

# **PROJETO DE UMA PONTE PEDONAL FLUTUANTE ENTRE AS RIBEIRAS DO PORTO E GAIA**

**NUNO MIGUEL SILVA COSTA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS**

---

Orientador: Professor Doutor Álvaro Ferreira Marques Azevedo

SETEMBRO DE 2016

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2015/2016**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

TEL. +351-22-508 1901

FAX +351-22-5081446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

RUA DR. ROBERTO FRIAS

4200-465 PORTO

PORTUGAL

TEL. +351-22-508 1400

FAX +351-22-5081440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2015/2016 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais

*Apenas quem arrisca um grande fracasso consegue um grande sucesso*

*Robert F. Kennedy*



## **AGRADECIMENTOS**

É com grande satisfação que expresso aqui os meus agradecimentos a todos aqueles que, de uma forma direta ou indireta, fizeram com que fosse possível a conclusão desta última etapa de um árduo percurso de cinco anos.

Ao meu orientador, Professor Álvaro Azevedo, não só pela enorme disponibilidade, ajuda e partilha de conhecimentos, mas também pelo auxílio na realização do modelo de cálculo no programa *Autodesk Robot*.

Ao Professor Miguel Castro pela disponibilidade e esclarecimento de diversas dúvidas relativas a este trabalho.

Ao Professor Pedro Costa pela disponibilidade e esclarecimento de diversas dúvidas relativas às estacas telescópicas.

Aos meus colegas e amigos que acompanharam mais de perto a realização deste trabalho, e que ajudaram através da partilha de ideias e opiniões.

Aos meus colegas de trabalho que tornaram o tempo passado com eles um escape da minha vida académica e pelas inúmeras horas de diversão.

Aos meus pais e irmãos que sempre acreditaram em mim e me incentivaram, tornando todo este percurso possível.



## **RESUMO**

A presente dissertação centra-se na conceção de uma solução base para uma ponte pedonal flutuante sobre o Rio Douro, que estabelece uma ligação entre a Ribeira do Porto e a Ribeira de Gaia, com uma abertura para a continuidade do canal de navegação. Deste modo, com o presente estudo pretende-se alcançar uma solução não convencional que possibilita a circulação regular das embarcações através de uma abertura.

A solução estudada baseia-se numa ponte flutuante constituída por três células independentes e idênticas, em que cada uma é constituída por um tabuleiro metálico, que apresenta uma elevação em relação aos flutuadores através de uso de treliças, sendo a manutenção do alinhamento transversal e longitudinal da ponte flutuante garantida por intermédio de estacas telescópicas.

A definição das secções dos elementos estruturais foi realizada através de um processo iterativo até se alcançar as soluções apresentadas neste trabalho.

O estudo dos elementos desta estrutura é realizado a partir de modelos de cálculo, submetidos a uma análise estática. Sempre que possível são utilizados, como base, os regulamentos europeus e nacionais, nomeadamente o Eurocódigo 1 e Eurocódigo 3. Quando necessário, são consultadas as normas do Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes.

A existência de flutuadores na estrutura implica a realização de análises não lineares, executadas por um programa de cálculo automático. De referir que no decorrer do estudo da estrutura são incorporados os efeitos das ondas, das sobrecargas de utilização da estrutura, entre outras ações, para que sejam perceptíveis os assentamentos diferenciais entre células, com o intuito de dimensionar a passagem entre elas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ponte pedonal, Ponte flutuante, Flutuador, Estaca telescópica, Análise não linear.



## **ABSTRACT**

The current thesis is based on the concept of a solution to a floating pedestrian bridge over Rio Douro, which connects Ribeira do Porto to Ribeira de Gaia, with an opening to Navigation Channel.

The project main purpose is the realization of an unconventional solution resulting from a floating structure with an opening to allow for the preservation of the boat traffic.

The analyzed solution is based on a floating bridge consisting of three independent and identical cells, each of which is constituted by a metallic board, which is elevated in relation to the floats by using trusses. The maintenance of the transverse and longitudinal alignment of the floating bridge is assured by the telescopic piles.

The definition of the section of the structural elements was accomplished by an iterative way until the definition of the solutions presented in this work.

The study of the elements of this structure is performed with calculation models that consider a static analysis. Whenever possible are used the european and national regulations, in particular Eurocode 1 and Eurocode 3. When necessary are considered the rules of “Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes”.

The existence of a floating structure implies the realization of non-linear analysis performed by an automatic calculation program.

The effects of the waves are incorporated in the study to better understand the differential settlements between cells, for the purpose of designing the passage between them.

**KEYWORDS:** Pedestrian bridge, Floating bridge, Float, Telescopic pile, Non-linear analysis.



## ÍNDICE GERAL

|  |           |
|--|-----------|
| <b>AGRADECIMENTOS</b> .....                                  | i         |
| <b>RESUMO</b> .....  | iii       |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | v         |
| <br>   |           |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....                                   | <b>1</b>  |
| 1.1. Introdução .....  | 1         |
| 1.2. Âmbito do Projeto .....                                 | 1         |
| 1.3. Pontes Flutuantes .....                                 | 3         |
| 1.3.1. RESENHA HISTÓRICA .....                               | 3         |
| 1.3.1.1. Ponte do Rei Xerxes .....                           | 4         |
| 1.3.1.2. Ponte das Barcas .....                              | 5         |
| 1.3.1.3. Lacey V. Murrow e Third Lake Washington .....       | 6         |
| 1.3.1.4. Ponte Hobart .....                                  | 7         |
| 1.3.1.5. Hood Canal .....                                    | 8         |
| 1.3.1.6. Ponte Bergsøysund .....                             | 8         |
| 1.3.1.7. West India Quay .....                               | 9         |
| 1.3.2. FUTUROS PROJETOS - PONTE FLUTUANTE NAS MALDIVAS ..... | 10        |
| 1.3.3. TIPO DE PONTES FLUTUANTES .....                       | 10        |
| 1.4. Conceito de Ponte Flutuante .....                       | 11        |
| 1.4.1. INTRODUÇÃO À HIDROSTÁTICA .....                       | 11        |
| <b>2. DESCRIÇÃO GERAL DA OBRA</b> .....                      | <b>17</b> |
| 2.1. Localização da Obra .....                               | 17        |
| 2.1.1. PRAÇA DA RIBEIRA .....                                | 18        |
| 2.1.2. LARGO MIGUEL BOMBARDA .....                           | 18        |
| 2.2. Implantação da Ponte .....                              | 19        |
| 2.3. Características do Local .....                          | 22        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.3.1. TOPOGRAFIA .....   | 22        |
| 2.3.2. GEOLOGIA .....   | 22        |
| 2.3.3. HIDROLOGIA .....   | 23        |
| 2.3.4. INSERÇÃO URBANA .....  | 24        |
| 2.3.5. NAVEGAÇÃO .....  | 24        |
| <b>2.4. Condicionantes das pontes pedonais .....</b>                            | <b>25</b> |
| <b>2.5. Conceção inicial da estrutura .....</b>                                 | <b>26</b> |
| 2.5.1. PONTE MÓVEL .....  | 27        |
| 2.5.2. PAREDÃO .....  | 30        |
| 2.5.3. PONTE FLUTUANTE - CÉLULA.....  | 31        |
| 2.5.3.1. Tabuleiro.....   | 31        |
| 2.5.3.2. Treliça.....   | 32        |
| 2.5.3.3. Flutuadores do tabuleiro.....  | 34        |
| 2.5.3.4. Estacas telescópicas.....  | 38        |
| 2.5.4. ELEMENTO DE LIGAÇÃO À MARGEM DE GAIA .....                               | 41        |
| 2.5.5. ELEMENTO DE LIGAÇÃO ENTRE O PAREDÃO E A PONTE FLUTUANTE .....            | 43        |
| 2.5.6. LIGAÇÃO ENTRE CÉLULAS DA PONTE FLUTUANTE .....                           | 43        |
| <b>3. MATERIAIS .....</b>   | <b>47</b> |
| <b>3.1. Descrição Geral.....</b>  | <b>47</b> |
| <b>3.2. Aço .....</b>   | <b>47</b> |
| <b>3.3. Aço Inoxidável.....</b>   | <b>49</b> |
| 3.3.1. AÇOS AUSTENÍTICOS .....  | 49        |
| 3.3.2. AÇOS AUSTENÍTICO-FERRÍTICOS .....  | 49        |
| 3.3.3. AÇOS MARTENSÍTICOS E ENDURECIDOS POR PRECIPITAÇÃO .....                  | 50        |
| 3.3.4. PROPRIEDADES MECÂNICAS E FÍSICAS.....                                    | 50        |
| <b>3.4. Espuma de Polietileno de Célula Fechada .....</b>                       | <b>53</b> |
| <b>3.5. Poliuretano Elastómero .....</b>  | <b>54</b> |
| <b>4. ASPETOS ESPECÍFICOS NO DIMENSIONAMENTO DE<br/>PONTES FLUTUANTES .....</b> | <b>57</b> |
| <b>4.1. Ações .....</b>   | <b>57</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.1.1. AÇÕES PERMANENTES .....   | 57        |
| 4.1.1.1. Peso Próprio .....  | 57        |
| 4.1.1.2 Restantes cargas permanentes .....   | 57        |
| 4.1.2. SOBRECARGAS .....   | 58        |
| 4.1.2.1. Cargas verticais e horizontais devido à utilização .....                                  | 58        |
| 4.1.2.2. Pressão Hidrostática .....  | 58        |
| 4.1.2.3. Vento .....   | 59        |
| 4.1.2.4. Corrente .....  | 64        |
| 4.1.2.5. Falha de um flutuador .....   | 66        |
| 4.1.2.6. Temperatura .....   | 67        |
| 4.1.2.7. Ondas .....   | 70        |
| 4.1.2.8. Sismo .....   | 72        |
| <b>4.2. Estabilidade .....</b>   | <b>72</b> |
| <b>4.3. Especificidades Relativas à Modelação de Pontes Flutuantes .....</b>                       | <b>74</b> |
| 4.3.1. CONVERSÃO DOS FLUTUADORES EM APOIOS ELÁSTICOS .....   | 74        |
| 4.3.1.1. Apoio Vertical .....  | 75        |
| 4.3.1.2. Apoio rotacional em torno do eixo X .....   | 76        |
| 4.3.2. CONVERSÃO DAS ESTACAS TELESCÓPICAS EM APOIOS RÍGIDOS .....                                  | 76        |
| 4.3.2.1. Elemento deslizante .....   | 78        |
| <b>5. ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA .....</b>   | <b>85</b> |
| <b>5.1. Normas e Critérios de Dimensionamento .....</b>  | <b>85</b> |
| <b>5.2. Modelação .....</b>  | <b>87</b> |
| <b>5.3. Estado Limite Último (ELU) .....</b>   | <b>89</b> |
| 5.3.1. AÇÃO ACIDENTAL .....  | 90        |
| 5.3.2. ESTADO LIMITE ÚLTIMO – ANÁLISE DA CAPACIDADE DE IMPULSÃO DOS FLUTUADORES DO TABULEIRO ..... | 91        |
| 5.3.3. ESTADO LIMITE ÚLTIMO – ANÁLISE DO MOMENTO RESISTENTE EM TORNO DO EIXO X .....               | 92        |
| 5.3.4. ESTADO LIMITE ÚLTIMO – ANÁLISE DOS MOMENTOS FLECTORES $M_y$ AO LONGO DO TABULEIRO .....     | 93        |
| 5.3.5. ESTADO LIMITE ÚLTIMO – ANÁLISE DO ESFORÇO AXIAL NO TABULEIRO .....                          | 94        |
| <b>5.4. Estado Limite de Serviço (ELS) .....</b>   | <b>95</b> |

|  |            |
|--|------------|
| 5.4.1. COMBINAÇÃO CARACTERÍSTICA - ROTAÇÃO DA ESTRUTURA EM TORNO DO EIXO X.....  | 95         |
| 5.4.2. COMBINAÇÃO CARACTERÍSTICA - DESLOCAMENTO DA ESTRUTURA AO LONGO DO EIXO<br>X .....   | 96         |
| 5.4.3. COMBINAÇÃO CARACTERÍSTICA - DESLOCAMENTO DA ESTRUTURA AO LONGO DO EIXO<br>Y .....   | 97         |
| 5.4.4. COMBINAÇÃO CARACTERÍSTICA – CONTROLO DAS FLECHAS OCORRIDAS NO TABULEIRO<br>DE UMA CÉLULA .....  | 98         |
| 5.4.5. COMBINAÇÃO CARACTERÍSTICA - DESLOCAMENTO RELATIVO ENTRE CÉLULAS AO<br>LONGO DO EIXO Z .....   | 99         |
| <b>5.5. Análise da fase de construção.....</b>   | <b>100</b> |
| <b>5.6. Verificação da capacidade resistente dos elementos estruturais.....</b>  | <b>101</b> |
| 5.6.1. GRADES DE PISO .....  | 101        |
| 5.6.2. TABULEIRO, CARLINGA E TRELIÇA.....  | 101        |
| 5.6.3. ESTACAS TELESCÓPICAS.....   | 102        |
| 5.6.3.1. Elemento deslizante.....  | 103        |
| 5.6.3.2. Elemento cravado .....  | 106        |
| 5.6.4. DIMENSIONAMENTO DA FOLGA DE DESLIZAMENTO DO ELEMENTO DE LIGAÇÃO À<br>MARGEM DE GAIA E DO ELEMENTO DE LIGAÇÃO ENTRE O PAREDÃO E A PONTE<br>FLUTUANTE ..... | 109        |
| 5.6.5. DIMENSIONAMENTOS DAS FOLGAS DA LIGAÇÃO ENTRE CÉLULAS .....  | 111        |
| <b>6. PROCESSO CONSTRUTIVO .....</b>   | <b>113</b> |
| <b>7. ESTIMATIVA ORÇAMENTAL .....</b>  | <b>119</b> |
| <b>8. COMENTÁRIOS FINAIS .....</b>   | <b>121</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Fig. 1 - Vista geral da zona do projeto [3] .....   | 2  |
| Fig. 2 – Ponte flutuante chinesa rudimentar [1] .....   | 4  |
| Fig. 3 – Exemplificação da ponte do Rei Xerxes [6] .....  | 5  |
| Fig. 4 - Ilustração da ponte das barcas, Porto [7] .....  | 6  |
| Fig. 5 - Lacey V. Murrow e Third Lake Washington, EUA [1] .....   | 7  |
| Fig. 6 - Ponte Hobart, Tasmânia, Austrália [1] .....  | 7  |
| Fig. 7 - Hood Canal, Washington, EUA [1].....   | 8  |
| Fig. 8 - Ponte Bergsøysund, Kristiansund na Noruega [1].....  | 9  |
| Fig. 9 - West India Quay, Londres, Reino Unido[1].....  | 9  |
| Fig. 10 - Projeto da Ponte das Maldivas [8] .....   | 10 |
| Fig. 11 - Corpo flutuante com as posições do centro de gravidade e do centro de impulsão [10] .....   | 11 |
| Fig. 12 - Rotação imposta em estruturas flutuantes com centro de gravidade baixo e alto [10] .....  | 12 |
| Fig. 13 - Altura metacêntrica [10] .....  | 14 |
| Fig. 14 - Localização da obra [Google Maps] .....   | 17 |
| Fig. 15 - Localização da Praça da Ribeira e do Cais da Estiva [Google Maps] .....   | 18 |
| Fig. 16 - Praça Sandeman/Largo Miguel Lombarda [Google Maps].....   | 19 |
| Fig. 17- Varias hipóteses de traçado em planta.....   | 20 |
| Fig. 18- Hipótese escolhida para o traçado final.....   | 20 |
| Fig. 19 - Localização da hipótese final em planta .....   | 21 |
| Fig. 20 - Localização das margens, Cais da Estiva (esquerda) e Marginal adjacente à Praça Sandeman (direita) [Google Maps] .....  | 21 |
| Fig. 21 - Perfil de profundidades .....   | 22 |
| Fig. 22 - Cheia de 1909 [13].....   | 23 |
| Fig. 23 - Atual canal de navegação do rio Douro (esquerda) e proposta para novo canal de navegação do rio Douro (direita) .....   | 25 |
| Fig. 24 - Perfil de profundidades com a localização da proposta para o novo canal de navegação do rio Douro .....   | 25 |
| Fig. 25 – Largura útil do tabuleiro da ponte pedonal.....   | 26 |
| Fig. 26 – Ponte flutuante constituída por três células .....  | 27 |
| Fig. 27 – Perfil de profundidades com a nova localização do canal de navegação (azul); Localização do paredão (branco) e localização do atual canal de navegação (vermelho) ..... | 28 |
| Fig. 28 – Localização da ponte móvel no Cais da Estiva (pormenor e em planta).....  | 28 |
| Fig. 29 – Ponte móvel de enrolamento de Paddington, Thomas Heatherwick [35].....  | 29 |

|  |    |
|--|----|
| Fig. 30 - Ponte móvel de enrolamento de Paddington (pormenor dos cilindros hidráulicos), Thomas Heatherwick .....                | 30 |
| Fig. 31 – Localização em planta do paredão (vermelho) .....  | 31 |
| Fig. 32 – Localização do paredão (branco) no perfil de profundidades .....   | 31 |
| Fig. 33 – Constituição do tabuleiro e identificação dos seus elementos.....  | 31 |
| Fig. 34 – Acabamentos em madeira lamelada .....  | 32 |
| Fig. 35- Vista frontal da treliça .....  | 33 |
| Fig. 36 - Vista lateral da treliça .....   | 33 |
| Fig. 37- Treliça em 3D .....   | 33 |
| Fig. 38 - Identificação da carlinga e treliça, bem como a sua ligação ao tabuleiro.....  | 34 |
| Fig. 39- Esquema de uma ponte flutuante com flutuadores individuais.....   | 35 |
| Fig.40 - Flutuador em planta .....   | 36 |
| Fig. 41 - Flutuador em alçado.....   | 37 |
| Fig.42 – Cortes do flutuador .....   | 37 |
| Fig. 43 - Flutuador do tabuleiro - esqueleto em aço (3D).....  | 38 |
| Fig. 44 - Solução mista de manutenção do alinhamento transversal e longitudinal das células .....                                | 39 |
| Fig.45 - Solução exclusivamente com estacas telescópicas em planta .....   | 40 |
| Fig. 46 - Esquema representativo da estaca telescópica em caso de cheia máxima registada até hoje .....                          | 40 |
| Fig. 47- Elementos constituintes do tabuleiro da ponte de acesso .....   | 41 |
| Fig.48 - Ponte de acesso representação do tabuleiro em planta e alçado .....   | 42 |
| Fig.49- Representação da ponte de acesso em caso de seca .....   | 42 |
| Fig. 50 - Representação da ponte de acesso com ambas as extremidades à mesma cota .....  | 43 |
| Fig. 51 - Ligação entre células em alçado.....   | 44 |
| Fig. 52 – Ligação entre células em planta.....   | 44 |
| Fig. 53 - Ligação entre células em planta (pormenor).....  | 45 |
| Fig. 54 - Solução geral em planta.....   | 45 |
| Fig. 55 - Valores nominais da tensão de cedência $f_y$ e da tensão última à tração $f_u$ para aços laminados a quente [17] ..... | 48 |
| Fig.56 - Curvas típicas tensão-deformação para aços inoxidáveis e para aço carbono [18] .....                                    | 50 |
| Fig.57 - Valores nominais da tensão de cedência $f_y$ e da tensão última à tração $f_u$ para aços inoxidáveis [19] .....         | 51 |
| Fig.58 - Mapa nacional de corrosão atmosférica [18] .....  | 52 |
| Fig. 59 - Limites máximos das relações largura-espessura para componentes comprimidos [19] .....                                 | 53 |
| Fig. 60 - Características da espuma de polietileno de célula fechada [21].....   | 54 |

|   |     |
|---|-----|
| Fig.61 - Exemplo da boia de sinalização de alto mar [20] .....  | 55  |
| Fig. 62 - Pressão hidrostática [10].....  | 59  |
| Fig. 63 - Categorias e parâmetros do terreno [26] .....   | 61  |
| Fig. 64 - Altura equivalente do tabuleiro em função das guardas existentes na estrutura [26] .....  | 62  |
| Fig. 65 - Gráfico que relaciona $C, f_x$ com a razão $bdt_{total}$ [26].....  | 63  |
| Fig.66 - Correlação entre a temperatura mínima do ar à sombra ( $T_{min}$ $T_{max}$ ) e a componente da variação uniforme de temperatura mínima/máxima em pontes ( $T_e, \min T_e, \max$ ) [27] ..... | 68  |
| Fig.67 - Valores recomendados da componente linear da variação diferencial de temperatura para diferentes tipos de tabuleiro de pontes rodoviárias, pedonais e ferroviárias. [27].....                | 69  |
| Fig.68 - Valores recomendados de $k_{sur}$ a considerar para diferentes espessuras do revestimento da superfície [27].....  | 70  |
| Fig.69 - Diferenças na pressão causadas pelas ondas em ambos os lados [10].....   | 71  |
| Fig.70 - Célula com os eixos considerados .....   | 73  |
| Fig.71 - Numeração das estacas telescópicas .....   | 77  |
| Fig. 72- Identificação dos elementos da estaca telescópica.....   | 77  |
| Fig.73 – Sistema estrutural e respetivas cargas usadas para dimensionar o elemento deslizante .....   | 78  |
| Fig.74 - Viga em apoio elástico contínuo solicitada transversalmente [29] .....   | 79  |
| Fig.75 - Estaca esbelta solicitada por força horizontal e momento aplicados na cabeça [29] .....  | 81  |
| Fig.76 - Estaca submetida a um momento concentrado aplicado na cabeça: a) representação esquemática; b) modelo de Winkler [29].....   | 82  |
| Fig.77 – Menu de geração de combinações do software <i>Autodesk Robot</i> .....   | 88  |
| Fig.78 - Célula modelada no software <i>Autodesk Robot</i> , com representação dos eixos utilizados. ....   | 89  |
| Fig.79 - Combinação acidental com as respetivas reações .....   | 90  |
| Fig.80 - Combinação 137 condicionante em termos de reação vertical .....  | 92  |
| Fig.81 - Combinação 454 com as reações $M_x$ .....  | 93  |
| Fig.82 - Combinação 79 com os momentos fletores $M_y$ .....   | 94  |
| Fig.83 - Combinação 455 com esforço axial ilustrado .....   | 95  |
| Fig.84 – Combinação 903 com a rotação em torno do eixo X ligada .....   | 96  |
| Fig.85 – Combinação 765 com a ilustração da sua respetiva deformada .....   | 97  |
| Fig. 86 – Numeração dos vãos de uma célula.....   | 98  |
| Fig. 87 – Combinação 479 com a ilustração da sua deformada.....   | 99  |
| Fig. 88 - Combinação quase-permanente com a ilustração da deformação que esta provoca .....   | 100 |
| Fig.89 - Momentos existentes na fase de construção.....   | 100 |
| Fig. 90 - Reações verticais na fase de construção .....   | 101 |

|   |     |
|---|-----|
| Fig. 91 – Verificação em Estado Limite Último dos elementos constituintes do tabuleiro, carlinga e treliça .....  | 102 |
| Fig. 92 - Numeração das estacas telescópicas.....   | 102 |
| Fig. 93 - Esquema estrutural utilizado no dimensionamento do elemento deslizante da estaca telescópica.....   | 103 |
| Fig. 94 - Esquema da inserção geológica da estaca telescópica .....   | 106 |
| Fig. 95 – Evolução do deslocamento do elemento cravado da estaca telescópica em profundidade (le) .....   | 107 |
| Fig. 96 – Evolução do esforço transversal de cálculo ao longo do elemento cravado da estaca telescópica em profundidade (le).....   | 108 |
| Fig. 97 - Evolução do momento de cálculo ao longo do elemento cravado da estaca telescópica em profundidade (le).....   | 108 |
| Fig.98 - Esquema utilizado para determinar a folga de deslizamento para as pontes de acesso.....  | 110 |
| Fig.99 - Esquema utilizado para determinar a folga de deslizamento para a ligação entre células...  | 111 |
| Fig. 100– Início da cravação do elemento exterior da estaca telescópica com recurso a equipamento especializado .....   | 113 |
| Fig. 101- Fim da cravação do elemento exterior da estaca telescópica com recurso a equipamento especializado .....  | 114 |
| Fig. 102 – Fase 1 do içamento de uma célula .....   | 114 |
| Fig. 103 - Fase 2 do içamento de uma célula .....   | 115 |
| Fig. 104 - Fase 3 do içamento de uma célula .....   | 115 |
| Fig. 105 - Fase 4 do içamento de uma célula .....   | 116 |
| Fig. 106 - Fase 5 do içamento de uma célula .....   | 116 |
| Fig. 107 - Início de instalação do elemento deslizante da estaca telescópica, com recurso a uma grua flutuante .....  | 117 |
| Fig. 108 - Passagem do elemento deslizante da estaca telescópica pelo interior do flutuador da estaca telescópica .....   | 117 |
| Fig. 109 – Elemento deslizante da estaca telescópica inserido no interior do elemento cravado da estaca telescópica (ocorre a fixação do elemento deslizante ao flutuador)..... | 118 |
| Fig. 110 - Introdução do elemento deslizante no interior da ligação à célula (através das características mecânicas desta ligação).....   | 118 |

## ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

|  |     |
|--|-----|
| Quadro 1 - Velocidade média característica [26].....   | 60  |
| Quadro 2 - Velocidade da corrente .....  | 66  |
| Quadro 3 - Carga causada num flutuador devido a corrente.....  | 66  |
| Quadro 4 - Diferentes componentes de cada célula da ponte flutuante .....  | 73  |
| Quadro 5 - Estabilidade rotacional de um segmento de 7.4 metros de uma célula da ponte flutuante em torno do eixo Y .....  | 74  |
| Quadro 6 - Estabilidade rotacional de um segmento de 7.4 metros de uma célula da ponte flutuante em torno do eixo X .....  | 74  |
| Quadro 7 – Representação dos diferentes elementos constituintes de um flutuador do tabuleiro e respetivo peso próprio..... | 75  |
| Quadro 8 - Coeficientes $\psi_i$ para as diferentes ações .....  | 86  |
| Quadro 9 - Combinações condicionantes no dimensionamento das estacas telescópicas .....                                    | 90  |
| Quadro 10 – Combinações condicionantes em termos de reações verticais .....  | 91  |
| Quadro 11 - Combinações condicionantes em termos de momentos resistentes $M_x$ .....                                       | 92  |
| Quadro 12 - Combinações com os momentos fletores $M_y$ ao longo do tabuleiro condicionantes .....                          | 93  |
| Quadro 13 - Combinações condicionantes em termos de esforço axial do tabuleiro.....  | 94  |
| Quadro 14 – Combinações condicionantes em termos de rotação em torno do eixo X.....  | 96  |
| Quadro 15 - Combinações condicionantes em termos de deslocamentos na direção do eixo X .....                               | 97  |
| Quadro 16 - Combinações condicionantes em termos de deslocamentos na direção Y .....                                       | 98  |
| Quadro 17 – Combinações condicionantes com as flechas por vão .....  | 98  |
| Quadro 18 – Deslocamento relativo entre células .....  | 99  |
| Quadro 19 – Esforços de cálculo para o dimensionamento do elemento deslizante da estaca telescópica.....                   | 104 |
| Quadro 20 - Descrição do elemento deslizante e respetivo dimensionamento.....  | 104 |
| Quadro 21 - Módulos de elasticidade e respetivas camadas .....   | 106 |
| Quadro 22 - Esforços de cálculo utilizados para o dimensionamento do elemento cravado .....                                | 107 |
| Quadro 23 - Descrição do elemento cravado e respetivo dimensionamento .....  | 109 |
| Quadro 24 - Cálculo da folga de deslizamento .....   | 110 |
| Quadro 25 – Estimativa orçamental da obra.....   | 119 |



## SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

### CAPÍTULO 1

$a$  – distância que depende do ângulo de rotação e da altura metacêntrica

$B$  – centro de impulsão de um objeto flutuante

$BM$  – distância entre o centro de impulsão e a posição do metacentro do objeto flutuante

$d_f$  – densidade do fluido

$F$  – força de impulsão

$g$  – aceleração gravítica

$G$  – centro de gravidade de um objeto flutuante

$GM$  – altura do metacentro

$I$  - impulso hidrostático

$I_w$  – momento de inércia da projeção em planta do flutuador

$M$  – metacentro

$M_s$  – momento devido à solitação

$M_{estabilizador}$  – momento estabilizador devido as pressões hidrostáticas

$V_f$  – volume de água deslocado

$\alpha$  – ângulo de rotação

$\Delta$  – volume de água deslocado

### CAPÍTULO 2

*APDL* – Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo SA

$\Delta x_{Global}$  – folga de deslizamento global

$\Delta x_{Temperatura}$  – folga de deslizamento devido à variação de comprimento dos elementos quando estão sujeitos a variações de temperatura uniforme.

### CAPÍTULO 3

$f_y$  – tensão de cedência

$f_u$  – tensão de cedência última

### CAPÍTULO 4

$A$  – área submersa da estrutura perpendicular à direção da corrente

$A_{wave}$  – força máxima vertical resultante da atuação de ondas sobre o corpo flutuante

$B$  – largura da estaca

$b$  – largura da parte submersa do objeto flutuante

$c$  – comprimento da parte submersa do objeto flutuante

$C$  – comprimento do corpo flutuante (flutuador)

$C_{air}$  – coeficiente da direção do vento

$C_s$  – coeficiente de forma

$C_{season}$  – coeficiente de sazão

$C_{r(z)}$  – coeficiente de rugosidade

$d$  – altura submersa do objeto flutuante

$d_{ff}$  – altura submersa de um flutuador

$d_t$  – menor altura submersa do corpo flutuante

$ELS$  – estado limite de utilização

$ELU$  – estado limite último

$E_s$  – módulo de deformabilidade do solo

$E_p I_p$  – rigidez de flexão da estaca

$F$  – combinação quadrática dos esforços horizontais resultantes da ação condicionante

$FC$  – força da corrente quando esta atua sobre corpos flutuantes

$F_{ed}$  – reação resultante das ações atuantes no elemento deslizante

$F_H$  – força horizontal resultante da pressão da água

$F_{max}$  – força máxima horizontal resultante da atuação de ondas sobre corpos flutuantes

$F_V$  – força vertical resultante da pressão da água

$F_{w,x}$  – força horizontal resultante da ação do vento atuante na direção transversal ao tabuleiro da ponte flutuante

$F_{w,y}$  – força horizontal no sentido longitudinal do tabuleiro da ponte

$F_{w,z}$  – força vertical resultante da ação do vento

$F.C.$  – força da corrente ao longo da estaca

$g$  – aceleração gravítica

$GM$  – altura do metacentro

$H_i = H_d$  – altura da onda

$I_{v(z)}$  – intensidade da turbulência do vento à altura  $z$

$K$  – rigidez do solo

$K_v$  – rigidez vertical de um flutuador

$L$  – comprimento do vão carregado

$l_e$  – comprimento elástico do elemento cravado

$M(x)$  – evolução do diagrama de momentos ao longo do comprimento do elemento cravado da estaca telescópica

$M_{ed}$  – reação resultante das ações atuantes no elemento deslizante

$M_{resistente}$  – momento mobilizado pelo flutuador consoante a rotação que este experimenta, ou seja, rigidez rotacional

$P$  – peso próprio da estrutura

$Q$  – caudal

$q_{fk}$  – sobrecarga uniformemente distribuída vertical

$qp(z)$  – pressão média de pico do vento

$S$  – área da secção do rio em análise

$T_0$  – temperatura inicial

$Te_{max}$  – componente da variação uniforme da temperatura máxima em pontes

$Te_{min}$  – componente da variação uniforme de temperatura mínima em pontes

$V(x)$  – evolução do diagrama do esforço transversal ao longo do comprimento do elemento cravado da estaca telescópica

$v$  – velocidade da corrente

$V_b$  – velocidade do vento

$V_{b,0}$  – é o valor característico da velocidade média referida a períodos de 10 minutos, independentemente da direção do vento e da época do ano, a uma altura de 10 metros acima do solo

$V_m$  – velocidade média do vento para uma altura  $z$  acima do solo

$W$  – largura do corpo flutuante (flutuador)

$y(x)$  – deslocamento da estaca (elemento cravado) ao longo do seu comprimento

$\lambda$  – inverso do comprimento elástico

$\rho$  – massa volúmica do ar

$\rho_f$  – densidade da água

$\rho_l$  – densidade do líquido

$\psi$  - Valor reduzido de uma ação

$\Delta T_{M,cool}$  – variação diferencial de temperatura em que a face inferior do tabuleiro da ponte está mais quente do que a face superior

$\Delta T_{M,heat}$  – variação diferencial de temperatura em que a face superior do tabuleiro da ponte está mais quente do que a face inferior

$\Delta T_{N,con}$  – valor característico de amplitude de contração máxima da componente de variação uniforme de temperatura da ponte

$\Delta T_{N,exp}$  – valor característico da amplitude de dilatação máxima da componente da variação uniforme de temperatura da ponte

## CAPÍTULO 5

$A$  – distância vertical entre a ligação tabuleiro com o elemento deslizante e o flutuador da respetiva estaca

$B$  – diferença de cotas entre a cota máxima registada até hoje no rio Douro neste local e a cota do fundo do rio na localização da estaca telescópica

*Comb.* - combinação

*CHR* – combinação característica

$D_{ext}$  – diâmetro exterior

$D_{int}$  – diâmetro interior

$E_p I_p$  – rigidez de flexão da estaca

*ELS* – estado limite de utilização

*ELU* – estado limite último

$F$  – combinação quadrática dos esforços horizontais resultantes da ação acidental (condicionante)

$FC$  – força da corrente ao longo da estaca telescópica (elemento deslizante)

$FF$  – força horizontal originada pela corrente quando entra em contacto com o flutuador da estaca

$f_y$  – tensão de cedência

$L_B$  – comprimento do elemento deslizante que está em constante contacto com a corrente (no caso acidental)

$l_e$  – comprimento elástico do elemento cravado

$M_{c,Rd}$  – valor de cálculo do momento fletor resistente

$M_{ed}$  – momento de cálculo

$M(x)$  – evolução do diagrama de momentos ao longo do comprimento do elemento cravado da estaca telescópica

$V(x)$  – evolução do diagrama do esforço transversal ao longo do comprimento do elemento cravado da estaca telescópica

$V_{c,Rd}$  – valor de cálculo do esforço transversal resistente

$V_{ed}$  – esforço de corte de cálculo

$y(x)$  – deslocamento da estaca (elemento cravado) ao longo do seu comprimento

( $A$ ) – cargas acidentais

( $G$ ) – cargas permanentes

( $Q$ ) – cargas variáveis

$\gamma_{M0}$  - coeficiente parcial de segurança relativo a uma propriedade de um material, que cobre também as incertezas de modelação e desvios de dimensões.

$\lambda$  – inverso do comprimento elástico

$\psi$  – Valor reduzido de uma ação





# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. INTRODUÇÃO

Como o próprio nome indica, as pontes flutuantes possuem a capacidade de vogar na água, através da utilização de flutuadores, que equilibram as cargas verticais [1].

A utilização deste tipo de travessia surge nos locais onde as condições de construção de uma ponte convencional se tornam tecnicamente inviáveis ou economicamente inadequadas.

A título exemplificativo, para situações em que o objetivo é construir uma ponte pedonal sobre um curso de água, cujas profundidades não são muito elevadas, mas em que é necessário garantir a continuidade do canal de navegação, optar por uma solução de uma ponte flutuante poderá apresentar um custo inferior a uma alternativa de uma ponte com fundações convencionais.

Estas pontes, pela sua especificidade, carecem de uma análise cuidada, devido a fenómenos particulares, cujo domínio é essencial.

Com a evolução dos métodos de análise e de dimensionamento, bem como das tecnologias de construção relacionadas com as particularidades das pontes flutuantes, estas tornam-se, atualmente, uma alternativa válida às pontes convencionais.

### 1.2. ÂMBITO DO PROJETO

Durante as últimas décadas, diversos autores têm publicado as suas opiniões sobre a necessidade de novas ligações entre as cidades do Porto e de Vila Nova de Gaia, bem como a natureza e implantação dessas possíveis travessias. Entre as várias opções consideradas, surge a proposta de um atravessamento à cota baixa, de natureza meramente pedonal, a unir as ribeiras de ambas as cidades ou locais situados nas suas proximidades.



Fig. 1 - Vista geral da zona do projeto [3]

As Ribeiras do Porto e Vila Nova Gaia são centros nevrálgicos no que respeita ao lazer, turismo e animação noturna de ambas as cidades. A Ribeira do Porto insere-se na área considerada pela UNESCO, desde 1996, Património Mundial da Humanidade e a Ribeira de Gaia, por seu turno, pertence ao Centro Histórico desta cidade, além de ser o miradouro natural, por excelência, para a área classificada pela UNESCO. Percebe-se, assim, que ambas as zonas são áreas de grande suscetibilidade paisagística, onde uma das principais valências de uma nova travessia é a sua integração correta na envolvente.

Com esta nova ligação, pretende-se, igualmente, a aproximação entre as duas margens, mas também de cada uma delas com o rio, e que assegure um desenvolvimento contínuo e coeso destas duas áreas. Além disso, a vocação cultural e recreativa das duas Ribeiras reivindica a adoção de medidas de progressiva pedonização da zona que, no limite, deveriam contemplar uma ligação pedonal direta entre elas [3].

Como objeção a esta ligação pode ser apontada a existência e proximidade da Ponte Luiz I e a consequente duplicação de travessias. No entanto, o tabuleiro inferior da Ponte Luiz I não pode ser considerado como ligação pedonal, uma vez que a sua vocação quase exclusivamente rodoviária e a elevada intensidade de tráfego, tornam a travessia a pé insegura e desagradável. Para além de que, a localização da Ponte Luiz I, a montante dos “centros” de ambas as Ribeiras, em nada facilita a aproximação e mobilidade, pois obriga a percorrer uma grande distância entre a Praça da Ribeira e o Largo Miguel Bombarda.

Deste modo, a nova travessia permitiria uma ligação direta e curta entre as Ribeiras o que se traduzirá numa aproximação e reforço da atratividade de duas zonas que atualmente, e de modo independente, apresentam já dinâmicas atrativas expressivas, além da mais-valia do ponto de vista turístico. Este facto, no limite, reforçará as conexões territoriais e permitirá que cada uma das margens tome partido da complementaridade da outra, nomeadamente no que respeita à oferta de serviços. Por outro lado, a libertação do tabuleiro inferior da Ponte Luiz I, para uso exclusivo de tráfego automóvel, permitiria, em última estância, um escoamento fluído do tráfego rodoviário e uma reestruturação do trânsito na zona [3].

A carência por uma ligação puramente pedonal na zona fica também salientada pelos inúmeros projetos desenvolvidos nos últimos anos, nomeadamente do engenheiro Adão da Fonseca, do arquiteto Castelo Branco e de propostas do engenheiro Álvaro Azevedo [4] [5].

Assim, para a localização da nova ponte, surgem como locais ideais a Praça da Ribeira na cidade do Porto e o Largo Miguel Bombarda, popularmente conhecido por Praça Sandeman, no lado de Gaia. As zonas anteriormente referidas são facilmente identificadas como os centros das duas Ribeiras e, sendo os locais mais amplos de ambas as margens, possuem as melhores condições para acolher os encontros da nova travessia. Por outro lado, são locais de grande relevância em termos turísticos, onde se centram as ofertas e os circuitos culturais e recreativos. As duas praças possuem cotas semelhantes. A partir de cada uma delas existem acessos diretos à cota alta das respetivas cidades, pela Rua de Cândido dos Reis na cidade de Gaia e através Rua de S. João e Rua Mouzinho da Silveira do lado portuense.

Por fim, importa referir como premissas deste projeto, além da sua localização e natureza pedonal, a opção pela construção de uma ponte flutuante metálica com uma abertura para passagem das embarcações. No âmbito do projeto surge ainda a definição do traçado final da ponte pedonal, bem como o dimensionamento de todos os elementos que constituem a nova travessia.

### **1.3. PONTES FLUTUANTES**

As pontes flutuantes possuem características técnicas que as diferenciam das pontes convencionais ou ainda de outras estruturas flutuantes. De um modo geral podem-se mencionar as seguintes características:

- Tiram partido do impulso hidrostático;
- Dispensam a necessidade de fundações;
- Criam a necessidade de utilização de ancoragens e/ou dispositivos de ligação à terra de modo a manter o alinhamento transversal e longitudinal;
- Podem criar um obstáculo para o tráfego marítimo e, nesse caso, é necessário dotar a ponte de uma possibilidade de abertura;
- Trata-se de soluções economicamente eficientes, que dependem das características do local de implantação.

#### **1.3.1. RESENHA HISTÓRICA**

As pontes flutuantes surgem na história da civilização como obras de carácter temporário e só mais tarde como obras de carácter permanente. As inúmeras guerras que ocorreram ao longo dos séculos foram determinantes para evolução das pontes flutuantes, bem como para alteração do seu carácter, no que à durabilidade diz respeito.

Povos como os romanos, os gregos e os mongóis, entre outros, utilizavam variantes de pontes flutuantes de modo a facilitar a movimentação do equipamento militar e dos combatentes. Os historiadores acreditam que as primeiras pontes flutuantes surgiram na China, em torno do século XIII a.C., mas só mais tarde, no século III a.C. é que, de facto, existe alguma evidência da primeira ponte flutuante permanente [1]. Estas primeiras pontes eram estruturas rudimentares, constituídas por barcos dispostos transversalmente e amarrados de forma a não se moverem [1]. Um exemplo de uma ponte flutuante chinesa pode ser observado na Fig.2.



Fig. 2 – Ponte flutuante chinesa rudimentar [1]

De seguida, é efetuada uma descrição histórica de várias pontes flutuantes que existem ou que existiram, por ordem cronológica.

#### 1.3.1.1. Ponte do Rei Xerxes

Um exemplar de uma ponte flutuante temporária construída com o objectivo de possibilitar a passagem de uma força militar ao longo de um estreito é a Ponte do Rei Xerxes.

Por volta de 480 a.C., o Rei Xerxes da Pérsia, de modo a proporcionar a travessia do seu exército através de Helesponto, atualmente Dardanelos, com o propósito de invadir a Grécia, ordenou a construção de uma ponte que ligasse as margens de um estreito de 1300 metros [6].

Para tal, foi executada uma primeira ponte flutuante, que era constituída por dois módulos que se intersectavam no meio do estreito e a outra extremidade de cada módulo vinculava-se à respetiva margem. Porém, antes que o exército Persa conseguisse passar, esta primeira ponte flutuante foi destruída por uma tempestade. O Rei Xerxes, como castigo, ordenou a decapitação dos engenheiros

responsáveis pela obra. De seguida, uma segunda ponte foi construída utilizando cerca de 600 barcos ligados através de cordas de linho e de papiro e fixados ao fundo através de âncoras.

A ponte sobreviveu à passagem do exército que acabaria por conquistar Atenas. É possível observar uma ilustração desta ponte na Fig.3.

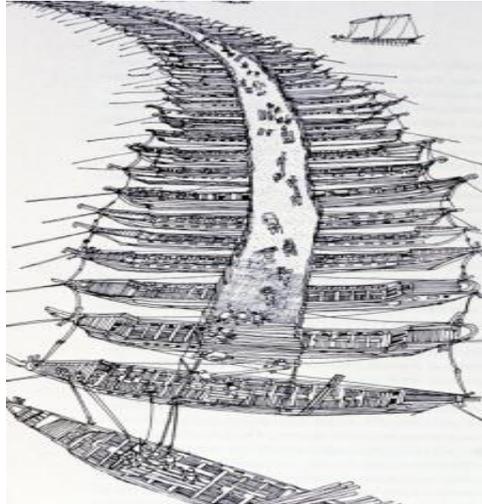


Fig. 3 – Exemplificação da ponte do Rei Xerxes [6]

#### 1.3.1.2. Ponte das Barcas

A ponte das barcas adveio da necessidade de existência de uma travessia entre as margens do rio Douro, nomeadamente entre Porto e Gaia, para a permuta/circulação de mercadorias e pessoas. A primeira ponte permanente na cidade do Porto seria então a ponte das barcas, construída no ano de 1806, embora existam relatos sobre a existência de outras pontes neste local. Esta infraestrutura, projetada por Carlos Amarante, era constituída por 20 barcas ligadas entre si através de cabos de aço, encontrando-se ancoradas no fundo do rio. A ponte das barcas abria e fechava a meio do seu desenvolvimento, para dar lugar à passagem de embarcações, e era desmontada em períodos de cheia, de modo a evitar a sua destruição [7]. Contudo, no dia 12 de março de 1809, durante a 2ª invasão francesa, as tropas do general Soult marcharam pela cidade do Porto. A população fugiu para sul, atravessando a ponte, mas esta cedeu, devido à sua fragilidade, provocando a morte das cerca de 4000 pessoas que faziam a travessia do rio Douro [7].



Fig. 4 - Ilustração da ponte das barcas, Porto [7]

As pontes que são expostas e abordadas de seguida foram todas dimensionadas, construídas e colocadas em funcionamento no último século. Cada uma destas pontes tem características únicas, que variam de acordo com o contexto onde as mesmas se encontram inseridas. A título de exemplo destacam-se as pontes flutuantes existentes nos Estados Unidos da América e na Noruega, visto que na primeira as pontes são do tipo flutuador contínuo, ao passo que na segunda as pontes são de flutuadores individuais [4].

