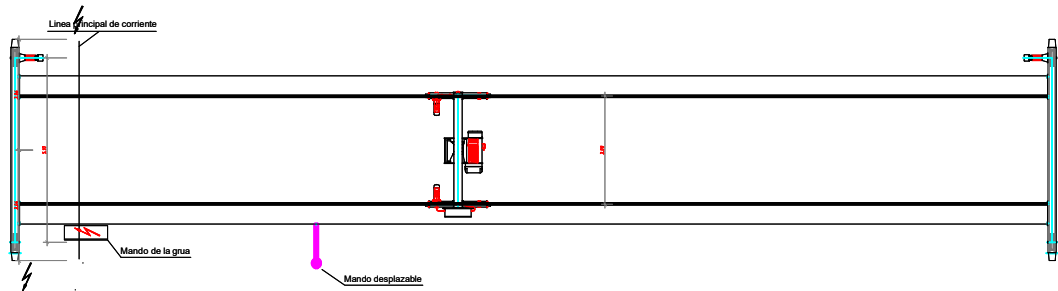
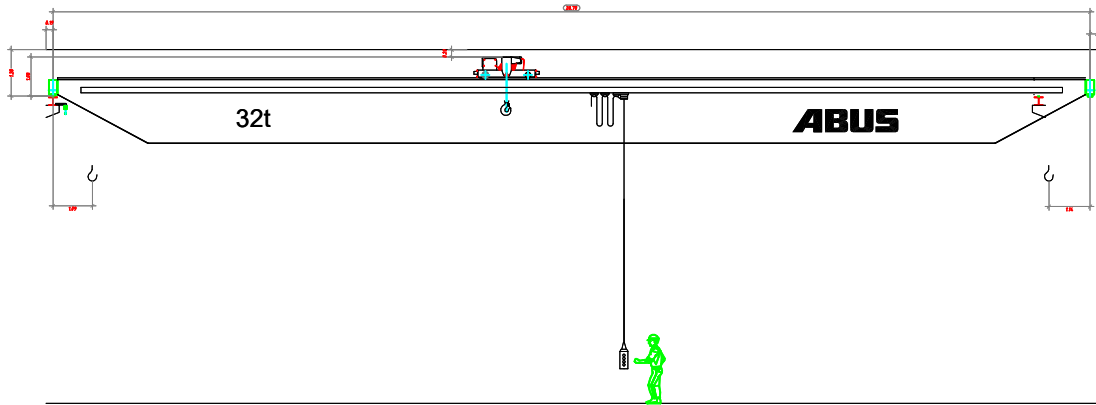
LEGENDA DE MATERIAIS

- PORTÕES SECCIONADOS EM CINZA ESCURO
- REBOCADO E PINTADO DE BRANCO DE TONALIDADE A ESPECIFICAR
- VIDRO DUPLO LAMINADO COM CAIXILHARIAS EM ALUMÍNIO LACADO DE CINZA ESCURO
- CHAPA LACADA TIPO "SANDWICH" EM ALUMÍNIO CINZA ESCURO
- CHAPA PERFILADA TIPO "SANDWICH" EM ALUMÍNIOCOR NATURAL





CORTE 3

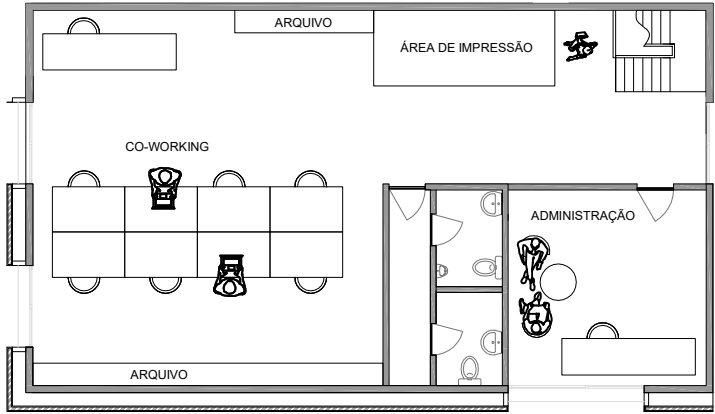


Nota:
- Ponte com variadores de frequência na direcção e translação;
- Electrificação feita para funcionamento de pinça porta Bobines.