#### 1.3.1.3. Lacey V. Murrow e Third Lake Washington

A ponte Lacey V. Murrow está localizada a cerca de cinquenta quilómetros da ponte Governor Albert D. Rosellini e é atualmente a segunda ponte flutuante mais longa do mundo. Considera-se esta ponte revolucionária, pelo facto de ter sido a primeira ponte flutuante construída com recurso ao betão. Desde a sua construção, em 1940, que é uma rota importante para o acesso de veículos pesados à cidade de Seattle. O crescimento do volume de tráfego exigiu a construção de uma ponte mais larga paralela a esta.

A ponte Third Lake Washington, oficialmente ponte Homer M. Hadley Memorial, é a quinta ponte flutuante mais longa do mundo. A maioria dos locais não distingue esta ponte da anterior, referindo-se a estas duas como a ponte Mercer Island. Foi desenhada para suportar ventos de 100 km/h e marés de 1.2 metros [1]. Ambas podem ser observadas na Fig. 5.



Fig. 5 - Lacey V. Murrow e Third Lake Washington, EUA [1]

#### 1.3.1.4. Ponte Hobart

A ponte Hobart (Fig. 6) completada em 1943, na Tasmânia, Austrália, tem um comprimento de 956 metros e apoia-se em flutuadores ocios de betão para fazer a travessia ao longo do rio Derwent, conseguindo resistir a marés de 2.4 metros e ventos na ordem dos 198 km/h. Já foi substituída desde a sua construção original [1].

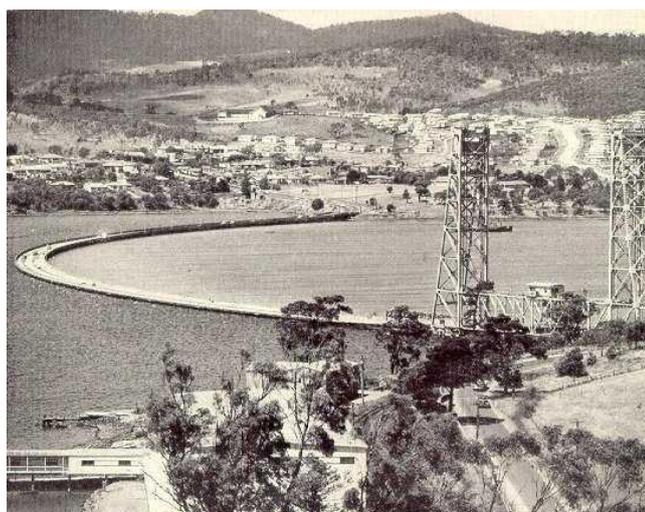


Fig. 6 - Ponte Hobart, Tasmânia, Austrália [1]

#### 1.3.1.5. Hood Canal

A ponte Hood Canal (Fig. 7) situada no estado de Washington, Estados Unidos da América, efetua a ligação entre duas penínsulas. Com um comprimento de 2398 metros em que, destes, 1988 metros são flutuantes, é a ponte flutuante mais longa do mundo localizada em água salgada. Durante o seu planeamento e construção foi alvo de constantes críticas que punham em causa a capacidade de uma ponte flutuante resistir à alta intensidade dos ventos e das marés existentes no local. A secção central da ponte recolhe-se de modo a oferecer uma passagem de 183 metros de largura ao tráfego marítimo. Apesar de ter sido desenhada e concebida para aguentar com ventos na ordem dos 133 km/h a ponte fica encerrada caso a velocidade ultrapasse os 64 km/h [1].



Fig. 7 - Hood Canal, Washington, EUA [1]

#### 1.3.1.6. Ponte Bergsøysund

O comprimento flutuante desta ponte de 934 metros é de 845 metros. A sua construção foi completada em 1992, estando localizada na cidade de Kristiansund, na Noruega. Esta ponte foi a primeira do seu tipo no mundo, ao tirar vantagem da forma do seu arco, de modo a dispensar o sistema de ancoragem. Tem um tempo de vida útil de 100 anos, possuindo uma superestrutura de aço apoiada em flutuadores de betão. Foi concebida com sete flutuadores de betão, em que cada um é dividido em nove compartimentos estanques. Foi desenhada para suportar variações de marés de 4 metros e velocidades do vento de 135 km/h [1].



Fig. 8 - Ponte Bergsøysund, Kristiansund na Noruega [1]

#### 1.3.1.7. West India Quay

Localiza-se em Docklands, em Inglaterra, e a sua construção terminou em 1996. A ponte de 94 metros (Fig. 9) é constituída maioritariamente por aço, sendo suportada por quatro flutuadores. O tabuleiro está dividido em três partes, duas secções ligeiramente inclinadas, nas extremidades, e uma parte central, que pode ser levantada através de um sistema hidráulico de modo a permitir a passagem de embarcações [1].



Fig. 9 - West India Quay, Londres, Reino Unido[1]

### 1.3.2. FUTUROS PROJETOS - PONTE FLUTUANTE NAS MALDIVAS

Uma ponte convencional necessitaria de várias fundações no solo marítimo, o que não só implicaria um custo de obra elevado, mas também teria um grande impacto negativo em qualquer forma de vida existente. Desta forma, surgiu o projeto de uma ponte flutuante com 330 metros de extensão, que será sustentada por flutuadores de aço circulares de 4 metros de diâmetro. Os flutuadores serão preenchidos com gás, de modo a evitar a corrosão [8]. A ponte em questão pode ser observada na Fig.10.



Fig. 10 - Projeto da Ponte das Maldivas [8]

### 1.3.3. TIPO DE PONTES FLUTUANTES

Numa fase inicial, as pontes flutuantes eram formadas por um conjunto de embarcações unidas transversalmente que, juntamente com tábuas de madeira, concretizavam um pavimento de passagem. Com o decorrer dos anos verificou-se a natural evolução dos materiais, métodos e processos construtivos, tornando-se possível a adição de aberturas, de modo a ser exequível a passagem de embarcações, através da introdução de elementos móveis nas pontes flutuantes.

As pontes flutuantes modernas, de uma maneira geral, são constituídas por flutuadores de betão (ou outro tipo de material), acopladas a uma superestrutura de betão ou aço. Os flutuadores podem ser de dois tipos: flutuadores contínuos ou flutuadores individuais. O topo dos flutuadores pode ser utilizado como pavimento para circulação, mas existem também soluções estruturais nas quais ao topo dos flutuadores se acrescenta uma superestrutura na qual se circula.

Sendo assim, uma ponte flutuante de flutuadores contínuos (como a representada na Fig. 5) baseia-se num conjunto de secções individuais ligadas de modo a formar uma estrutura íntegra. As dimensões de cada secção variam conforme as exigências impostas pelos projetistas, e também com o comprimento do tabuleiro [2].

Uma ponte de flutuadores individuais, como a observada na Fig. 9, consiste num conjunto de flutuadores separados espacialmente, podendo ou não estar alinhados transversalmente, sendo estes carregados por uma superestrutura. Esta deve ser suficientemente rígida, de modo a manter a posição relativa dos diferentes flutuadores.

#### 1.4. CONCEITO DE PONTE FLUTUANTE

Segundo o Princípio de Arquimedes “*Todo o corpo mergulhado num fluido em repouso fica sujeito a uma força vertical que atua de baixo para cima, cuja intensidade é igual ao valor do peso do fluido deslocado pelo corpo*” [10]. O conceito de ponte flutuante tira partido do impulso hidrostático para equilibrar as cargas verticais que atuam ao longo do seu tabuleiro.

$$I = d_f * V_f * g \quad (1)$$

De uma forma muito simplificada, a análise estrutural de uma ponte flutuante pode ser dividida em dois prismas. Um deles refere-se às forças longitudinais e transversais que são resistidas por um sistema de âncoras ou dispositivos de ligação a terra. Já o restante refere-se às cargas verticais que são equilibradas pela impulsão, como foi anteriormente mencionado, considerando os flutuadores como apoios elásticos.

##### 1.4.1. INTRODUÇÃO À HIDROSTÁTICA

A força ascendente, que atua num corpo flutuante, pode ser designada como impulso hidrostático. Como pode ser verificado na equação (1), esta força é igual ao produto da densidade do fluido,  $d_f$ , pela aceleração gravítica,  $g$ , e pelo volume deslocado de água,  $V_f$  [9].

Numa situação de equilíbrio, quando se trata de um corpo cujo movimento vertical é permitido, a força gerada pelo peso próprio do corpo é igual à força de impulsão. Na Fig.11 encontra-se representada uma estrutura flutuante, que é utilizada de modo a compreender os vários princípios e definições presentes na flutuação de corpos.

Na Fig. 11 é possível identificar o centro de gravidade, que é representado pela letra G. O centro de impulsão coincide com o centro do volume de água deslocado, caracterizado pela letra B.

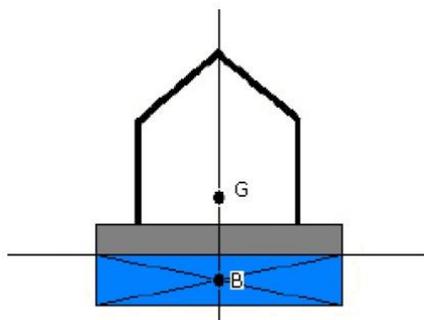


Fig. 11 - Corpo flutuante com as posições do centro de gravidade e do centro de impulsão [10]

O metacentro, representado pela letra  $M$  na Fig. 12, é o ponto de interseção de duas sucessivas linhas de ação da impulsão quando um corpo flutuante se inclina segundo pequenos ângulos. Se o ângulo for grande o metacentro sai do eixo de simetria.

Caso exista uma carga horizontal, um momento ou uma carga vertical excêntrica, estas causam uma rotação em torno do metacentro e, naturalmente, uma pequena inclinação no corpo flutuante, tal como pode ser observado na Fig 12.

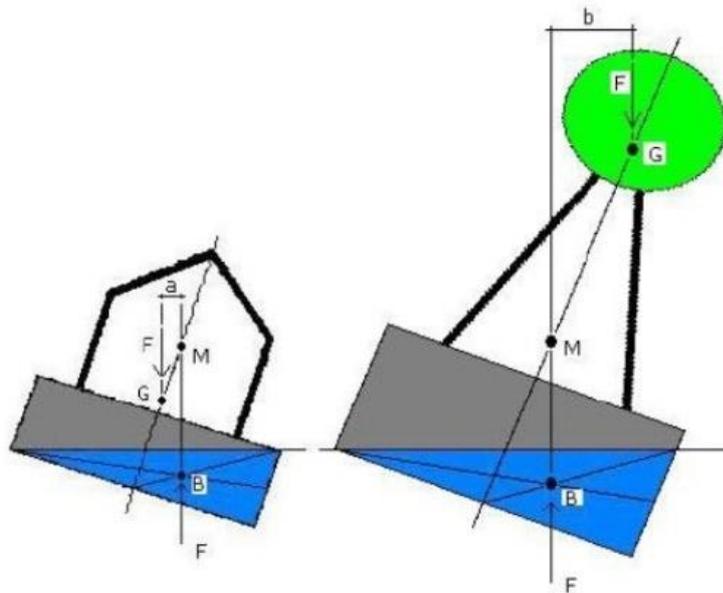


Fig. 12 - Rotação imposta em estruturas flutuantes com centro de gravidade baixo e alto [10]

Como já foi referido:

$M$ - refere-se ao metacentro;

$B$ - designa o centro de impulsão;

$F$ - força gravítica/força de impulsão.

Uma ligeira rotação de um corpo flutuante, como é visível na Fig.12, leva a que uma parte deste corpo fique numa posição menos profunda do que numa situação inicial, enquanto a outra parte fica a uma profundidade maior. Naturalmente, de acordo com a hidrostática, a parte mais profunda desloca um maior volume de água e, conseqüentemente, gera uma maior força de impulsão. O mesmo princípio é válido para a parte menos profunda do corpo flutuante, isto é, a parte menos profunda vai originar uma menor força de impulsão devido ao menor volume de água deslocado. Conclui-se, assim, que o impulso gerado por um corpo flutuante que sofre uma pequena rotação não é constante. Conseqüentemente, cria-se um momento de reação contrário (com sentido oposto ao da rotação inicial), que atua no sentido de repor o corpo na posição inicial [10].

Conhecendo o valor da rotação necessária para gerar um momento contrário que iguale o momento causado pela ação estática em questão, devido a uma carga ou momento, é possível calcular a inclinação gerada [10].

$$M_s = M_{estabilizador} \quad (2)$$

Em que,

$M_s$  - momento devido à solicitação;

$M_{estabilizador}$  - momento estabilizador devido às pressões hidrostáticas.

Um corpo flutuante é designado como estável caso o momento gerado pela pressão de água seja suficiente para conduzir o corpo novamente à posição de equilíbrio inicial [10].

Assim, a estabilidade pode ser definida como a condição de um corpo voltar à posição de equilíbrio inicial. Refere-se que um corpo é estável quando o mesmo volta ao estado de equilíbrio inicial e instável quando este não volta ao estado de equilíbrio inicial [11].

O ponto de intersecção do eixo da estrutura e da linha de ação da força de impulsão é denominado como metacentro.

A estabilidade de uma estrutura flutuante é definida pela distância que existe entre o centro de gravidade e o metacentro, designada por altura do metacentro, GM [10].

Na Fig.12 estão expostas duas estruturas flutuantes, uma com o centro gravidade baixo e outra com o centro de gravidade alto, em que é imposta uma rotação. Devido a essa rotação, o centro de impulsão desloca-se para a direita.

Devido à rotação imposta, tanto a força de Arquimedes que atua no centro de impulsão, como também a força gravítica que atua no centro de gravidade, já não se encontram no mesmo eixo e, consequentemente, surge um momento [10].

Na estrutura da esquerda representada na Fig.12 o metacentro está numa posição superior à do centro de gravidade e, assim, surge um momento estabilizador:

$$M_{estabilizador} = F * a \quad (3)$$

Isto revela que a estrutura é estável e, por esse motivo, volta à posição inicial.

Por outro lado, no corpo da direita a posição do metacentro é inferior à do centro de gravidade e, deste modo, surge um momento desestabilizador:

$$M_{desestabilizador} = F * b \quad (4)$$

Isto significa que se trata de uma estrutura instável, ie, que não volta à posição inicial.

Logo, através do exemplo demonstrado anteriormente, conclui-se que é deveras importante que a posição do metacentro,  $M$ , seja superior à posição do centro de gravidade,  $G$ . Quanto mais elevada for a posição do metacentro em relação ao centro de gravidade, maior é o momento estabilizador e,

consequentemente, mais estável é a estrutura. A distância entre  $G$  e  $M$  é chamada altura metacêntrica,  $GM$ . Como tal, quanto maior for este valor, maior é a estabilidade [10].

A Fig. 13 tem como propósito elucidar o procedimento de cálculo da altura metacêntrica.

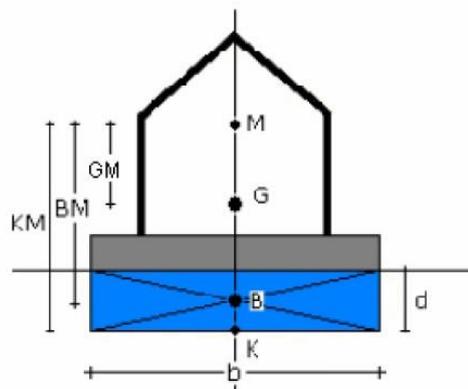


Fig. 13 - Altura metacêntrica [10]

Recorrendo à equação de Scribanti [10] é possível calcular a distância entre o centro de impulsão e a posição do metacentro,  $M$ :

$$BM = \frac{I_w}{\Delta} \times \left(1 + \frac{1}{2} \times \tan^2 \alpha\right) \quad (5)$$

Em que:

$I_w = l \times \frac{b^3}{12}$ , momento de inércia da projeção em planta do flutuador;

$\Delta = l \times b \times d$ , volume de água deslocado;

$\alpha$  – ângulo de rotação.

É possível verificar, através da expressão anterior, que a rotação influencia a altura do metacentro, mas para pequenas rotações, cujo ângulo seja inferior a dez graus, a rotação pode ser desprezada [10], conduzindo à seguinte expressão:

$$BM = \frac{I_w}{\Delta} \quad (6)$$

Para um corpo flutuante com formato retangular o seguinte é verificado:

$$I_{w,rect} = \frac{1}{12} \times l \times b^3 \quad (7)$$

$$\Delta = l \times b \times d \quad (8)$$

resultando na seguinte simplificação:

$$BM = \frac{b^2}{12 \times d} \quad (9)$$

No caso de um flutuador retangular, a estabilidade é diferente nas direções ortogonais, caso o comprimento seja diferente da largura. O corpo é menos estável na direção de menor comprimento [10].

Tratando-se de um flutuador quadrado, a posição do centro de impulsão encontra-se a meia altura da parte submersa deste.

$$KB = \frac{1}{2} \times d \quad (10)$$

A distância entre a parte inferior do flutuador e a posição do metacentro é:

$$KM = KB + BM = \frac{b^2}{12 \times d} + \frac{1}{2} \times d \quad (11)$$

Por fim, a altura metacêntrica, GM, é calculada com:

$$GM = KM - KG = \frac{b^2}{12 \times d} + \frac{1}{2} \times d - KG \quad (12)$$

Determinada a altura metacêntrica, a rotação imposta pelo carregamento pode ser calculada.

Sendo assim, o momento estabilizador é:

$$M_{estabilizador} = F \times a \quad (13)$$

Em que:

F- força gravítica/força de impulsão.

a - distância que depende do ângulo de rotação e da altura metacêntrica:

$$a = \sin(\alpha) \times GM \quad (14)$$

O que resulta no  $M_{estabilizador}$ :

$$M_{estabilizador} = F \times \sin(\alpha) \times GM \quad (15)$$

Quando a rotação é o resultado de um momento que está atuar no corpo, o momento estabilizador é igual ao momento imposto. Logo, a rotação resultante pode ser calculada da seguinte forma:

$$\sin(\alpha) = \frac{M}{F \times GM} \quad (16)$$

Os cálculos efetuados têm em conta a formulação geral, devido ao formato adotado para os flutuadores. A descrição efetuada anteriormente constitui um exemplo que se destina a esclarecer e a contribuir para uma melhor compreensão dos conceitos inerentes aos corpos flutuantes.

# 2

## DESCRIÇÃO GERAL DA OBRA

### 2.1. LOCALIZAÇÃO DA OBRA

A nova travessia pretende ligar a Ribeira do Porto à Ribeira de Gaia, sendo que a localização mais favorável para este efeito, no caso da margem do lado do Porto, é desde as imediações da Praça da Ribeira até ao Cais da Estiva, incluindo este. No caso da margem de Gaia, a outra extremidade da travessia localizar-se-ia na Avenida Diogo Leite, mais concretamente a montante do Cais de Gaia, ligeiramente a oeste da Praça “Sandeman”, em Vila Nova de Gaia. Esta zona de possível ligação trata-se daquela que mais favorece este tipo de ponte, devido às condicionantes existentes. Ou seja, é aquela que proporciona o menor desenvolvimento da ponte e ao mesmo tempo profundidades aceitáveis para a continuidade do canal de navegação do rio Douro (garante profundidades mínimas de circulação no canal do rio Douro junto à margem do lado do Porto), embora com algumas alterações no formato do canal de navegação.

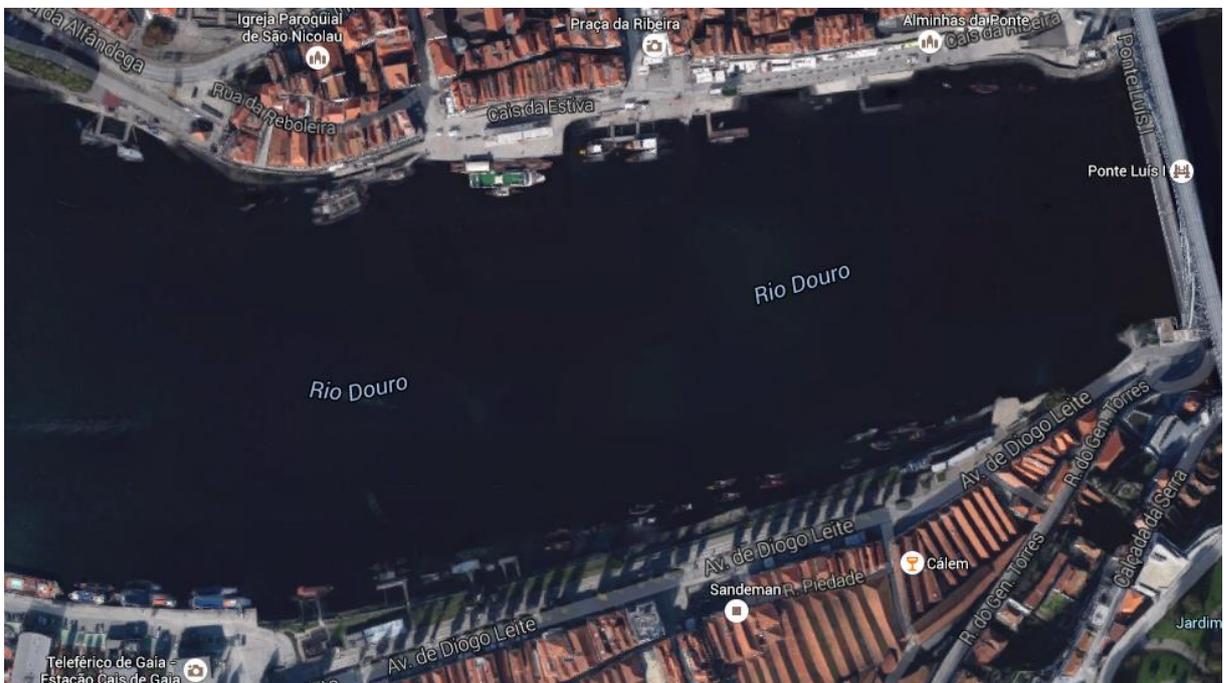


Fig. 14 - Localização da obra [Google Maps]

### 2.1.1. PRAÇA DA RIBEIRA

A Praça da Ribeira é considerada como uma das mais antigas praças da cidade do Porto, tendo origem medieval. Foi reconhecida, durante vários séculos, como o centro da cidade invicta, devido à existência do porto de rio no seu limite sul, que alimentava a atividade económica e o desenvolvimento do Porto como uma cidade comercial.



Fig. 15 - Localização da Praça da Ribeira e do Cais da Estiva [Google Maps]

Após a construção do Porto de Leixões e da Praça Nova, atualmente conhecida por Praça da Avenida dos Aliados, o centro da cidade deslocou-se da Ribeira para norte, o que originou uma gradual degradação e decadência da Praça da Ribeira. Na década de 70, do século XX, com a candidatura do Centro Histórico a Património da Humanidade é posto em prática, pelo Comissariado para a Renovação Urbana da Área da Ribeira/Barredo, um plano de recuperação e revitalização. Dentro deste contexto de renascimento da Ribeira, surgem numerosos bares e restaurantes, tornando esta zona um polo de animação noturna, bem como num dos principais locais de visita do Porto [12].

### 2.1.2. LARGO MIGUEL BOMBARDA

Embora a toponímia oficial homenageie Miguel Bombarda, o médico e republicano português, este largo é trivialmente reconhecido como Praça “Sandeman”. A existência da casa Sandeman no lado sul da praça, originou esta renomeação do espaço. Este edifício tem alojado, no seu interior, a história da produção de Vinho do Porto, pela casa Sandeman.

Com a inauguração em 2003 do “Cais de Gaia”, espaço de animação noturna e de restauração, e com o ímpeto causado pelos cruzeiros turísticos através do Douro esta zona dinamizou-se.



Fig. 16 - Praça Sandeman/Largo Miguel Lombarda [Google Maps]

## 2.2. IMPLANTAÇÃO DA PONTE

Inicialmente, foi prevista a instalação de uma abertura na ponte flutuante, localizada no interior dos limites do canal de navegação existente. Não obstante, tal opção implicaria custos inoportáveis, tendo em conta a natureza pedonal da travessia. Assim, considera-se que a manutenção do traçado existente do canal do Douro é uma impossibilidade, devido à natureza do projeto, ou seja, trata-se de uma ponte pedonal flutuante, com uma abertura para navegação. Logo, perante as circunstâncias, foram elaboradas várias opções, em que todas têm em conta a alteração do formato do canal de navegação do rio Douro, em planta. A largura da abertura para a circulação das embarcações, ao longo de todo o seu comprimento de passagem, é de 14 metros, superior à largura permitida pelas eclusas a montante (12.1 metros). Para além disto, são mantidas as restantes características do canal de navegação do rio Douro.

O traçado da ponte, quer em planta, quer em perfil, necessita de especial atenção dado que ambos estão intrinsecamente ligados.

Em planta, a ligação entre as duas praças seria a opção ideal, mas tendo em conta a existência do rio da Vila e a oportunidade de aproveitamento do Cais da Estiva do lado do Porto decidiu-se alterar a localização da travessia. Tal foi feito com o intuito de aproveitar o Cais da Estiva, que juntamente com a construção de um paredão formam uma barreira que delimita fisicamente a passagem das embarcações. É de conhecimento geral que a passagem de uma embarcação por uma eclusa não acontecesse sem ocorrer o choque entre a embarcação e as paredes que delimitam a passagem. Logo, torna-se evidente que as paredes que delimitam uma eclusa são sujeitas a um grande desgaste com as inúmeras passagens de embarcações. Para evitar que tais choques e desgaste ocorram diretamente sobre a ponte flutuante, decidiu-se delimitar, fisicamente, a passagem das embarcações, através do aproveitamento do Cais da Estiva e a construção de um paredão. Assim, cria-se uma abertura para a circulação das embarcações, permitindo a continuidade da circulação sobre a ponte pedonal, através de uma ponte móvel, que liga o Cais da Estiva ao paredão.

Torna-se assim evidente que a Praça da Ribeira não é a localização mais vantajosa, mas sim o Cais da Estiva. Após a consideração de várias alternativas para o traçado em planta, sendo estas exibidas na Fig. 17 e o estudo do perfil de profundidades do rio em cada uma delas, optou-se pelo traçado representado na Fig. 18.

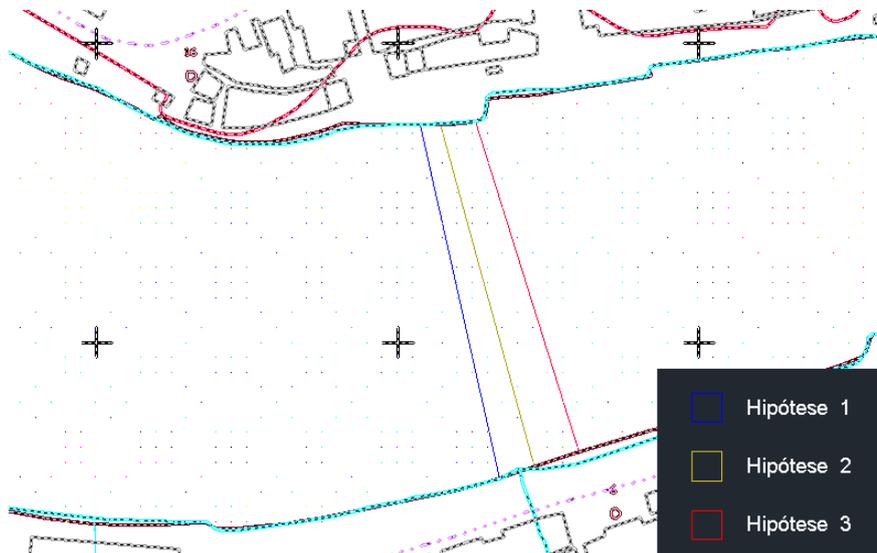


Fig. 17- Varias hipóteses de traçado em planta

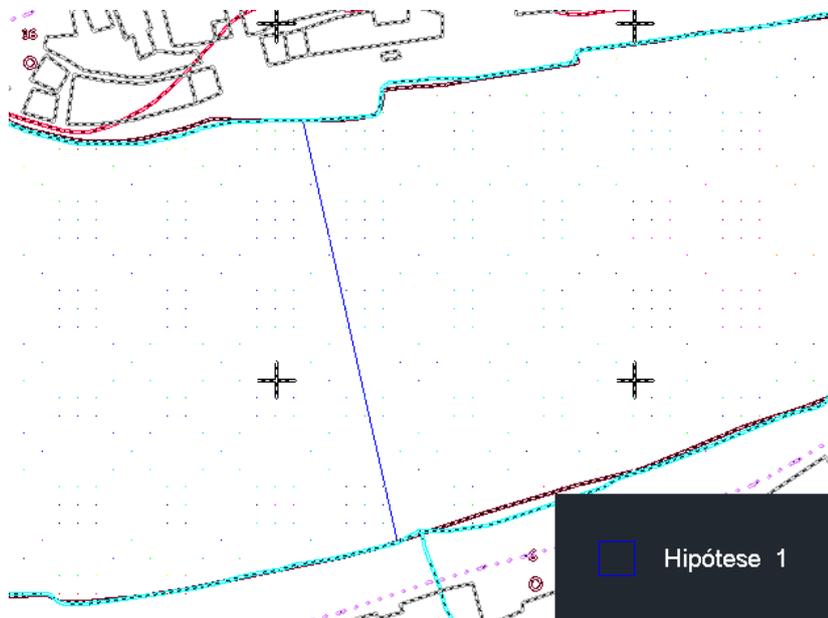


Fig. 18- Hipótese escolhida para o traçado final

A hipótese 1, representada na Fig.19, é a mais vantajosa em termos de profundidades, isto é, a zona de passagem das embarcações possui profundidades significativas ao longo de toda a sua extensão, sendo estas sempre superiores à profundidade mínima exigida ao canal de navegação do rio Douro.

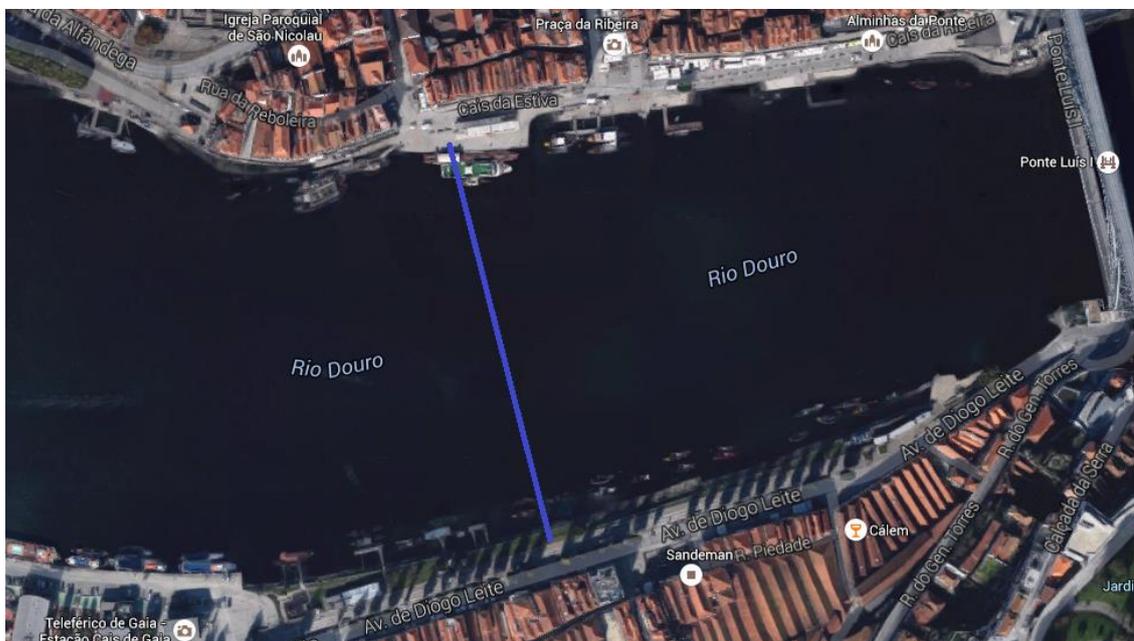


Fig. 19 - Localização da hipótese final em planta

A implantação adotada, representada na Fig. 19, leva a que a nova travessia do rio apresente um comprimento de 243 metros. Assim, é possível utilizar o Cais da Estiva, no lado portuense, e do lado de Gaia, o Largo Miguel Bombarda, mais precisamente a marginal adjacente ligeiramente a oeste da Praça Sandeman.

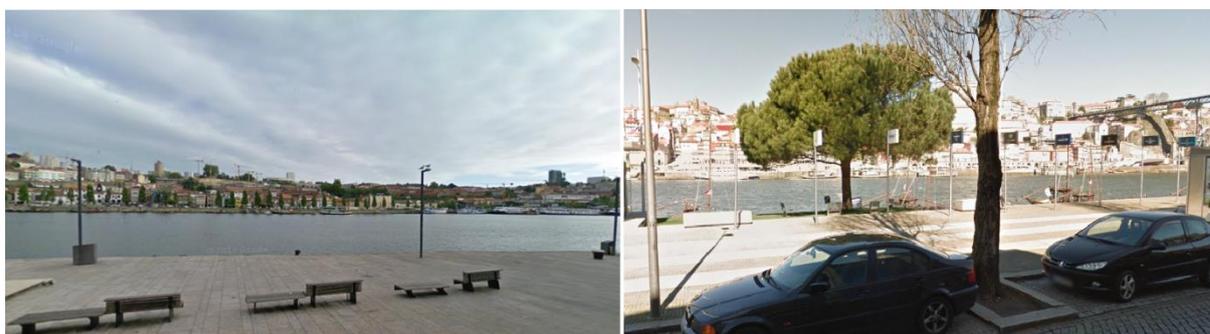


Fig. 20 - Localização das margens, Cais da Estiva (esquerda) e Marginal adjacente à Praça Sandeman (direita)  
[Google Maps]

O perfil de profundidades do rio da opção adotada também é favorável, como já foi referido, possuindo uma profundidade máxima de -10.4 metros, sendo esta sensivelmente constante, conforme se mostra na Fig.21.



Fig. 21 - Perfil de profundidades

### 2.3. CARACTERÍSTICAS DO LOCAL

Tendo em conta a morfologia da travessia que se pretende implantar e as condicionantes existentes, tais como as características de cada uma das margens e do rio do ponto de vista topográfico, geológico, hidrológico, urbano e de navegação, importa analisar o local selecionado para implantação, tendo em atenção, o que foi referido anteriormente. Estes conhecimentos são fundamentais para que seja possível uma seleção inteligente e responsável da melhor localização e para que esta seja fundamentada.

#### 2.3.1. TOPOGRAFIA

Com o fornecimento de elementos topográficos caracterizadores da zona de implantação, que podem ser encontrados no Anexo A1, através da disponibilidade das Câmaras Municipais do Porto e de Vila Nova de Gaia foi possível caracterizar, em termos topográficos, as localizações mencionadas anteriormente.

As duas praças apresentam, sensivelmente, uma cota altimétrica similar, embora em ambas as praças, quer nos cais adjacentes, o terreno não seja perfeitamente plano. No largo Miguel Bombarda, margem de Gaia, o extremo norte do cais tem cota 3.90 metros. Este ponto dista 30 metros da Avenida Diogo Leite, que limita o Largo a norte, e onde a cota é 4.05 metros. A cota mantém-se constante até ao local de implantação da margem da ponte.

No lado oposto, a Praça da Ribeira tem uma cota de 4.15 metros na zona marginal e chegando aos 8 metros no extremo norte, na ligação à Rua São João. Por outro lado, ao longo do Cais da Estiva, as cotas vão crescendo à medida que se avança para jusante, apresentando 5.55 metros de cota no local onde hoje se situam equipamentos de restauração junto à base do Muro dos Bacalhoeiros. Deste ponto ao rio distam cerca de 40 metros, e a cota no final é 4.25 metros. A cota de instalação no Cais da Estiva da ponte pedonal é de 4 metros.

#### 2.3.2. GEOLOGIA

Embora as Câmaras Municipais do Porto e Vila Nova de Gaia tenham fornecido dados geológicos de que dispunham, nomeadamente a Carta Geológica de Vila Nova de Gaia e a Carta Geotécnica do Porto, as informações não são muito minuciosas para permitir a caracterização rigorosa do terreno, sendo que estes dados estão presentes no Anexo A2.

Através da análise dos dados fornecidos foi possível concluir que na Ribeira do Porto existem solos residuais graníticos compactos, como também maciços rochosos de muito fraca qualidade, onde o

granito de grão médio a fino impera. Apurou-se a existência do rio da Vila, um afluente do Douro, atualmente entubado, que nasce na zona da Praça de São João e desagua no centro da Praça da Ribeira. Em Gaia, a partir das informações disponíveis, embora pouco detalhadas, apenas se conseguiu aferir que a zona é constituída por granito de grão médio.

Em relação ao leito do rio, informação que é de grande importância para a execução das ancoragens e/ou estacas telescópicas, foi impossível obter informações precisas sobre a zona em estudo. A Administração dos Portos do Douro, Leixões e de Viana do Castelo SA (APDL) disponibilizou os seus dados sobre sondagens efetuadas no troço final do rio Douro, mas que distam a centenas de metros da zona em análise. De acordo com informação fornecida pelo engenheiro Adão da Fonseca, apesar dos estudos serem superficiais, o leito do Douro nesta área é essencialmente rochoso, existindo pequenos aterros pontuais. Estas informações são, no entanto, bastantes imprecisas e genéricas pelo que é preciso recorrer a novos e extensos levantamentos geológicos, para garantir uma escrupulosa caracterização do subsolo, antes de se avançar com um projeto final para esta nova travessia.

### 2.3.3. HIDROLOGIA

O Douro é o rio português que possui o maior caudal. As informações recolhidas através da Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo SA (APDL) referem que o Douro apresenta um caudal médio de 714 m<sup>3</sup>/s, e que este rio possui um caudal, que em média é ultrapassado durante 10 dias por ano, de 3200 m<sup>3</sup>/s. Historicamente, o maior caudal registado até à atualidade foi o caudal da cheia de 1909, cujo valor é de 19500 m<sup>3</sup>/s, em que a superfície do rio ficou a cerca de 1.60 metros do tabuleiro inferior da ponte Luiz I [13].



Fig. 22 - Cheia de 1909 [13]

Através da dissertação de Alves Ribeiro [4], foi possível obter a carta de profundidades do rio Douro no troço em análise, sendo que esta informação se encontra disponível no Anexo A3.

Estas informações são de vital importância dado a tipologia da ponte em questão.

A preia-mar e baixa-mar possuem cotas médias que são respetivamente 2.20 metros e 0.00 metros, sendo que estes valores estão de acordo com o nível médio das águas do mar.

#### 2.3.4. INSERÇÃO URBANA

A localização da nova travessia possui um elevado valor patrimonial, paisagístico e, sobretudo, histórico, sendo de vital importância, que esta seja bem conseguida do ponto de vista estético. Para além de sóbria, não deve retirar a panorâmica de uma margem para a outra e nem obscurecer a importância histórica do local. Tratando-se de uma ponte de natureza pedonal é preciso um cuidado especial na escolha dos pavimentos, guarda-corpos e iluminação.

Tendo em consideração que se trata de uma ponte pedonal é fundamental considerar o efeito dos eventos sociais que marcam a agenda envolvente, para que seja possível a previsão da frequência do seu uso. Embora ambas as margens do rio sejam bastante frequentadas, a densidade populacional no espaço público não é muito elevada. Contudo, a ocorrência de eventos específicos, como a noite de São João, de 23 para 24 Junho, marcados pela aglomeração de pessoas nesta zona da cidade implica dimensionar a ponte para esta utilização.

#### 2.3.5. NAVEGAÇÃO

O rio Douro tem um enquadramento histórico que ressalva a grande importância, sobretudo, enquanto via de comunicação da zona litoral e interior do país. Já não possui a mesma importância que em tempos detinha no transporte de mercadorias e bens transacionáveis, mas possui uma elevada influência no turismo desta região. Logo, é de grande importância a manutenção das características funcionais do canal de navegação, ou seja, é fulcral garantir a continuidade das limitações de navegabilidade do rio Douro.

O rio Douro ostenta uma extensão total de 213 quilómetros, desde a foz do Douro até à foz do rio Águeda, no limite com o Douro Internacional. O canal de navegação do rio Douro tem uma largura balizada entre os limites de 40 e 60 metros em leito rochoso e aluvionar respetivamente, o canal possibilita uma profundidade mínima de -4.2 metros até ao Pinhão e a circulação de navios com 2500 toneladas e a altura máxima de 11.8 metros, limite imposto pela cota do tabuleiro inferior da ponte Luiz I. É de salientar a existência de cinco eclusas ao longo do rio Douro, todas com a mesma largura (12.1 metros).

Tendo conta a importância da manutenção das condições de navegabilidade do rio Douro, decidiu-se efetuar a abertura para a passagem das embarcações do lado da Ribeira do Porto, de forma a garantir a continuidade da circulação das embarcações, viabilizando, assim, a continuidade da profundidade mínima do canal, embora a sua distribuição espacial seja ligeiramente alterada na zona de implantação da ponte pedonal, sendo visível essa alteração na Fig.23.

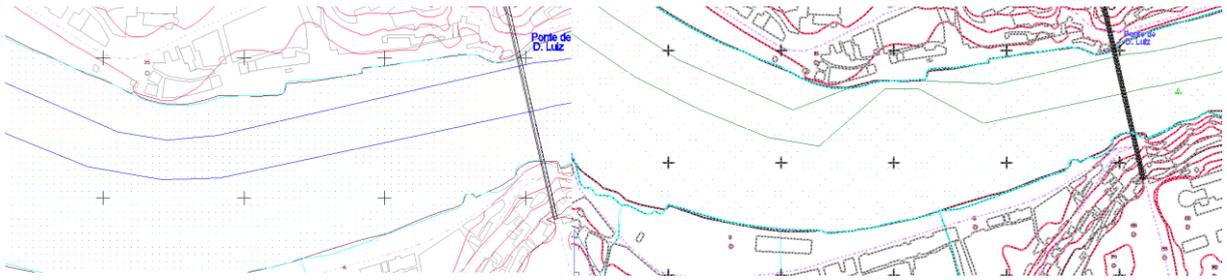


Fig. 23 - Atual canal de navegação do rio Douro (esquerda) e proposta para novo canal de navegação do rio Douro (direita)

A abertura para a passagem das embarcações tem uma largura de 14 metros. A opção de efetuar a abertura do lado de Gaia foi considerada, embora tenha sido inviável, devido à insuficiência de profundidades mínimas.



Fig. 24 - Perfil de profundidades com a localização da proposta para o novo canal de navegação do rio Douro

#### 2.4. CONDICIONANTES DAS PONTES PEDONAIAS

Na formulação das pontes flutuantes é preciso ter em conta certas regras de boa prática na definição destas estruturas.

Em relação à largura do tabuleiro é recomendável que uma ponte pedonal possua uma largura entre 2.50 m e 3.00 m se apenas ceder acesso a pedestres. Usa-se larguras superiores a 3.50 m, se a obra possuir uma ciclovia [15].

Tratando-se apenas de um acesso pedestre, a largura útil do tabuleiro adotada foi de 3.7 m, pois trata-se de uma ponte pedonal cuja travessia é sobre o rio Douro, entre duas margens emblemáticas. E como tal, deve possuir largura suficiente para uma circulação desimpedida dos utentes, ou seja, trata-se de uma travessia localizada num local emblemático com grande afluência de turistas, sendo esta a causa para o sobredimensionamento da largura útil da travessia.

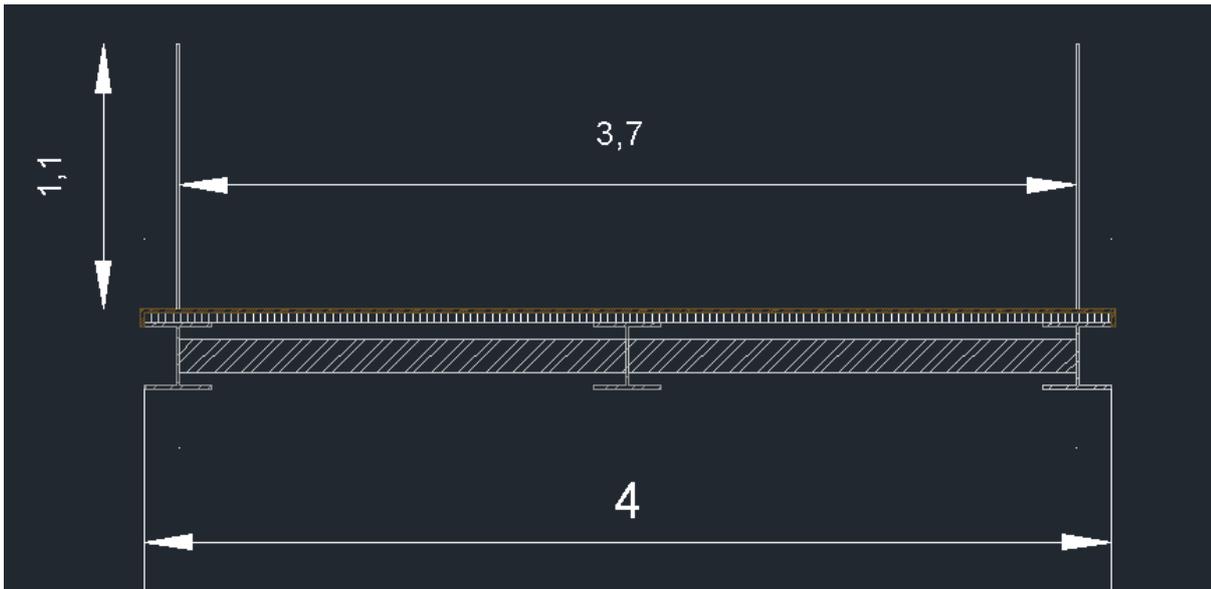


Fig. 25 – Largura útil do tabuleiro da ponte pedonal

Quanto aos guarda-corpos, a sua altura é de aproximadamente 1.10 metros, de forma a garantir conforto e segurança aos pedestres quando utilizam este acesso.