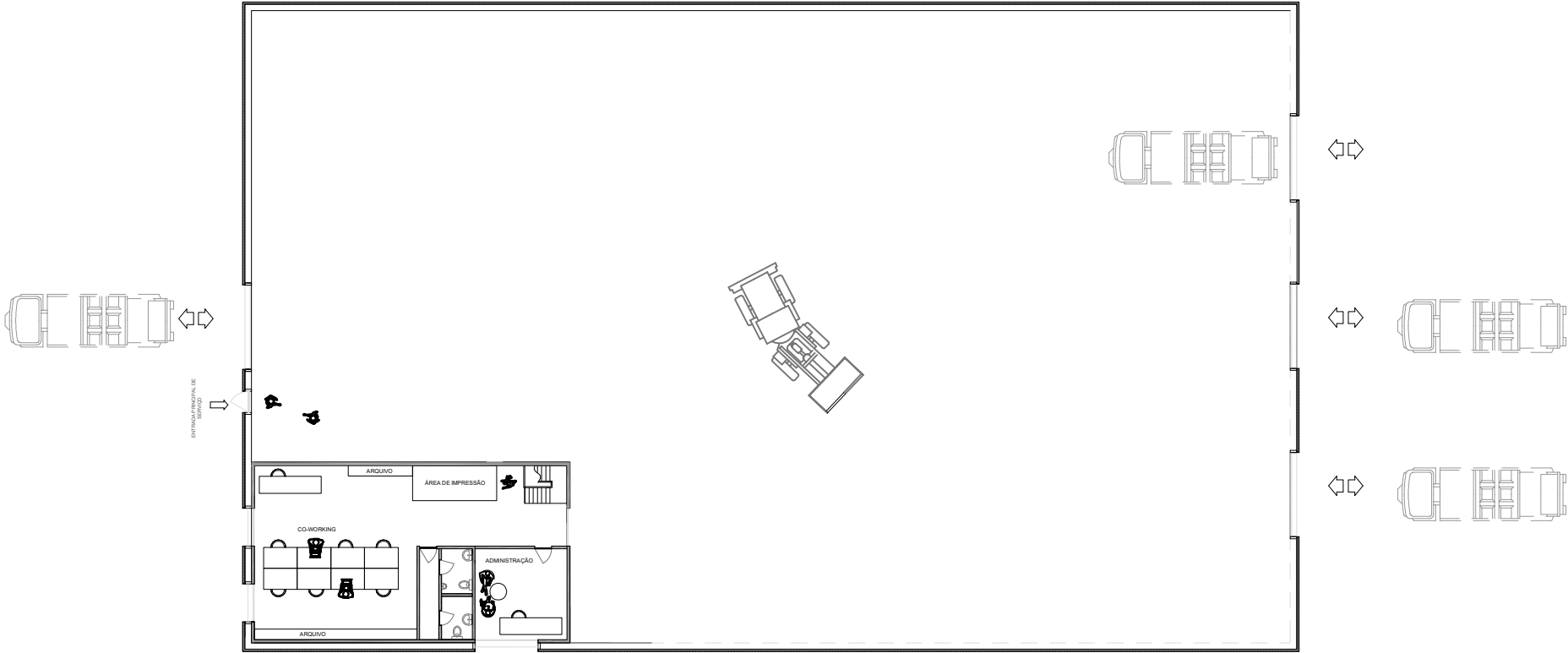
LEGENDA DE MATERIAIS

- PORTÕES SECCIONADOS EM CINZA ESCURO
- REBOCADO E PINTADO DE BRANCO DE TONALIDADE A ESPECIFICAR
- VIDRO DUPLO LAMINADO COM CAIXILHARIAS EM ALUMÍNIO LACADO DE CINZA ESCURO
- CHAPA LACADA TIPO "SANDWICH" EM ALUMÍNIO CINZA ESCURO
- CHAPA PERFILADA TIPO "SANDWICH" EM ALUMÍNIO COR NATURAL





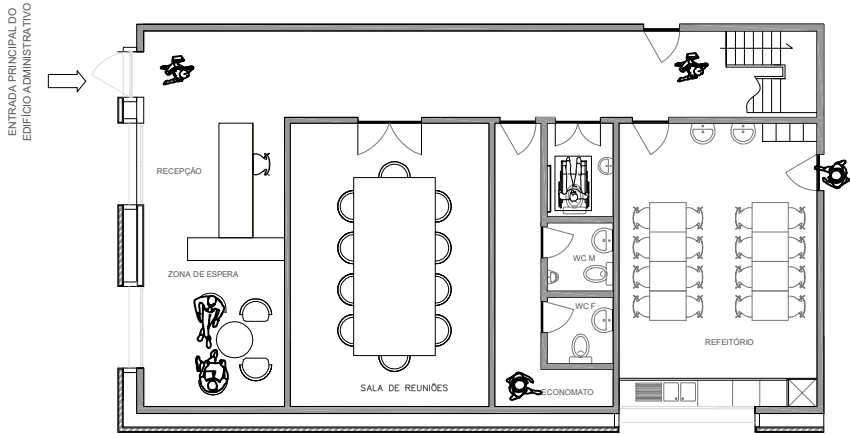
CORTE 2



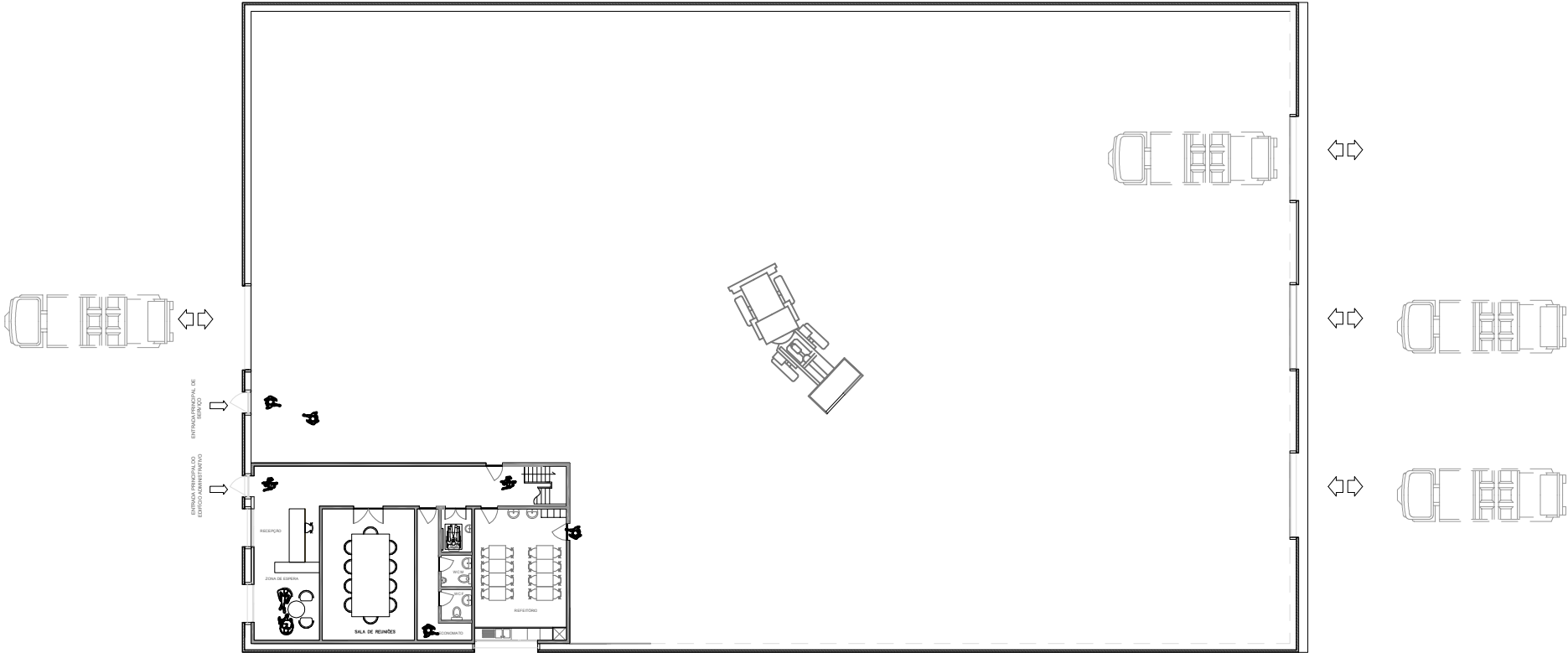
LEGENDA DE MATERIAIS

- PORTÕES SECCIONADOS EM CINZA ESCURO
- REBOCADO E PINTADO DE BRANCO DE TONALIDADE A ESPECIFICAR
- VIDRO DUPLO LAMINADO COM CAIXILHARIAS EM ALUMÍNIO LACADO DE CINZA ESCURO
- CHAPA LACADA TIPO "SANDWICH" EM ALUMÍNIO CINZA ESCURO
- CHAPA PERFILADA TIPO "SANDWICH" EM ALUMÍNIOCOR NATURAL