## 2.5. CONCEÇÃO INICIAL DA ESTRUTURA

Tendo em conta que a construção da ponte flutuante como um só elemento pode causar um exagero na sua rigidez e a diminuição da redundância da estrutura, isto é, em caso de ocorrência de um desastre toda a ponte flutuante fica em causa, optou-se por conceber a ponte flutuante como um conjunto de vários elementos independentes.

Analisaram-se dois cenários, sendo o primeiro constituído por uma ponte flutuante composta por três elementos e o segundo cenário centrado numa ponte flutuante composta por cinco elementos. Em termos de segurança e redundância a segunda opção, isto é, a ponte flutuante constituída por cinco elementos independentes é a mais vantajosa. Todavia, em termos de custos, esta é, claramente, a mais desfavorável, devido ao aumento significativo do custo nas estacas telescópicas, sistema utilizado para manter o alinhamento longitudinal e transversal das células (sendo que a sua análise e caracterização é efetuada posteriormente neste capítulo). Tendo em conta os aspetos referidos anteriormente, considerou-se que uma ponte flutuante constituída por três elementos independentes oferece garantias em termos de redundância da estrutura global, sendo, igualmente, a mais vantajosa em termos financeiros.

Assim, a ponte flutuante é constituída por três elementos independentes, designados por células, sendo estes três similares entre si. Cada uma das células é constituída por um tabuleiro, por carlingas, por treliças, por flutuadores e por estacas telescópicas. O comprimento de cada célula é de 71.14 metros.

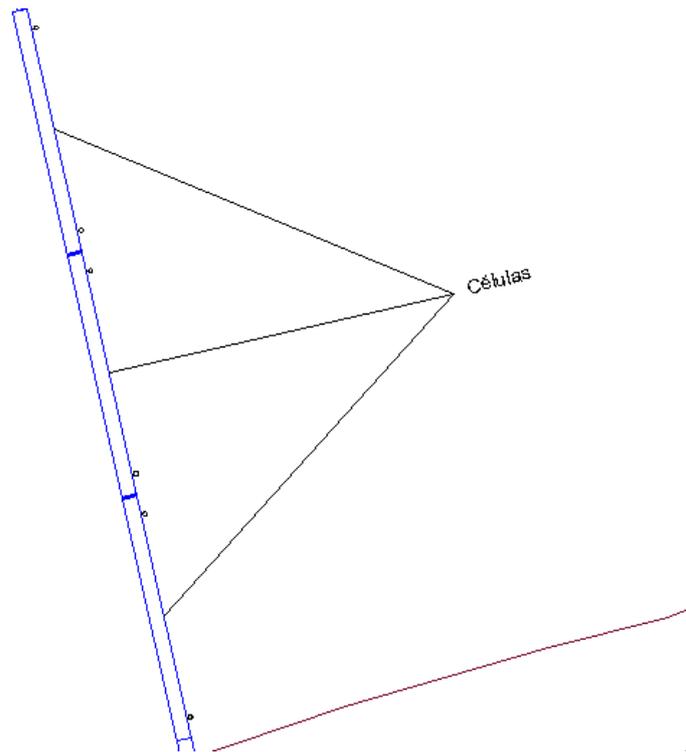


Fig. 26 – Ponte flutuante constituída por três células

A ponte pedonal é constituída por vários elementos, que devem coexistir corretamente, para que o conjunto funcione em plenas condições. A sua componente estética não pode ser ignorada, para que a sua inserção paisagística seja bem conseguida. Para tal, teve-se particular atenção ao formato dos flutuadores, à ligação dos flutuadores ao tabuleiro e ao formato do tabuleiro.

Os vários elementos que constituem a ponte pedonal são:

- Ponte móvel;
- Paredão;
- Ponte flutuante (Cada célula):
  - Tabuleiro;
  - Treliça;
  - Flutuadores do tabuleiro;
  - Estacas telescópicas.
- Elemento de ligação a margem de Gaia;
- Elemento de ligação entre o paredão e a ponte flutuante;
- Ligação entre células.

Os vários elementos que constituem a travessia são descritos em seguida.

### 2.5.1. PONTE MÓVEL

Embora as pontes flutuantes permitam a travessia dos cidadãos, estas também podem criar uma barreira que impede a passagem do tráfego marítimo. Nestes casos, torna-se necessário dotar a ponte de uma abertura para navegação que permita a passagem de embarcações. O tamanho da abertura

varia, conforme o tipo e o tamanho das embarcações que necessitam de passar pela mesma. Neste caso, como já foi referido anteriormente neste capítulo, o tamanho da abertura já possui um valor mínimo referente às eclusas a montante. A localização da abertura depende do perfil de profundidades inerente à respetiva localização da ponte, isto é, existe uma profundidade mínima necessária para permitir a navegação de uma embarcação de certas dimensões. Tendo em conta as limitações já existentes no canal de navegação do rio Douro escolheu-se a margem do lado do Porto para efetuar a abertura para navegação, pois possui profundidades suficientes para tal. Neste projeto, houve o especial cuidado em manter as características do canal de navegação do rio Douro, à exceção, da deslocalização do canal ao longo de uma pequena extensão, como se ilustra nas Fig.23 e Fig.27.



Fig. 27 – Perfil de profundidades com a nova localização do canal de navegação (azul); Localização do paredão (branco) e localização do atual canal de navegação (vermelho)

Tendo em devida conta que uma das condicionantes do projeto é a continuidade da circulação náutica ao longo do rio Douro, a construção de uma ponte móvel na margem do Porto torna-se fundamental. A finalidade da ponte móvel é ligar a margem do Porto ao paredão e permitir a passagem do tráfego marítimo, consoante a sua posição.

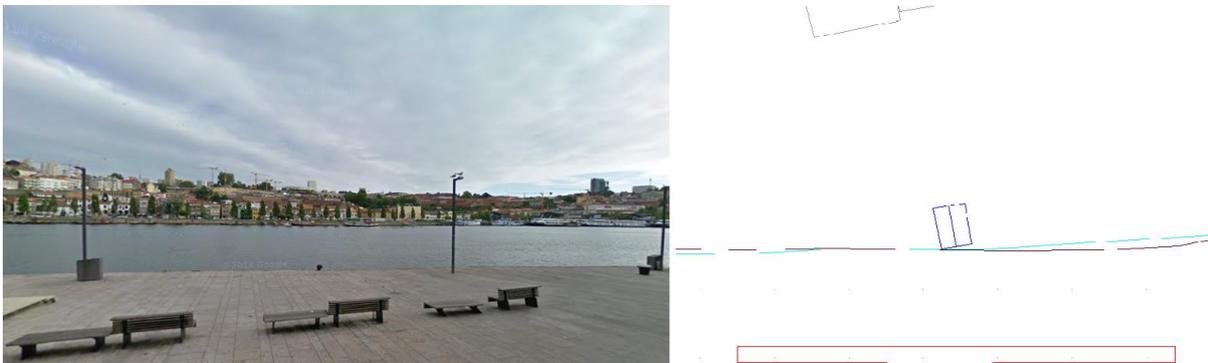


Fig. 28 – Localização da ponte móvel no Cais da Estiva (pormenor e em planta)

Em relação à natureza da ponte móvel, ela pode ser deslizante, de basculamento vertical ou horizontal e de enrolamento. A diversidade oferecida neste campo constitui uma vantagem, permitindo a adoção de uma solução que melhor se adequa ao caso em questão.

Os critérios usados na escolha da tipologia de ponte móvel a adotar são a menor alteração paisagística que esta origina, bem como a minimização do espaço ocupado e alterado na instalação da ponte móvel no Cais da Estiva.

Tendo em conta os critérios anteriormente mencionados, optou-se por uma ponte móvel similar à existente no bairro de Paddington, no centro de Londres, ou seja, trata-se uma ponte móvel de enrolamento, sendo esta ilustrada na Fig. 29.

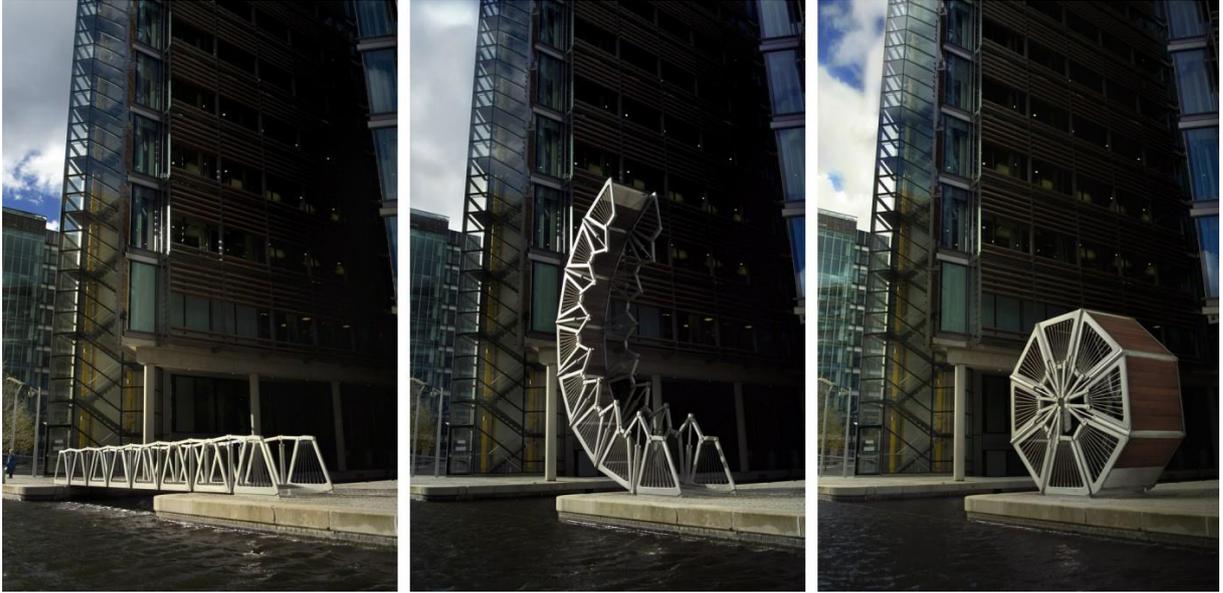


Fig. 29 – Ponte móvel de enrolamento de Paddington, Thomas Heatherwick [35]

A ponte móvel de enrolamento é aberta utilizando um conjunto de macacos hidráulicos fixados na plataforma de madeira da ponte. À medida que se enrola, cada um dos seus oito segmentos levanta simultaneamente, fazendo-a rolar até que as duas extremidades se toquem e formem um círculo. Este processo pode ser interrompido em qualquer ponto ao longo da sua manobra, seja no início, quando parece que ele está pairando ou a meio caminho de sua abertura.

A ponte de enrolamento foi criada em 2004, no âmbito do desenvolvimento do projeto de escritórios e retalho Grand Union Canal, com o objetivo de fornecer uma ponte pedonal aos utentes. O design inovador das peças triangulares individuais, juntamente com cilindros hidráulicos ocultos fornece à ponte móvel a capacidade de se enrolar para deixar as embarcações circular, bem como a aptidão de permanecer desenrolada para fornecer uma passagem aos pedestres [35].



Fig. 30 - Ponte móvel de enrolamento de Paddington (pormenor dos cilindros hidráulicos), Thomas Heatherwick

A largura do tabuleiro é de 3 metros, o comprimento da ponte basculante é de 21 metros, como se mostra no Anexo B1.

#### 2.5.2. PAREDÃO

Como é do conhecimento geral, a passagem de embarcações em eclusas é algo que não ocorre sem o choque entre a embarcação e as paredes que delimitam a eclusa. Uma das razões para a existência do paredão foi delimitar a passagem náutica e garantir resistência desta delimitação face ao desgaste resultante da passagem de embarcações.

A ligação entre a ponte móvel e a ponte flutuante decorre ao longo do paredão. Tal conjuntura permite que as características de ambas as pontes sejam conciliadas. Ou seja, para o pleno funcionamento da ponte móvel de enrolamento, ambas as margens que esta liga têm de ter a mesma cota. Tal é conseguido através do paredão cuja superfície superior se encontra à cota 4.00 metros. O paredão é constituído por betão C30/37, em que as fundações são executadas com recurso a estacas. A largura do paredão é de 2.5 metros na generalidade da sua extensão.

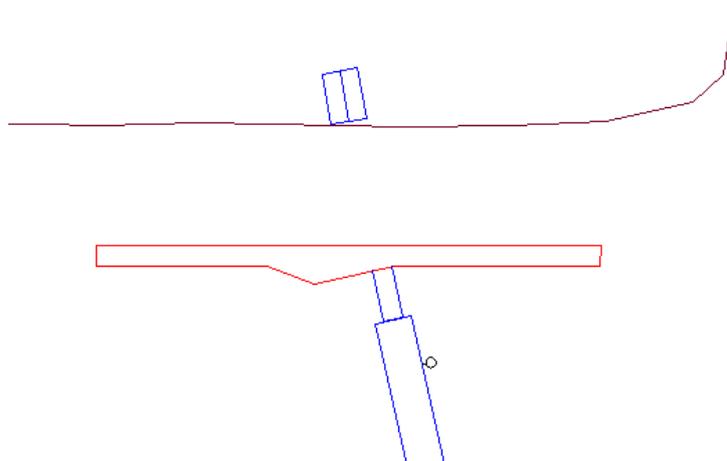


Fig. 31 – Localização em planta do paredão (vermelho)



Fig. 32 – Localização do paredão (branco) no perfil de profundidades

## 2.5.3. PONTE FLUTUANTE - CÉLULA

### 2.5.3.1. Tabuleiro

Em termos estruturais o tabuleiro é constituído por três vigas longitudinais, em perfil I, ligadas transversalmente por perfis retangulares vazados, de forma a conferir rigidez ao tabuleiro.

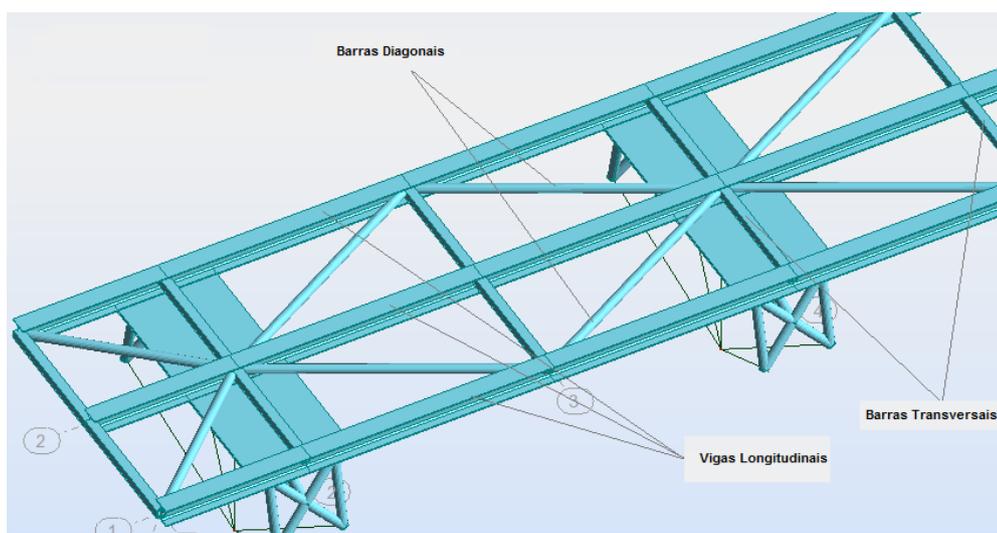


Fig. 33 – Constituição do tabuleiro e identificação dos seus elementos

Para garantir uma melhor coesão e rigidez do tabuleiro introduziu-se, diagonalmente, perfis circulares vazados, como se ilustra na Fig. 33.

As cargas verticais provocadas pela utilização da ponte flutuante chegam às vigas longitudinais, através de grades de piso, ou seja, o carregamento efetuado em qualquer ponto da grade de piso conduz, obviamente, a um carregamento nas vigas longitudinais. A capacidade de carga das grades de piso é verificada no Capítulo 5.

Em termos de acabamentos estes são em madeira lamelada colada com colunas de iluminação de 1.80 metros, como se ilustra na Fig. 34.

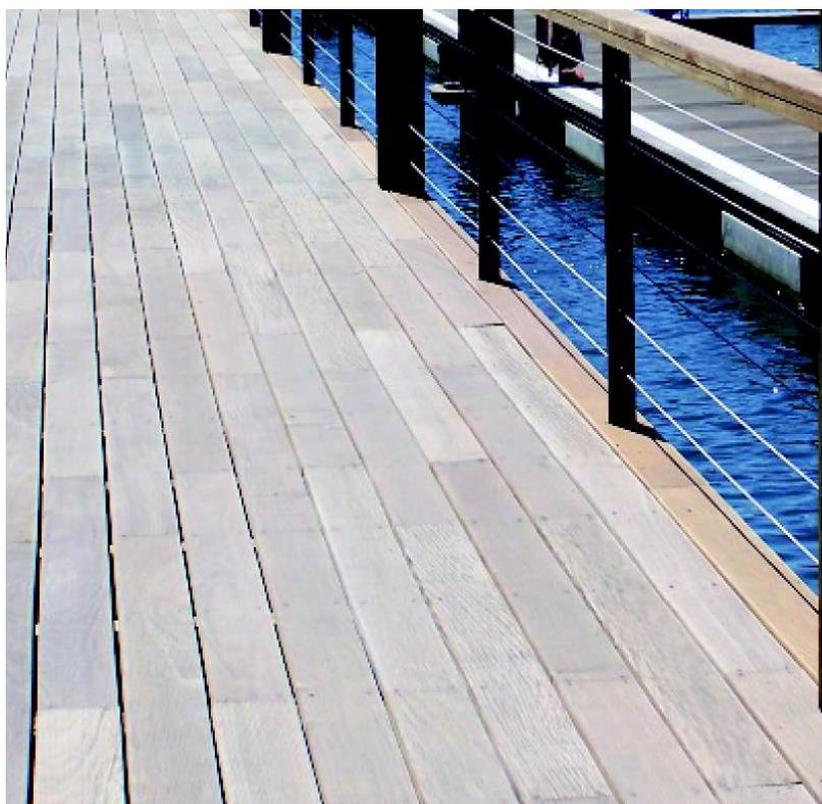


Fig. 34 – Acabamentos em madeira lamelada

#### 2.5.3.2. Treliça

A função deste elemento é fazer a ligação entre o tabuleiro, mais especificamente a carlinga, e o flutuador. Este elemento garante uma elevação do tabuleiro, face à superfície do rio de 1.1 metros. Para conseguir tal efeito é preciso garantir que todos os 6 graus de liberdade sejam fixados ao longo da elevação e, conseqüentemente, que este elemento seja pelo menos isostático, quer externamente quer internamente.

Em termos estéticos, este elemento deve ser bem conseguido, para que a sua introdução paisagística seja agradável. Assim, a forma deste elemento foi cuidadosamente estudada, sendo representada nas Fig. 35, Fig. 36 e Fig. 37.

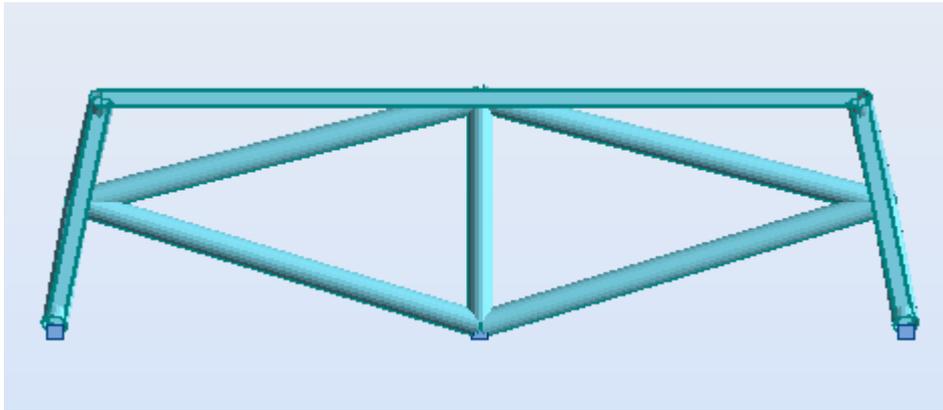


Fig. 35- Vista frontal da treliça

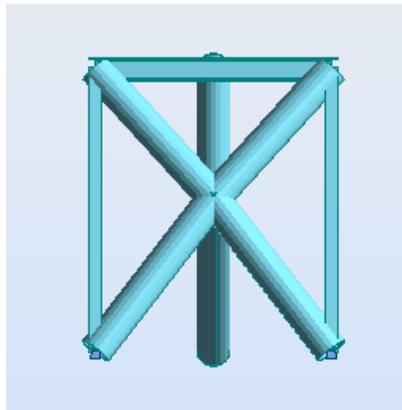


Fig. 36 - Vista lateral da treliça

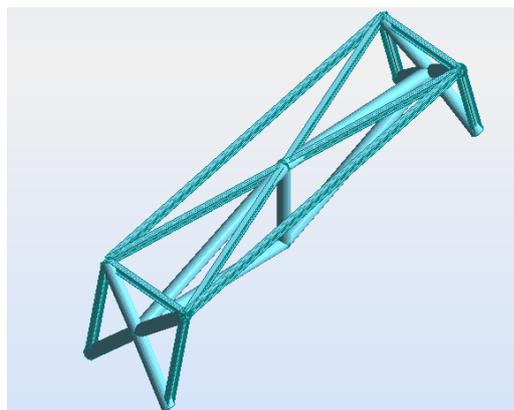


Fig. 37- Treliça em 3D

Tal como foi descrito anteriormente, a treliça liga o tabuleiro, mais especificamente a carlinga, ao flutuador, como se mostra na Fig. 38.