CORTE 1



LEGENDA DE MATERIAIS

PORTÕES SECCIONADOS EM CINZA ESCURO

REBOCADO E PINTADO DE TONALIDADE A ESPECIFICAR

VIDRO DUPLO LAMINADO COM CAIXILHARIAS EM ALUMÍNIO LACADO DE CINZA ESCURO

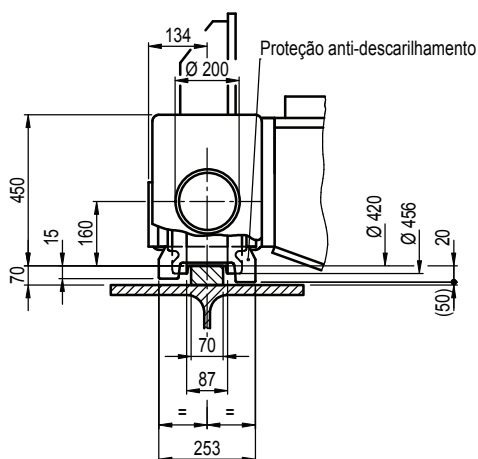
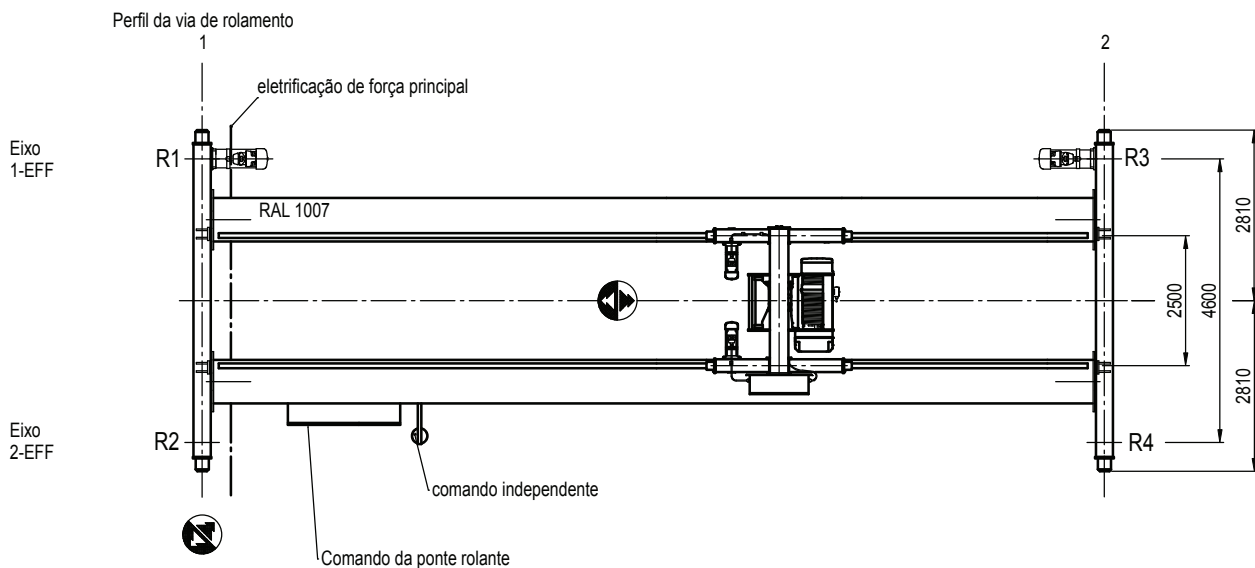
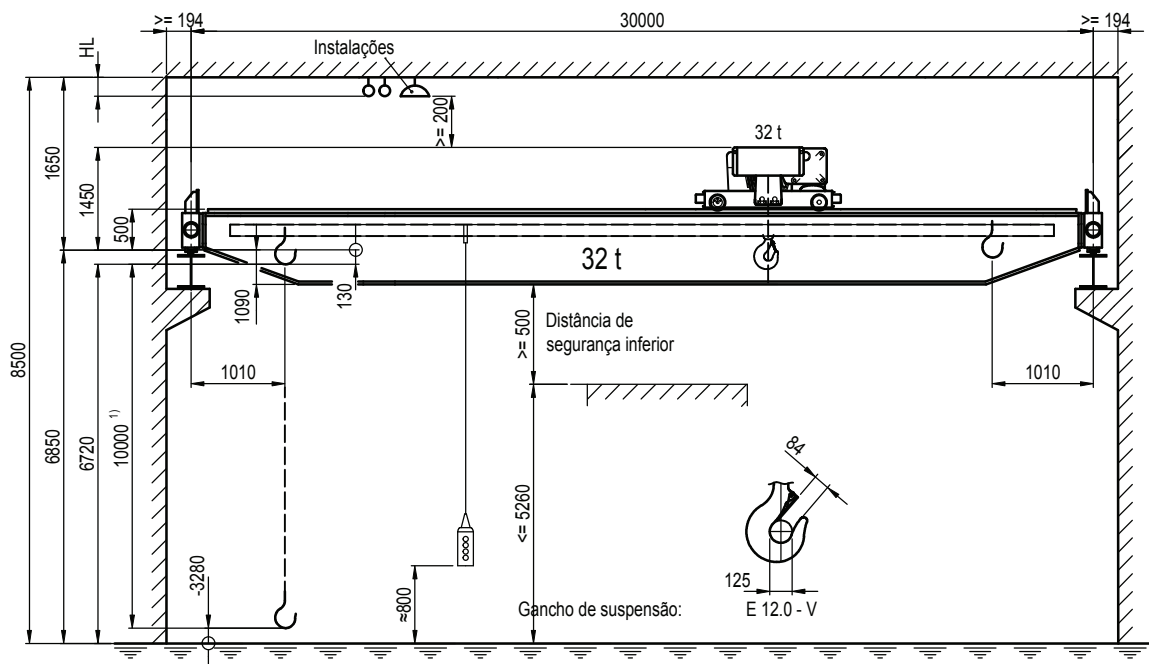
CHAPA LACADA TIPO "SANDWICH" EM ALUMÍNIO CINZA ESCURO