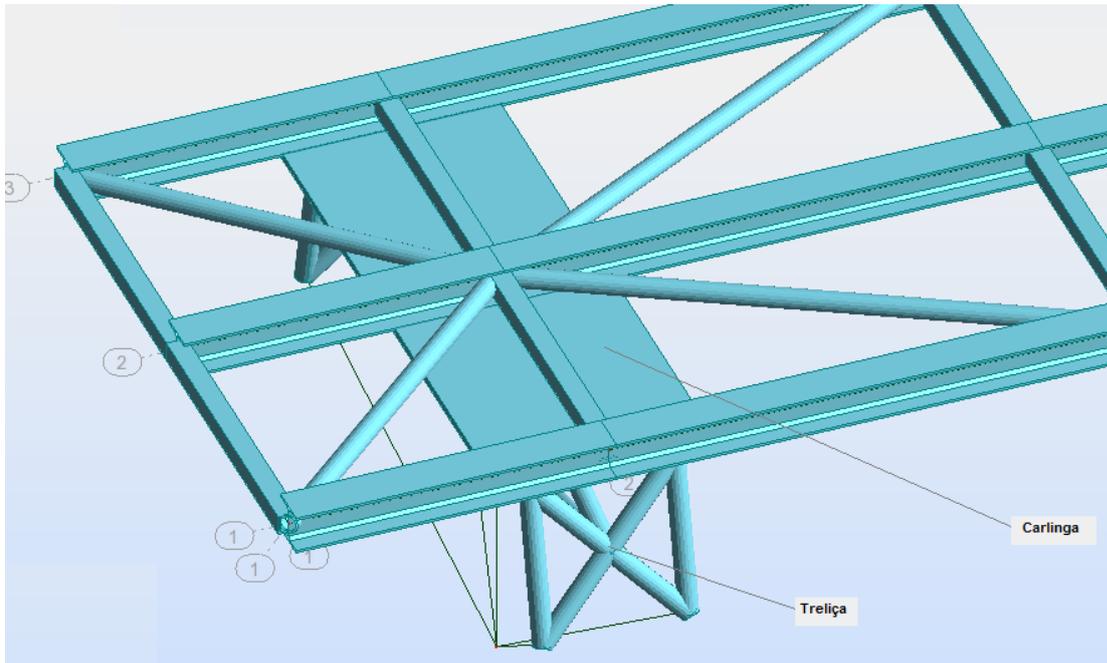


Fig. 38 - Identificação da carlinga e treliça, bem como a sua ligação ao tabuleiro

A função da carlinga é assegurar a continuidade dos momentos fletores nos alinhamentos, onde existem flutuadores, bem como assegurar uma redução significativa das rotações diferenciais ao longo da sua extensão e restringir a torção das vigas longitudinais.

#### 2.5.3.3. Flutuadores do tabuleiro

Este elemento tem como objetivo garantir o suporte das cargas verticais atuantes no tabuleiro, tendo em consideração que com a variação da carga vertical instalada no flutuador existe, naturalmente, a variação da altura submersa do flutuador.

Como já referido anteriormente, uma ponte flutuante pode ser de dois tipos: o primeiro em que a ponte possui um flutuador contínuo, e o segundo em que exhibe flutuadores individuais. A decisão entre estes dois tipos sujeita-se às condições do local de implantação e as funções reservadas para a ponte flutuante. Apenas desta forma se pode tomar uma escolha fundamentada em relação à tipologia da ponte flutuante.

De seguida são apresentadas as principais diferenças que tornam estes dois modelos distintos entre si [1]:

- A resistência à rotação lateral é maior no primeiro tipo do que no segundo. Isto se deve ao facto de que numa ponte de flutuador contínuo a área em contacto com a água é relativamente maior e a distância do metacentro ao centro de gravidade é também superior.
- O primeiro tipo oferece uma maior facilidade relativamente à construção uma vez que se tratam de secções com as mesmas dimensões ligadas umas às outras. No segundo tipo as peças são rebocadas enquanto flutuam até ao local de construção. As pontes de flutuadores separados são constituídas por duas partes, pelos flutuadores e pelas vigas. De modo a fazer a

assemblagem das vigas sobre os flutuadores é necessária uma grua flutuante o que implica um preço de construção mais elevado. Mas em termos de controlo da qualidade dos materiais é preferível uma ponte em que se efetua a assemblagem dos vários elementos no local, pois tal significa que estes foram produzidos em locais em que se controlam exemplarmente as suas características.

- Relativamente à influência das ondas, o facto de a ponte de flutuador contínuo estar completamente em contacto com a água é significativamente prejudicial uma vez que impede o fluxo natural da água. Por outro lado a solução de flutuadores separados faz com que aproximadamente 50 a 70% da ponte não esteja em contacto com a água e, como tal, esta não seja afetada pela ação das ondas. Em locais em que se têm correntes nos dois sentidos a escolha por pontes de flutuadores individuais é a única possível, pois a opção por pontes de flutuador contínuo acarreta custos muito elevados, devido ao esforço de corte atuante.
- A influência do vento na ponte de flutuadores individuais é bastante superior à do outro tipo, uma vez que existe uma grande área de contacto, pois o tabuleiro está completamente acima do nível da água. A ação do vento numa ponte de flutuador contínuo depende da altura do guarda corpos, ou seja, é limitada.
- A força a atuar nos cabos de amarração ou outro sistema de manutenção do alinhamento transversal e longitudinal de uma ponte de flutuadores separados é maior, dado que está sujeita a forças maiores, provocadas pelo vento.

Tendo em conta todos os aspectos referidos anteriormente, optou-se por uma ponte flutuante de flutuadores individuais, pois esta opção é aquela que mais se adequa ao local de implantação, devido ao duplo sentido da corrente do rio Douro (pode surgir uma corrente com dois sentidos simultaneamente) e a ondulação do rio não ser significativa.

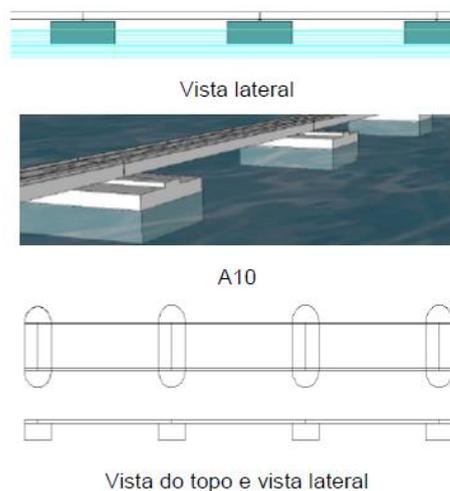


Fig. 39- Esquema de uma ponte flutuante com flutuadores individuais

O flutuador pode ser constituído por betão, por tubos de aço ou compósitos e representa a fundação de uma ponte flutuante. O flutuador é o que mantém a ponte à superfície e responde como um apoio elástico, admitindo que o volume submerso por unidade de força é constante. É preciso ter em consideração que a secção transversal e longitudinal de um flutuador influencia a sua resposta em termos de impulso hidrostático e estabilidade do flutuador.

Optou-se pela combinação de diferentes materiais na composição do flutuador, de forma a obter as propriedades pretendidas para este, tais como estanquidade, rigidez, resistência ao ambiente químico, resistência ao embate (sem perda imediata de capacidade de impulsão) e ao desgaste como é descrito no Capítulo 3.

Os diferentes materiais referidos anteriormente são:

- Aço;
- Espuma de polietileno de célula fechada;
- Poliuretano elastómero de grande resistência a impactos.

O formato e constituição dos flutuadores tiveram como inspiração a tecnologia usada nas boias de sinalização de alto mar.

Segue-se, na Fig.40 a apresentação do flutuador em planta. O formato do flutuador em alçado e os respetivos cortes transversais são exibidos nas Fig.41 e Fig.42, respetivamente

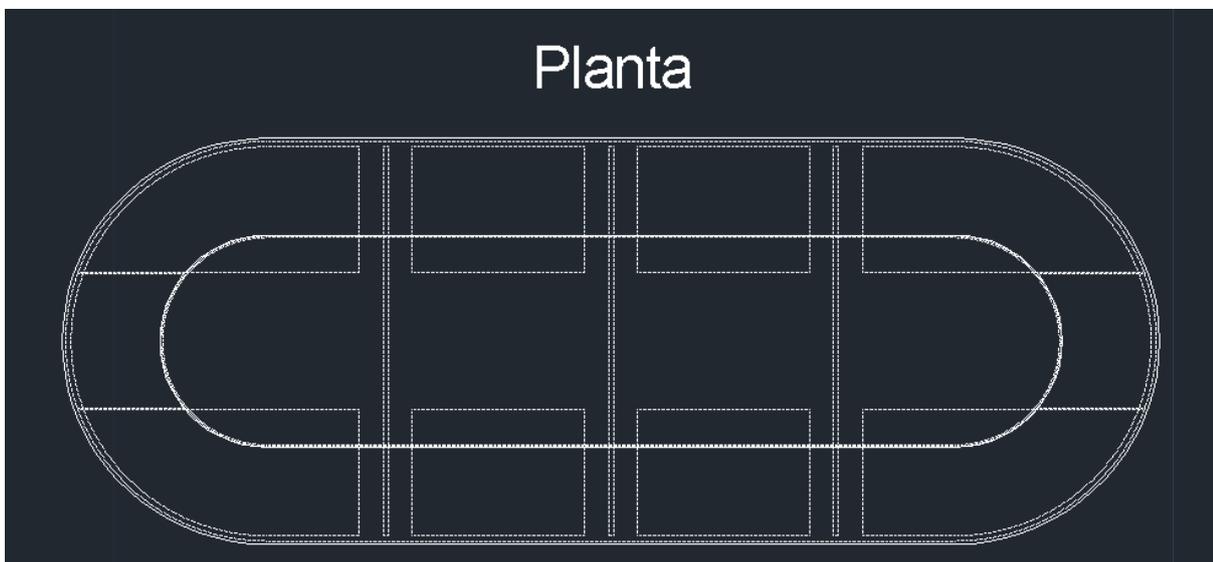


Fig.40 - Flutuador em planta

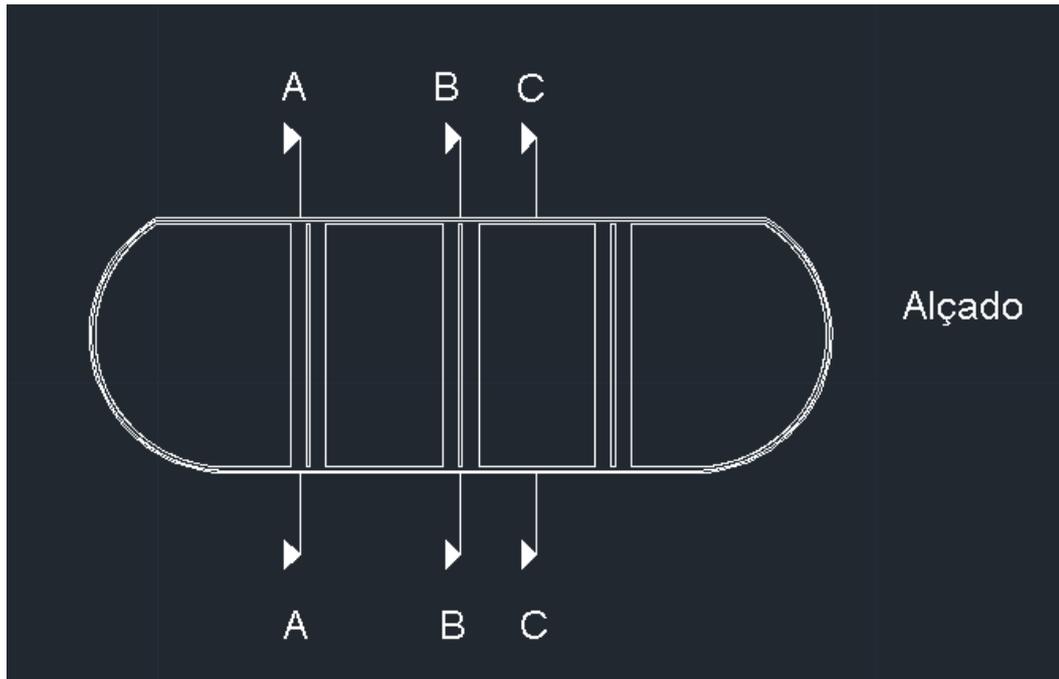


Fig. 41 - Flutuador em alçado

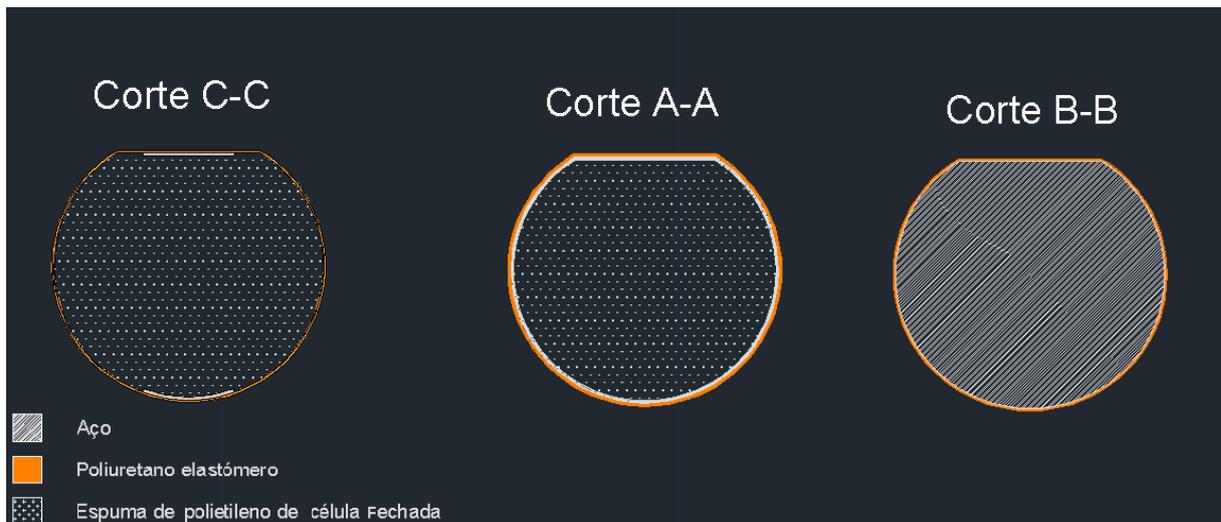


Fig.42 – Cortes do flutuador

Optou-se por estas configurações, quer em secção transversal, quer em planta e em alçado, de forma a dotar a ponte de maior estabilidade, pois existe um incremento de área projetada, o que resulta no aumento da rigidez e no aumento da capacidade de impulsão. Estes dois fenómenos acoplados implicam o aumento da estabilidade da ponte.

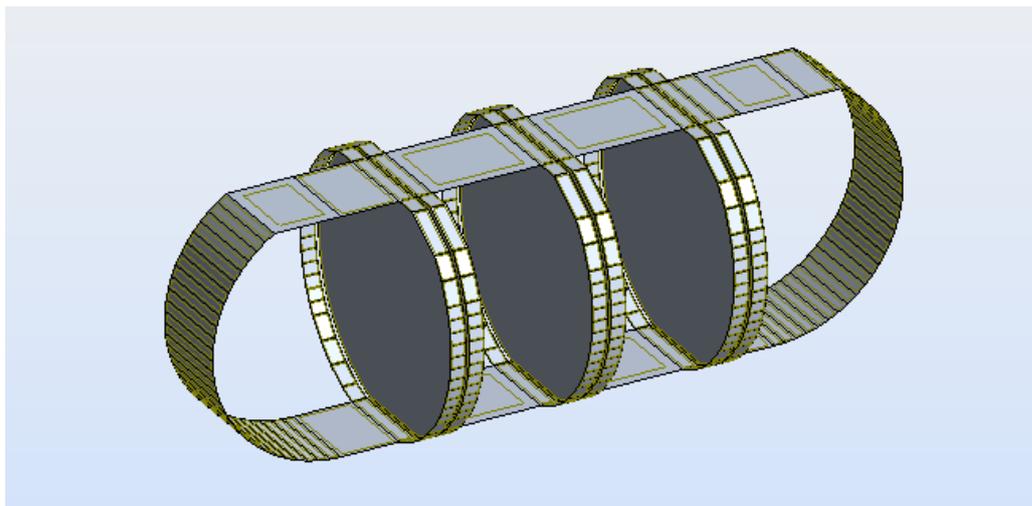


Fig. 43 - Flutuador do tabuleiro - esqueleto em aço (3D)

Na Fig.43 é apresentado o formato do esqueleto em aço do flutuador do tabuleiro, sendo o interior do flutuador preenchido por espuma de polietileno de célula fechada. A superfície exterior do flutuador é constituída por poliuretano elastómero

#### 2.5.3.4. Estacas telescópicas

O sistema de manutenção do alinhamento transversal e longitudinal da ponte flutuante tem como propósito manter o alinhamento da ponte ou que a sua alteração seja muito limitada. Uma ponte flutuante que comece a deslizar para uma posição que não é a suposta pode, não só originar danos nela própria, como traduzir-se em perdas de vidas humanas.

De forma a manter o alinhamento transversal e longitudinal da ponte flutuante, das três células, é preciso dotar a ponte de um sistema que restringe a alteração dos alinhamentos.

Foram considerados vários sistemas de manutenção do alinhamento, como um sistema com apenas ancoragens (usando cabos na ligação à ponte flutuante), um sistema misto com ancoragens e estacas telescópicas e um sistema com apenas estacas telescópicas.

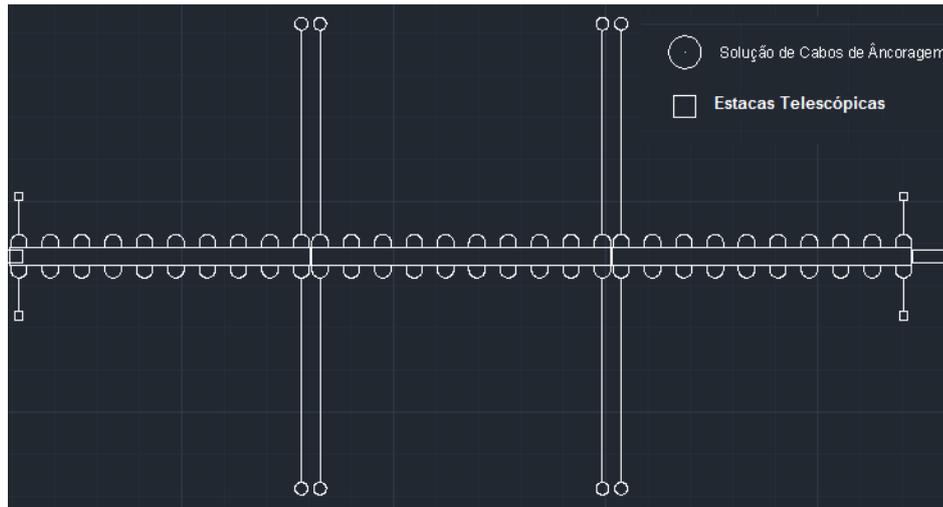


Fig. 44 - Solução mista de manutenção do alinhamento transversal e longitudinal das células

Depois de testados os vários sistemas descritos anteriormente, conclui-se que a variação da cota da superfície do rio é demasiado significativa para o correto funcionamento dos cabos das ancoragens, visto que estes apenas entram em funcionamento após significativos deslocamentos das células, sendo estes transversais e longitudinais. E quando entram em funcionamento causam rotações longitudinais significativas aos tabuleiros das células. O mesmo acontece no sistema misto. A opção por um sistema com apenas estacas telescópicas garante uma restrição significativa dos deslocamentos transversais e longitudinais das células, para além de que a inexistência de cabos de ancoragem deixa o leito do rio “limpo”. Em termos estéticos esta solução é simples e altera pouco a paisagem já existente.

O travamento transversal e longitudinal de cada célula é efetuado através de estacas telescópicas, que acompanham a subida e descida do nível do rio. Cada célula tem duas estacas telescópicas, em que o travamento transversal da célula é efetuado por ambas, enquanto o travamento longitudinal é realizado por apenas uma, permitindo, assim, que a variação da temperatura uniforme não cause esforços internos. Tal é conseguido através da ligação entre a estaca telescópica e o tabuleiro, mais precisamente a alma da viga longitudinal. Esta ligação é representada no Anexo B4.

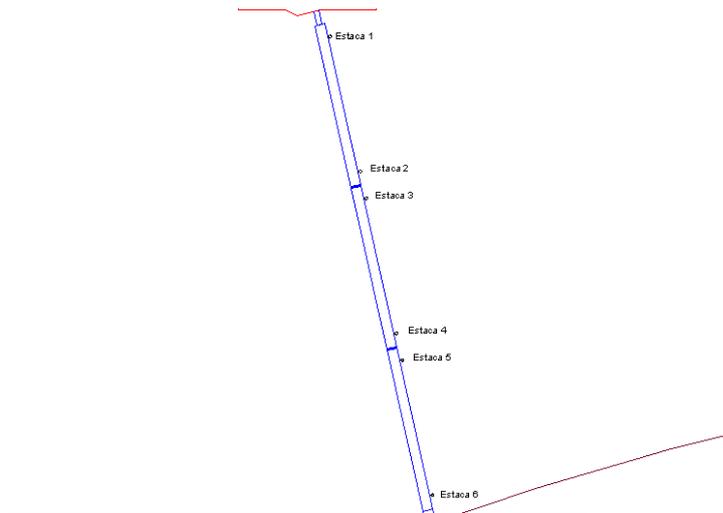


Fig.45 - Solução exclusivamente com estacas telescópicas em planta

As estacas telescópicas que fazem o travamento longitudinal das células são a 1, a 3 e a 6.

A estaca telescópica é constituída por dois perfis tubulares vazados em aço inoxidável. Estes dois elementos têm diferentes funções e, conseqüentemente, diferentes designações, sendo o elemento exterior cravado, daqui em diante designado por elemento cravado, e o interior, o qual altera a sua posição consoante a cota da superfície do rio, denominado elemento deslizante. Existe uma folga entre ambos os elementos, sendo esta protegida por filtros para que não haja a passagem de areias ou de outros detritos. São usados para esse efeito filtros Purtrex [36]. Os dois elementos têm pequenos furos ao longo da sua extensão de forma a garantir a inexistência de uma pressão diferencial entre o exterior e o interior da estaca.

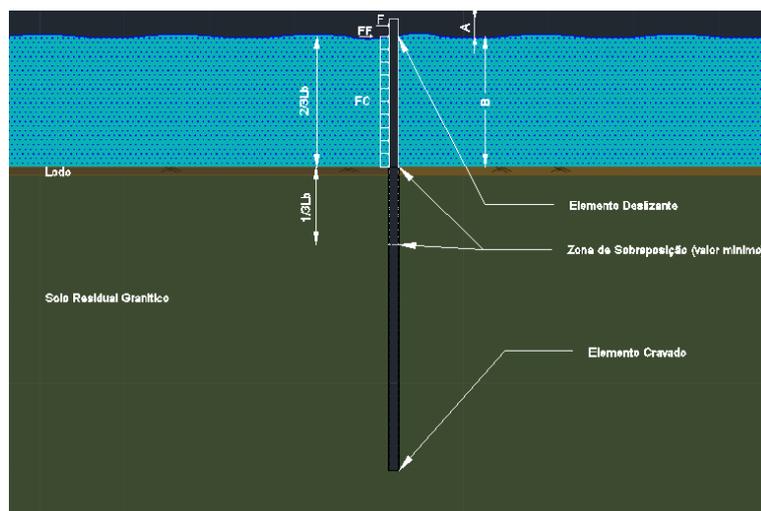


Fig. 46 - Esquema representativo da estaca telescópica em caso de cheia máxima registada até hoje

Para o correto funcionamento da estaca telescópica considera-se que, no pior cenário, no caso de cheia (cota da superfície do rio atinge os 10.2 metros), o comprimento de sobreposição entre o elemento

cravado e o elemento deslizante é igual a um terço do comprimento do elemento deslizante em constante contato com o rio, como se verifica na Fig.46.

O peso do elemento deslizante é suportado pelo flutuador da estaca telescópica, sendo que este se encontra representado no Anexo B3.

#### 2.5.4. ELEMENTO DE LIGAÇÃO À MARGEM DE GAIA

A ponte de acesso é um elemento que se destina, em algumas pontes flutuantes, a estabelecer a ligação entre a parte flutuante da ponte e a margem. Este elemento previne a estrutura de sofrer dano devido à variação da cota da superfície do rio, uma vez que funciona como uma viga simplesmente apoiada com duas articulações planas nas extremidades, impedindo que ocorram forças internas indesejáveis na estrutura. As forças que estão a atuar na ponte de acesso são o peso próprio, revestimentos e a carga devido ao trânsito, neste caso a circulação de pessoas. Quando a ponte flutuante baixa, devido à maré ou em caso de uma seca, a ponte de acesso deve aumentar o seu comprimento para que as extremidades se mantenham nos mesmos planos verticais (como se observa nas Fig. 49 e Fig.50). O mesmo acontece quando a maré sobe ou em caso de cheia. De modo a resolver o que foi referido anteriormente, utiliza-se uma ponte de acesso em que o seu comprimento se altera consoante a cota das duas extremidades.

Por outras palavras, o tabuleiro da ponte de acesso é constituído por dois elementos sobrepostos, em que o elemento interior desliza em relação ao elemento exterior, sendo este deslizamento controlado por um “pino”.

Para além das articulações planas existentes nas extremidades do tabuleiro da ponte de acesso está presente um “pino”, que, com o formato do tabuleiro e dos dois elementos que o constituem, permite ligeiras rotações relativas entre os dois elementos no plano do tabuleiro da ponte de acesso. Os diferentes elementos que constituem o tabuleiro da ponte de acesso são apresentados nas Fig.47 e Fig.48. As posições extremas do tabuleiro da ponte de acesso estão representadas na Fig. 49 e na Fig.50, consoante a cota em que o rio se encontra.

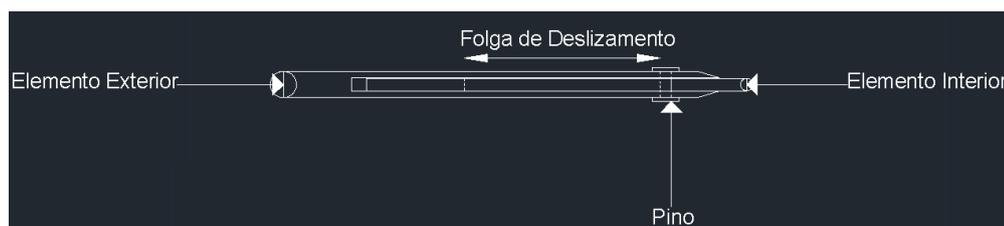


Fig. 47- Elementos constituintes do tabuleiro da ponte de acesso

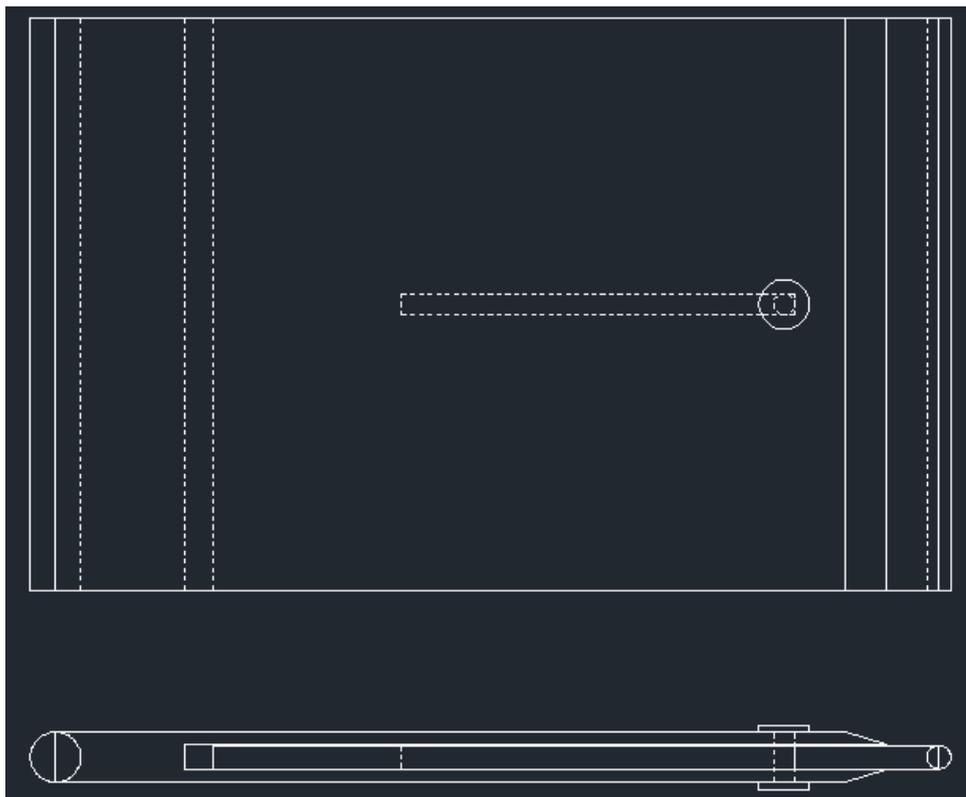


Fig.48 - Ponte de acesso representação do tabuleiro em planta e alçado

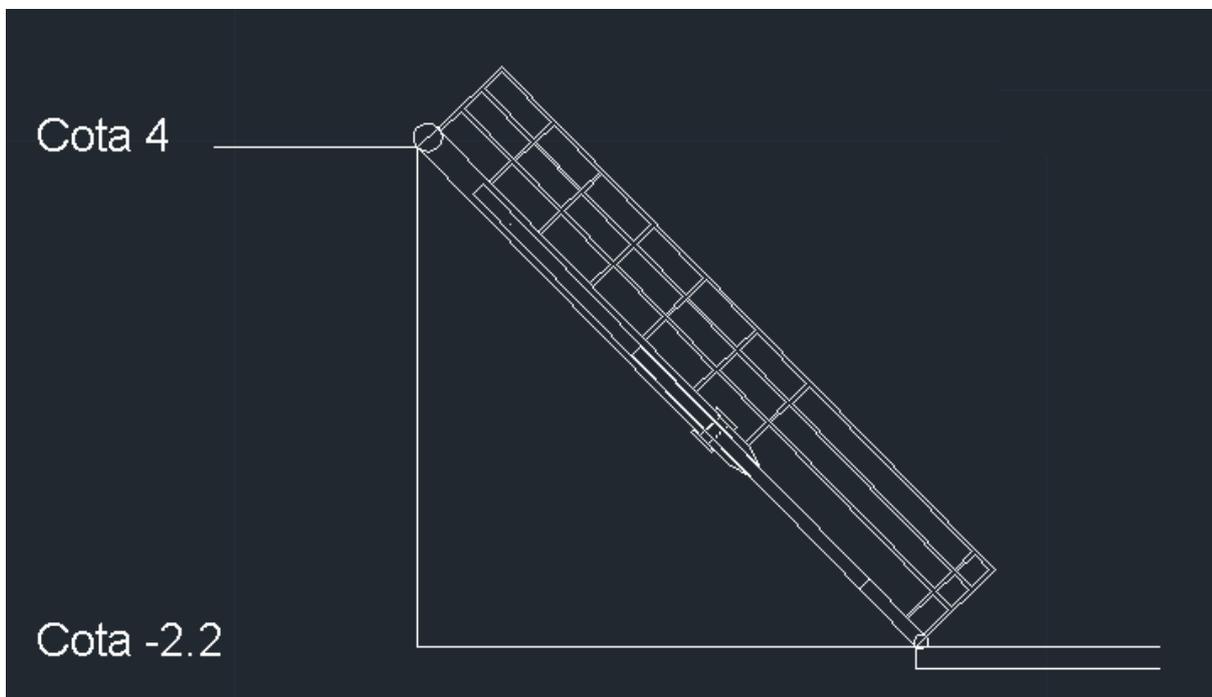


Fig.49- Representação da ponte de acesso em caso de seca

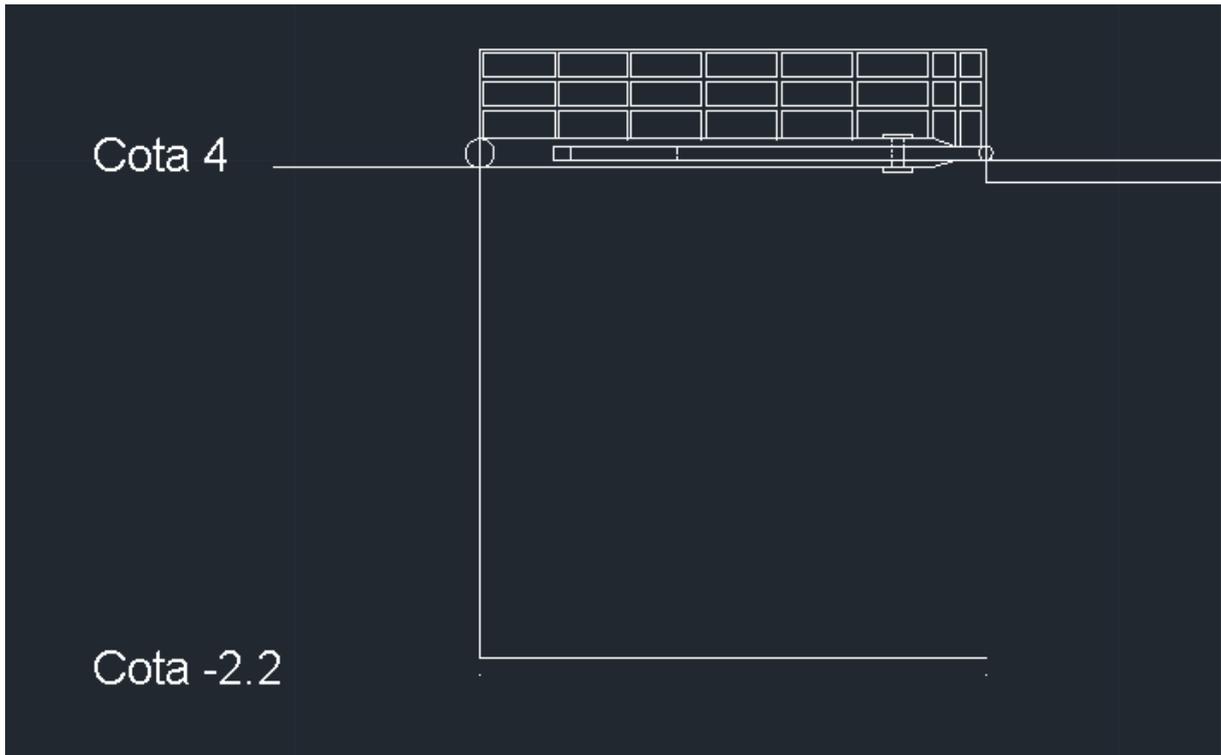


Fig. 50 - Representação da ponte de acesso com ambas as extremidades à mesma cota

Todavia, a ponte de acesso tem a capacidade de ser desmontável, isto é, a partir do momento em que a superfície da água do rio esteja perto de atingir a cota 4.0 metros, a ligação da ponte de acesso à margem de Gaia é desligada, ficando a ponte de acesso acoplada à célula.

O cálculo da folga de deslizamento é efetuado no Capítulo 5. A representação da ponte de acesso é realizada no Anexo B5. O tabuleiro desta ligação é constituído por aço inoxidável, mais precisamente pela liga 1.4462, de acordo com o Capítulo 3.

#### 2.5.5. ELEMENTO DE LIGAÇÃO ENTRE O PAREDÃO E A PONTE FLUTUANTE

A ligação entre o paredão e a ponte flutuante é igual à ligação entre a margem de Gaia e a ponte flutuante.

No entanto, a ponte de acesso é dotada pela capacidade de ser desmontável, ou seja, a partir do momento que a superfície da água do rio esteja perto de atingir a cota 4.0 metros, a ligação da ponte de acesso ao paredão é desligada, ficando a ponte de acesso acoplada à célula.

O tabuleiro desta ligação é constituído por aço inoxidável, mais precisamente pela liga 1.4462, de acordo com o Capítulo 3.

#### 2.5.6. LIGAÇÃO ENTRE CÉLULAS DA PONTE FLUTUANTE

A ligação entre células da ponte flutuante segue o mesmo princípio usado para a ligação entre a margem de Gaia e a ponte flutuante, ou seja, o tabuleiro desta ligação é constituído por dois elementos e por um “pino”.

A ligação entre as células deve garantir a independência das mesmas, contudo, para tal, tem de se ter em conta a diferença de cotas que pode existir entre as suas extremidades, causada pelas ondas ou pelo carregamento imposto às células, entre outras ações. As condicionantes referidas anteriormente são ultrapassadas através não só da colocação de articulações planas nas extremidades da ligação entre as células como também devido à existência de uma folga de deslizamento entre os elementos exterior e interior (que constituem o tabuleiro da ligação entre células), permitindo assim o aumento ou diminuição do comprimento da ligação entre células.

Esta ligação deve permitir a rotação relativa entre as extremidades das células em relação ao plano que as contém (através do “pino” e ao formato dos elementos). Os deslocamentos longitudinais estão impedidos, como já foi referido pelas estacas telescópicas. Esta ligação absorve o efeito da temperatura uniforme sobre as células através do deslizamento entre o elemento exterior e interior da ligação entre células.

O formato da ligação descrita anteriormente é representado na Fig.51, na Fig. 52 e na Fig.53.

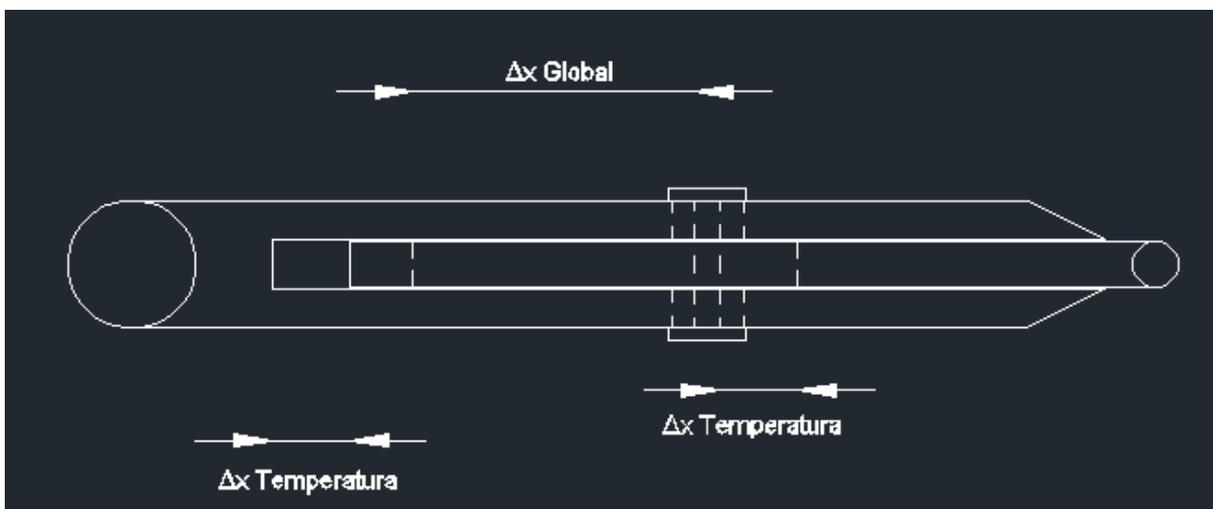


Fig. 51 - Ligação entre células em alçado

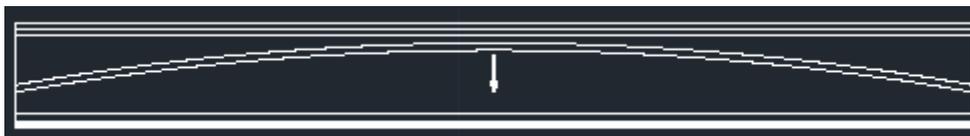


Fig. 52 – Ligação entre células em planta

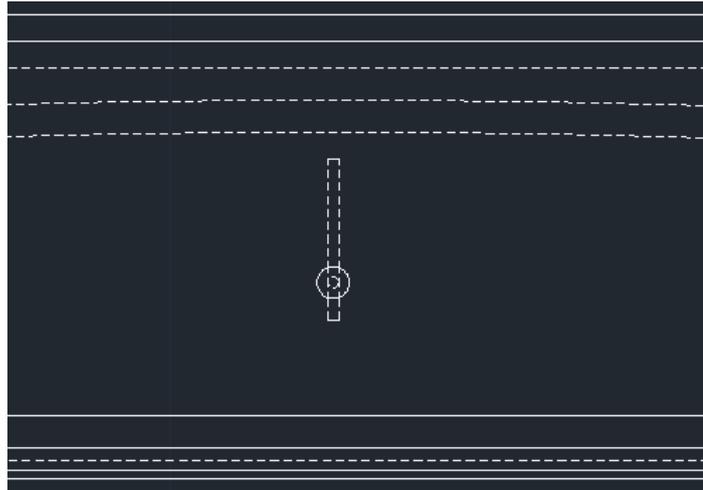


Fig. 53 - Ligação entre células em planta (pormenor)

O cálculo do  $\Delta x$  *Temperatura* e do  $\Delta x$  *Global* é apresentado no Capítulo 5. A ligação entre células encontra-se representada no Anexo B6.

O tabuleiro desta ligação é constituído por aço inoxidável, mais precisamente pela liga 1.4462, de acordo com o Capítulo 3.

A solução completa em planta é apresentada na Fig. 54.

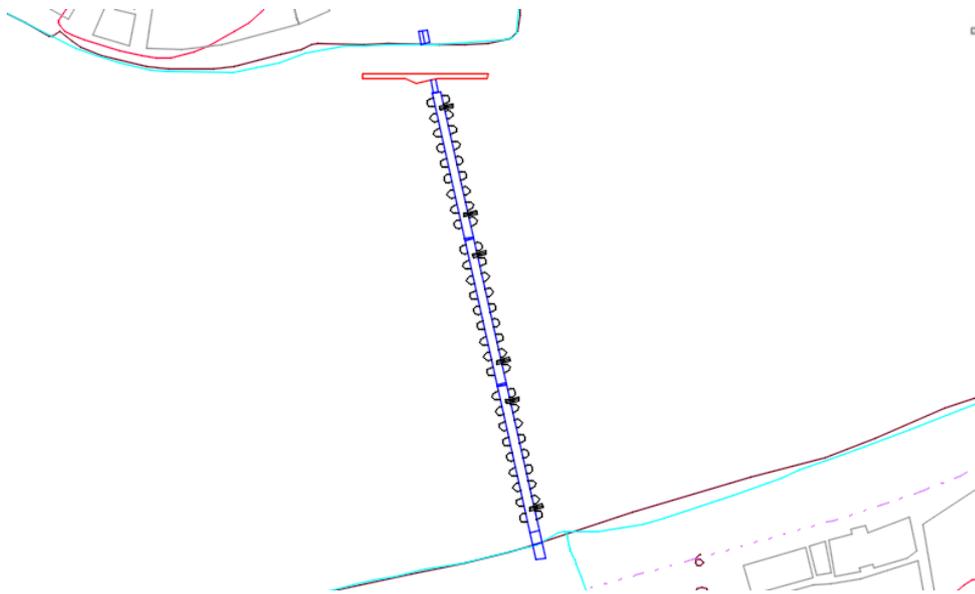


Fig. 54 - Solução geral em planta

É de salientar que a ponte pedonal, cujo comprimento total é de 243 metros, apenas possui 214.22 metros flutuantes. A continuidade da circulação náutica é garantida através da construção de um paredão e a instalação de uma ponte móvel.



# 3

## MATERIAIS

### 3.1. DESCRIÇÃO GERAL

A descrição e definição dos materiais utilizados na ponte em estudo são essenciais para uma melhor percepção do trabalho que foi desenvolvido.

Neste estudo, os materiais são escolhidos tendo em consideração a segurança da obra de arte, mas tendo sempre presente os custos associados.

Os materiais adotados neste projeto são os seguintes:

- O tabuleiro é constituído por perfis e tubos em aço laminado a quente (soldados posteriormente);
- As estacas telescópicas são constituídas por aço inoxidável;
- As ligações entre células, a ligação entre o paredão e a ponte flutuante e a ligação da ponte flutuante à margem de Gaia são constituídas por aço inoxidável;
- O paredão é constituído por betão e a suas fundações efetuadas por estacas;
- Os flutuadores são constituídos por aço laminado a quente, por espuma de polietileno de célula fechada e poliuretano elastómero.

### 3.2. Aço

O aço é uma liga metálica formada principalmente por ferro e carbono, cuja percentagem pode variar entre 0.008% e 2.110%. Esta variação altera substancialmente as características do metal.

Por volta de 1700 a.C., o ferro começou a ser trabalhado pelo homem, mas apenas no século XVII foram acrescentadas pequenas quantidades de carbono como componentes das ligas metálicas. No entanto, só com a Revolução Industrial, e com o conseqüente desenvolvimento, é que o aço se tornou, até aos dias de hoje, o material metálico mais preponderante na construção civil. [16]

Atualmente, o aço é definido através de mais de três mil composições químicas, e devido às suas vantagens, esta liga sobrepõe-se ao ferro na grande maioria das aplicações.

Uma grande vantagem do aço é a sua resistência mecânica. Mais especificamente, o aço possui uma resistência entre 360 MPa e 550 MPa para o aço macio, podendo atingir os 1850 MPa para aços de alta resistência. O seu módulo de elasticidade também é alto, rondando valores de 200 GPa para os aços mais comuns. Estas características permitem que este material seja utilizado na construção de estruturas leves e esbeltas [16].