CHAPA PERFILADA TIPO "SANDWICH" EM ALUMÍNIO COR NATURAL



Anexo B

Ficha Técnica da Ponte Rolante



Ponte	ZLK 32 t x 30000 mm		
Base de cálculo	DIN 15018, H2/B3		
Trole	GM 6000.32000 L-161.61.10000.3.D 280.20		
Classif. acion.	1Am / M4		
Local instal.	utilização abrigada		
Condições ambientais	-5° C até +40° C, sem requisitos especiais		
Transl. pte. rol.	10 / 40 m/min		
Translação do trole	5 / 20 m/min		
Erguer	0,4 / 2,7 m/min		
Peso total	25270 kg (disso Trole 2381 kg)		
tensão da rede; Variação aceitável	3/PE ~50 Hz 380 V (TN-S); -3% / +5%		
carga total da conexão	22 kW (Corrente de partida * cos phi: 176 A)		+SKR-F1 = 50 A qG
Dados de carregamento	Cargas sobre rodas (kN)	Eixo ponte rolante 1 (min/max)	61,3 218,6
	(sem coeficiente dinâmico)	Eixo ponte rolante 2 (min/max)	62,0 220,0
	Cargas laterais (kN)	Forças mássicas Transl. pte. rol. (min/max)	6,1 21,4
	Esforço por desalinhamento no lado guiado (Coef. de aderência <= 0,3)	Eixo frontal da ponte no sentido do desloc.	62,1 -
	Cargas horizontais do deslocamento oblíquo (Extremidade guia/lado oposto)	Eixo posterior da ponte no sentido do desloc.	13,6 48,4
	Forças longitudinais (kN)	Forças mássicas Transl. pte. rol. (max)	0,0 0,0
(Viga principal)		Forças batente final (max)	7,5 59,8

¹⁾ percurso máximo do gancho do trole 10 m, utilização real conforme instalação

dados de carregamento cfe. IN EN 1991-3

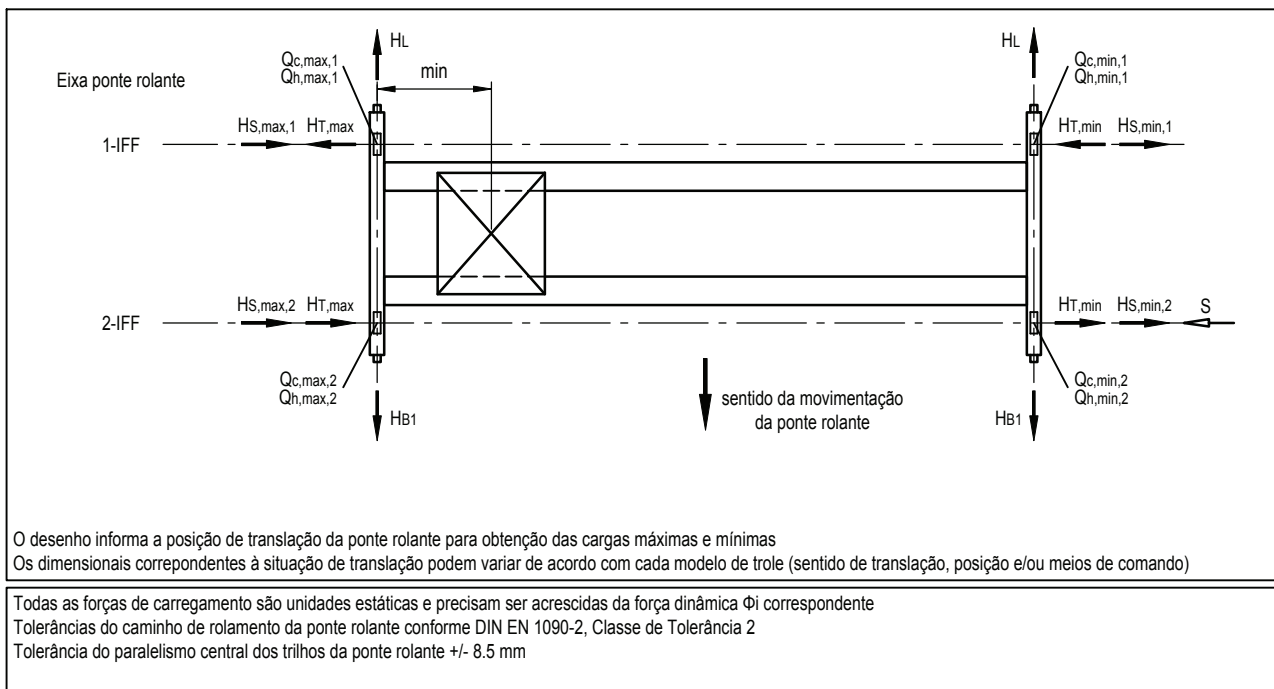
Classificação da ponte rolante	S2	(para comprovação da viga do eur-lex.europa.eu)
--------------------------------	----	---

Coefficiente dinâmico ϕ_i :

ϕ_1	1,10	Aceleração gerada sobre a massa da ponte rolante pela elevação e gravitação
ϕ_2	1,05	Inércia e gravitação ao levantar do solo uma carga livre de interferências
ϕ_3	1,00	Inércia e gravitação ao liberar repentinamente parcela de uma carga
ϕ_4	1,00	Cargas resultantes da translação por superfície não plana
$\phi_{5,Kr}$	1,80	Cargas resultantes pelos acionamentos da ponte rolante
$\phi_{6,dyn}$	1,03	carga de teste dinâmica
$\phi_{6,stat}$	1,00	Carga de teste estática
$\phi_{7,Kr}$	1,25	Cargas resultantes de forças dos batentes

Efeitos das cargas e componentes de força relevantes:

Cargas por roda (vertical)	Parte da força resultante da massa da ponte rolante e do(s) trole(s) em cada eixo da ponte rolante	Qc,min,1	56,0	Qc,max,1	66,1	[kN]
		Qc,min,2	56,7	Qc,max,2	67,5	[kN]
	Componente da força resultante da massa da carga de elevação em cada eixo da ponte rolante	Qh,min,1	5,3	Qh,max,1	152,5	[kN]
		Qh,min,2	5,3	Qh,max,2	152,5	[kN]
Cargas laterais (horizontal)	Força resultante da aceleração da ponte rolante com carga de elevação (força de inércia)	HT,min	4,0	HT,max	14,2	[kN]
	força do deslocamento oblíquo (Coefic. de aderência <= 0,3)	S			62,1	[kN]
	Força horizontal resultante de travamento do deslocamento em cada eixo da ponte rolante	HS,min,1	0,0	HS,max,1	0,0	[kN]
		HS,min,2	13,6	HS,max,2	48,4	[kN]
Cargas longitudinais (horizontal) (por viga do caminho de rolamento da ponte rolante)	Força resultante da aceleração da ponte rolante com carga de elevação (força de inércia)	HL			5,0	[kN]
	Força resultante do impacto do amortecedor (força final do amortecedor)	HB1			47,8	[kN]



MBM - Metalurgica Briosa Maceira
Campos
Maceira
Telefone +49 2261 37-XXX
Fax +49 2261 37-XXXXX

Ponte ZLK

011000-0000000-20190904-10 / 1

ABUS

executor: Ribeiro,R.
Datum: 04.09.2019

Referências

- Autodesk. Autodesk ® Robot TM Structural Analysis Professional 2010 Training Manual - Metric Version. *Database*, (November 2009), 2010. URL http://images.autodesk.com/adsk/files/robot{_}2010{_}training{_}manual{_}metric.pdf?{_}ga=2.253561931.390070986.1611417563-2090083253.1600962326. Citado nas páginas [xix](#), [80](#) e [82](#).
- Comité Europeu de Normalização. NP EN 1990: Eurocódigo - Bases para o projeto de estruturas. 2009a. Citado nas páginas [21](#), [24](#), [32](#) e [83](#).
- Comité Europeu de Normalização. NP EN 1991-1-1: Eurocódigo 1 - Acções em estruturas - Parte 1-1: Acções Gerais - Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios. 2009b. Citado nas páginas [ix](#), [xix](#), [20](#), [67](#) e [75](#).
- Comité Europeu de Normalização. NP EN 1991-1-3: Eurocódigo 1 - Acções em estruturas - Parte 1-3: Acções gerais - Acções da neve. 2009c. Citado nas páginas [ix](#), [xix](#), [6](#), [7](#), [8](#), [9](#), [10](#) e [66](#).
- Comité Europeu de Normalização. NP EN 1991-1-4: Eurocódigo 1 - Acções em estruturas - Parte 1-4: Acções gerais - Acções do vento. 2010a. Citado nas páginas [ix](#), [xix](#), [10](#), [11](#), [13](#), [14](#), [15](#), [16](#), [17](#), [18](#), [19](#) e [78](#).
- Comité Europeu de Normalização. NP EN 1991-1-5: Eurocódigo 1 - Acções em Estruturas - Parte 1-5: Acções gerais - Acções térmicas. 2009d. Citado nas páginas [xi](#), [xix](#), [71](#), [72](#) e [73](#).
- Comité Europeu de Normalização. NP EN 1993-1-1: Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios. 1993. Citado nas páginas [xix](#), [47](#), [88](#), [99](#) e [102](#).
- Comité Europeu de Normalização. NP EN 1993-1-8: Eurocódigo 3 - Projeto de estruturas de aço - Parte 1-8: Projeto de ligações. 2010b. Citado nas páginas [xix](#) e [145](#).
- IST - Instituto Superior Técnico. Tabelas Diversas. 1992. URL <http://www.civil.ist.utl.pt/{~}cristina/ee/Tabelas.pdf>. Citado na página [76](#).
- MBM - Metalurgica Brios Maceira. Catálogo da Ponte Rolante da empresa ABUS. Citado nas páginas [57](#) e [59](#).
- Multiframe. Multiframe 4D - Structural Engineering Software. Citado nas páginas [x](#), [24](#), [25](#), [26](#), [29](#), [30](#) e [34](#).
- O FELIZ. Catálogo Laje Mista. URL <https://www.ofeliz.pt/sites/default/files/business-area-files/oflz-laje-mista-h60-pt.pdf>. Citado nas páginas [xii](#), [76](#), [77](#) e [129](#).

- PERFITEC .Lda. Catálogo de Painéis da Cobertura e Fachada. URL <http://perfitec.pt/2016/01/19/walltec-n-1000-2/http://perfitec.pt/2016/01/19/rooftec-3-1000-2/>. Citado nas páginas ix, 21, 22 e 23.
- Carlos Reis Gomes. Apontamentos da Unidade Curricular de Estruturas Metálicas - Capítulo 1: Pavilhões Industriais. *FEUP, Porto*, 2014. Citado nas páginas xi, xiv, xvi, 53, 57, 58, 60, 101, 115, 116, 119, 120, 136 e 137.
- Thomaz dos Santos S.A. Materiais de Construção. URL <http://www.thomazsantos.pt/produtos/siderurgicos/perfis/3.php>. Citado nas páginas 109, 126 e 145.
- TopoMap. Mapa Topográfico Online. URL <https://pt-pt.topographic-map.com/maps/gnn0/Portugal/>. Citado nas páginas ix, 6 e 7.
- UTILPERFIL .Lda. Catálogo de Perfis em C para as Madres. URL <http://www.utilperfil.pt/monofolhas/mono-c-PT.pdf>. Citado nas páginas x, 23, 26, 27, 28, 30, 31, 34, 35, 36 e 145.