Outra vantagem do aço é a sua isotropia, isto é, independentemente da direção considerada, as suas propriedades mecânicas são constantes, respondendo de forma idêntica quando submetido à tração ou compressão.

Na Fig.55 apresenta-se uma tabela do Eurocódigo 3, Parte 1-1, onde se encontram os valores nominais de tensão de cedência,  $f_y$ , e tensão de cedência última,  $f_u$ , para aços laminados a quente.

| Norma e classe de aço | Espessura nominal $t$ do componente da secção [mm] |                            |                                |                            |
|-----------------------|--|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
|                       | $t \leq 40$ mm                                     |                            | $40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm |                            |
|                       | $f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]                         | $f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]     | $f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
| <b>EN 10025-2</b>     |  |                            |                                |                            |
| S 235                 | 235  | 360                        | 215                            | 360                        |
| S 275                 | 275  | 430                        | 255                            | 410                        |
| S 355                 | 355  | 490                        | 335                            | 470                        |
| S 450                 | 440  | 550                        | 410                            | 550                        |
| <b>EN 10025-3</b>     |  |                            |                                |                            |
| S 275 N/NL            | 275  | 390                        | 255                            | 370                        |
| S 355 N/NL            | 355  | 490                        | 335                            | 470                        |
| S 420 N/NL            | 420  | 520                        | 390                            | 520                        |
| S 460 N/NL            | 460  | 540                        | 430                            | 540                        |
| <b>EN 10025-4</b>     |  |                            |                                |                            |
| S 275 M/ML            | 275  | 370                        | 255                            | 360                        |
| S 355 M/ML            | 355  | 470                        | 335                            | 450                        |
| S 420 M/ML            | 420  | 520                        | 390                            | 500                        |
| S 460 M/ML            | 460  | 540                        | 430                            | 530                        |
| <b>EN 10025-5</b>     |  |                            |                                |                            |
| S 235 W               | 235  | 360                        | 215                            | 340                        |
| S 355 W               | 355  | 490                        | 335                            | 490                        |
| <b>EN 10025-6</b>     |  |                            |                                |                            |
| S 460 Q/QL/QL1        | 460  | 570                        | 440                            | 550                        |
| <b>EN 10210-1</b>     |  |                            |                                |                            |
| S 235 H               | 235  | 360                        | 215                            | 340                        |
| S 275 H               | 275  | 430                        | 255                            | 410                        |
| S 355 H               | 355  | 510                        | 335                            | 490                        |
| S 275 NH/NLH          | 275  | 390                        | 255                            | 370                        |
| S 355 NH/NLH          | 355  | 490                        | 335                            | 470                        |
| S 420 NH/NLH          | 420  | 540                        | 390                            | 520                        |
| S 460 NH/NLH          | 460  | 560                        | 430                            | 550                        |
| <b>EN 10219-1</b>     |  |                            |                                |                            |
| S 235 H               | 235  | 360                        |                                |                            |
| S 275 H               | 275  | 430                        |                                |                            |
| S 355 H               | 355  | 510                        |                                |                            |
| S 275 NH/NLH          | 275  | 370                        |                                |                            |
| S 355 NH/NLH          | 355  | 470                        |                                |                            |
| S 460 NH/NLH          | 460  | 550                        |                                |                            |
| S 275 MH/MLH          | 275  | 360                        |                                |                            |
| S 355 MH/MLH          | 355  | 470                        |                                |                            |
| S 420 MH/MLH          | 420  | 500                        |                                |                            |
| S 460 MH/MLH          | 460  | 530                        |                                |                            |

Fig. 55 - Valores nominais da tensão de cedência  $f_y$  e da tensão última à tração  $f_u$  para aços laminados a quente [17]

Contudo, o aço apresenta também algumas desvantagens. As variações significativas de temperatura (coeficiente de dilatação linear de  $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ) provocam alterações dos esforços instalados devido à alteração das dimensões. A corrosão das estruturas metálicas também é um fator a ter em conta, visto que esta ocorre na presença de ambientes quimicamente agressivos, como é o caso em questão.

De forma a prevenir os efeitos mencionados anteriormente, torna-se inevitável recorrer à sua proteção através de pinturas protetoras.

Os elementos estruturais metálicos presentes na estrutura em estudo possuem as seguintes características:

- Perfis em HEB que constituem as vigas longitudinais do tabuleiro – EN 10025 em que a classe do aço é S355;
- Perfis tubulares de secção retangular que compõem as barras transversais do tabuleiro - EN 10025 em que a classe do aço é S355;
- Perfis tubulares de secção circular que definem as barras diagonais do tabuleiro - EN 10025 em que a classe do aço é S355;
- Aço que constitui as carlingas existentes ao longo do tabuleiro - EN 10025 em que a classe do aço é S355;
- Perfis tubulares de secção circular que compõem as treliças – EN 10025 em que a classe do aço é S275;
- Aço do esqueleto dos flutuadores – EN 10025 em que a classe do aço S355.

### 3.3. AÇO INOXIDÁVEL

Existem numerosas ligas de aço inoxidável. Contudo, nem todas são adequadas para utilização em estruturas, particularmente no que respeita às suas características de ductilidade e soldabilidade, sendo a escolha inicial da liga e o seu processo de fabrico fatores que influenciam significativamente as características finais do produto. Como já foi referido, existem os mais variados tipos de aço inoxidável sendo a sua classificação normalmente dada pelo tipo de microestrutura. De acordo com esta classificação existem cinco grandes tipos de aços inoxidáveis: austeníticos, ferríticos, austenítico-ferríticos, martensíticos e endurecidos por precipitação.

#### 3.3.1. AÇOS AUSTENÍTICOS

Estes são os aços inoxidáveis mais vulgarmente utilizados em estruturas de Engenharia Civil. Dentro deste tipo de aço existem inúmeros tipos de ligas com resistências à corrosão que variam desde boa até excelente, podendo normalmente ser utilizados, dependendo da liga, em qualquer tipo de ambiente. Em geral, combinam uma excelente ductilidade com uma boa resistência mecânica, formabilidade e soldabilidade [16]. Por conterem quantidades significativas de níquel, são uma solução mais dispendiosa ao nível financeiro quando comparada com as ligas ferríticas.

#### 3.3.2. AÇOS AUSTENÍTICO-FERRÍTICOS

Estes aços têm uma microestrutura mista e são, por isso, também conhecidos como aços inoxidáveis duplex. Quando comparados com os aços austeníticos, os aços duplex oferecem melhores resistências

mecânicas, uma soldabilidade equivalente e uma resistência à corrosão igual ou superior, perdendo para estes apenas em termos de ductilidade e formabilidade [16]. Devido a maior dificuldade na formabilidade, necessitando de mais energia no fabrico, estas ligas podem ser mais dispendiosas.

### 3.3.3. AÇOS MARTENSÍTICOS E ENDURECIDOS POR PRECIPITAÇÃO

Estes tipos de aço inoxidável não são normalmente utilizados na construção, pois apesar das boas características de resistência mecânica, têm uma soldabilidade e formabilidade muito limitadas e uma resistência à corrosão inferior à maioria dos aços austeníticos, não sendo por isso competitivos quando comparados com estes. Não obstante, por vezes são utilizados em sistemas de cabos pré-esforçados [16].

### 3.3.4. PROPRIEDADES MECÂNICAS E FÍSICAS

Contrariamente ao aço carbono, cujo comportamento é elástico-linear até atingir um patamar de cedência claramente definido antes de sofrer endurecimento por deformação, e que pode ser normalmente caracterizado simplificada para efeitos de dimensionamento como um material elástico-perfeitamente plástico, o aço inoxidável é um material que apresenta uma cedência gradual e um acentuado endurecimento por deformação, exibindo, um comportamento claramente não-linear como indicado, a título ilustrativo, na Fig. 56.

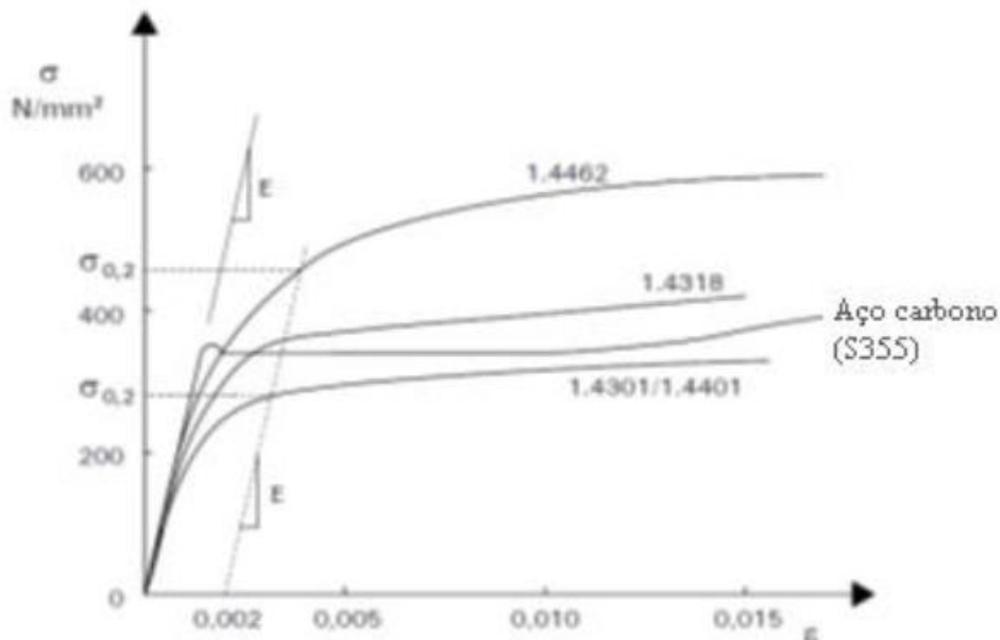


Fig.56 - Curvas típicas tensão-deformação para aços inoxidáveis e para aço carbono [18]

Por esta razão, a tensão de cedência,  $f_y$ , do aço inoxidável é habitualmente definida como uma tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2%, correspondendo a uma extensão de 0,2% e adotando-se o módulo de elasticidade na origem como o módulo de elasticidade característico para

efeitos de dimensionamento. Os valores característicos da tensão de cedência e da tensão última à tração, respetivamente  $f_y$  e  $f_u$ , para algumas ligas de aço inoxidável mais comuns em elementos estruturais, são apresentados no Eurocódigo 3, Parte1-4, sendo aqui reproduzidos na Fig. 57.

| Tipo de aço inoxidável      | Liga   | Produto base           |       |                         |       |                         |                   |                          |                   |
|-----------------------------|--------|------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
|                             |        | Folha enformada a frio |       | Folha laminada a quente |       | Placa laminada a quente |                   | Barras, varões e secções |                   |
|                             |        | Espessura nominal t    |       |                         |       |                         |                   |                          |                   |
|                             |        | t ≤ 6 mm               |       | t ≤ 12 mm               |       | t ≤ 75 mm               |                   | t ≤ 250 mm               |                   |
|                             |        | $f_y$                  | $f_u$ | $f_y$                   | $f_u$ | $f_y$                   | $f_u$             | $f_y$                    | $f_u$             |
| Aços ferríticos             | 1.4003 | 280                    | 450   | 280                     | 450   | 250 <sup>3)</sup>       | 450 <sup>3)</sup> | 260 <sup>4)</sup>        | 450 <sup>4)</sup> |
|                             | 1.4016 | 260                    | 450   | 240                     | 450   | 240 <sup>3)</sup>       | 430 <sup>3)</sup> | 240 <sup>4)</sup>        | 400 <sup>4)</sup> |
|                             | 1.4512 | 210                    | 380   | 210                     | 380   | -                       | -                 | -                        | -                 |
| Aços austeníticos           | 1.4306 |                        |       |                         |       |                         |                   | 180                      | 460               |
|                             | 1.4307 | 220                    | 520   | 200                     | 520   | 200                     | 500               | 175                      | 450               |
|                             | 1.4541 |                        |       |                         |       |                         |                   | 190                      | 500               |
|                             | 1.4301 | 230                    | 540   | 210                     | 520   | 210                     | 520               |                          |                   |
|                             | 1.4401 |                        |       |                         |       |                         |                   | 200                      | 500               |
|                             | 1.4404 | 240                    | 530   | 220                     | 530   | 220                     | 520               | 230                      | 530               |
|                             | 1.4539 |                        |       |                         |       |                         |                   |                          |                   |
|                             | 1.4571 |                        | 540   |                         | 540   |                         |                   |                          |                   |
|                             | 1.4432 | 240                    | 550   | 220                     | 550   | 220                     | 520               | 200                      | 500               |
|                             | 1.4435 |                        |       |                         |       |                         |                   |                          |                   |
|                             | 1.4311 | 290                    | 550   | 270                     | 550   | 270                     | 550               | 270                      | 550               |
|                             | 1.4406 | 300                    | 580   | 280                     | 580   | 280                     | 580               | 280                      | 580               |
|                             | 1.4439 | 290                    |       | 270                     |       | 270                     |                   |                          |                   |
|                             | 1.4529 | 300                    | 650   | 300                     | 650   | 300                     | 650               |                          |                   |
|                             | 1.4547 | 320                    | 650   | 300                     | 650   | 300                     | 650               | 300                      | 650               |
|                             | 1.4318 | 350                    | 650   | 330                     | 650   | 330                     | 630               | -                        | -                 |
| Aços austenítico-ferríticos | 1.4362 | 420                    | 600   | 400                     | 600   | 400                     | 630               | 400 <sup>2)</sup>        | 600 <sup>2)</sup> |
|                             | 1.4462 | 480                    | 660   | 460                     | 660   | 460                     | 640               | 450                      | 650               |

1) Os valores nominais de  $f_y$  e  $f_u$  nesta tabela podem ser usados no dimensionamento sem ter em conta os efeitos de anisotropia e endurecimento por deformação  
2) t<160 mm  
3) t<25 mm  
4) t<100 mm

Fig.57 - Valores nominais da tensão de cedência  $f_y$  e da tensão última à tração  $f_u$  para aços inoxidáveis [19]

Existem vários tipos de corrosão. Contudo, para grande parte das aplicações estruturais este tipo de aço garante uma excelente resistência à corrosão, sem grande necessidade de manutenção. Sobre este ponto é interessante destacar a Fig.58, referente ao mapa nacional de corrosão atmosférica. Pela representação apresentada constata-se que em todo o território continental a corrosão atmosférica é no mínimo moderada sendo bastante severa no litoral. Assim, uma vez que a corrosão constitui uma das principais razões para o escasso uso do aço em estruturas no nosso país, o incremento da utilização do aço inoxidável pode revelar-se claramente vantajoso e merecedor de maior atenção por parte da indústria da construção Portuguesa.



Fig.58 - Mapa nacional de corrosão atmosférica [18]

Tendo em conta que existem ligas mais adequadas para certos tipos de ambientes e categorias de corrosão, elegeu-se a liga 1.4462, pois é aquela que se adequa a ambientes marítimos com elevado risco de corrosão.

Em relação ao dimensionamento dos elementos, este é muito similar ao processo executado nos aço carbono exceto os limites máximos das relações largura/espessura para componentes comprimidos e/ou flexão, como se demonstra na Fig. 59.

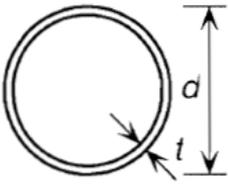
| Secções tubulares   |                             |        |                             |        |
|---|-----------------------------|--------|-----------------------------|--------|
|  |                             |        |                             |        |
| Classe  | Secção em flexão            |        | Secção em compressão        |        |
| 1   | $d/t \leq 50\varepsilon^2$  |        | $d/t \leq 50\varepsilon^2$  |        |
| 2   | $d/t \leq 70\varepsilon^2$  |        | $d/t \leq 750\varepsilon^2$ |        |
| 3   | $d/t \leq 280\varepsilon^2$ |        | $d/t \leq 90\varepsilon^2$  |        |
| $\varepsilon = \left[ \frac{235}{f_y} \frac{E}{210000} \right]^{0,5}$             | Liga                        | 1.4301 | 1.4401                      | 1.4462 |
|   | $f_y$ (MPa)                 | 210    | 220                         | 460    |
|   | $\varepsilon$               | 1,03   | 1,01                        | 0,698  |

Fig. 59 - Limites máximos das relações largura-espessura para componentes comprimidos [19]

Os elementos estruturais metálicos de aço inoxidável presentes na estrutura possuem as seguintes características:

- Perfis tubulares de secção circular constituídos por aço austenítico-ferríticos cuja liga é a 1.4462, que compõem as estacas telescópicas.

### 3.4. ESPUMA DE POLIETILENO DE CÉLULA FECHADA

A espuma de polietileno, também conhecido como o PE, é uma espuma de células fechadas resiliente e forte. Este material tem inúmeras aplicações, devido às suas características singulares, tais como a condutibilidade térmica, a absorção e a impenetrabilidade à água ou a permeabilidade ao vapor de água. A sua massa específica varia entre os 35-50 kg/m<sup>3</sup>, o que torna este material muito conveniente devido à sua leveza, estanquidade e resiliência.

Este material é usado no enchimento de boias de sinalização marítima, designadamente para áreas onde as condições são exigentes, o tráfego marítimo é intenso e para ocasiões em que se requer um produto robusto e de alta qualidade [20].

O formato das células da espuma polietileno é apresentado na Fig. 60, bem como as características deste material [20 e 21].

É de referir que este material apenas se encontra presente nos flutuadores, sendo a sua densidade de 35 kg/m<sup>3</sup>.

| Característica                            | Elastopor H 1623/... |         |          | Unidade           | Norma       |
|---|----------------------|---------|----------|-------------------|-------------|
|   | ..I/30*              | .J2/40* | ..I3/50* |                   |             |
| Densidade                                 | 35                   | 42      | 51       | Kg/m <sup>3</sup> | UNE EN 1602 |
| Resist. à compressão (10 % de deformação) | 0.17                 | 0.24    | 0.40     | N/mm <sup>2</sup> | UNE EN 826  |
| Absorção de água (depois de 168 h)        | < 3                  | < 3     | < 2      | % vol             | EN 12087    |
| Teor de células fechadas                  | > 90                 | > 90    | > 90     | %                 | ISO 4590    |

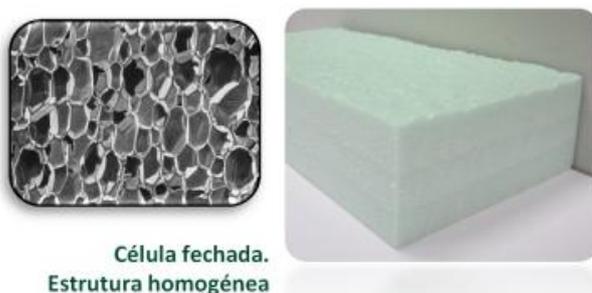


Fig. 60 - Características da espuma de polietileno de célula fechada [21]

### 3.5. POLIURETANO ELASTÓMERO

O poliuretano elastómero é um produto aplicável em estruturas críticas que sofrem dos efeitos da imersão, da abrasão, do impacto ou da exposição às soluções químicas agressivas.

Um elastómero é um polímero que apresenta propriedades elásticas, obtidas depois da reticulação. É resistente à água da chuva/mar, ao combustível diesel, aos ácidos diluídos e aos hidrocarbonetos alifáticos. Os poliuretanos têm excelente tenacidade, elevada flexibilidade e, como foi mencionado previamente, elevada resistência química.

Em termos de características mecânicas, o poliuretano elastómero possui uma estrutura que confere uma elevada resistência à abrasão, alta plasticidade e grande resistência ao rasgamento.

Em termo de compatibilidade com a espuma de polietileno de célula fechada existe uma adesão entre os dois materiais, mesmo a temperaturas baixas.



Fig.61 - Exemplo da boia de sinalização de alto mar [20]

Este material é utilizado como camada exterior das boias de sinalização, como se observa na Fig. 61, sendo pigmentado e com proteção máxima contra os raios ultravioletas. A espessura desta camada varia entre os 15 e os 30 mm, sendo conferida à superfície um acabamento de pintura antiderrapante [22].

A utilização deste material encontra-se exclusivamente reservada aos flutuadores.



# 4

## ASPETOS ESPECÍFICOS NO DIMENSIONAMENTO DE PONTES FLUTUANTES

### 4.1. AÇÕES

No presente capítulo são apresentadas as prescrições e metodologias necessárias ao dimensionamento de uma ponte flutuante.

A estrutura deve resistir às combinações de cargas indicadas no Eurocódigo 0 para este tipo de obra. As ações a considerar nessas combinações foram retiradas do Eurocódigo 1, que incluíam os efeitos causados pelo vento, pelas ondas, pela temperatura, pelas sobrecargas entre outras, uma vez que estas podem ser condicionantes no dimensionamento da estrutura.

Dependendo do local de implantação da obra também se pode, ou não, considerar outras cargas, como a variação das marés, o efeito das ondas causadas pelo tráfego marítimo entre outras.

#### 4.1.1. AÇÕES PERMANENTES

##### 4.1.1.1. Peso Próprio

O peso próprio da estrutura depende das secções e dos materiais que as constituem. No caso duma ponte flutuante deve-se ter em conta a constituição do tabuleiro (vigas longitudinais, barras transversais e diagonais e grades de pavimento), a ligação entre o tabuleiro e flutuador (por intermédio de treliças e carlingas) e os flutuadores, bem como os respetivos pesos próprios.

Os pesos volúmicos dos materiais utilizados em todos os elementos são os seguintes [34]:

- Aço: 78 kN/m<sup>3</sup>;
- Espuma de polietileno de célula fechada: 3.5 kN/m<sup>3</sup>;
- Poliuretano elastómero: 2.5 kN/m<sup>3</sup>;
- Grade de Pavimento: 0.53 kN/m<sup>2</sup>.

##### 4.1.1.2 Restantes cargas permanentes

As restantes cargas permanentes incluem o peso dos guarda-corpos de segurança, da iluminação e dos acabamentos em madeira do pavimento.

Após consulta da norma portuguesa do Eurocódigo 1, Parte 1-1, obtêm-se os seguintes valores:

- Guarda-corpos:  $2 \times 0.5 \text{ kN/m}$ ;
- Iluminação:  $2 \times 0.5 \text{ kN/m}$ ;
- Acabamentos em madeira no pavimento (sobre as grades de pavimento):  $2 \text{ kN/m}^2$ .

#### 4.1.2. SOBRECARGAS

##### 4.1.2.1. Cargas verticais e horizontais devido à utilização

Os casos de sobrecarga considerados para pontes pedonais [23] englobam uma carga uniformemente distribuída (vertical e longitudinal) e uma carga concentrada. A equação (17) representa a expressão utilizada para o cálculo da sobrecarga uniformemente distribuída vertical, sendo  $L$  o comprimento do vão carregado, ou seja, 7.4 metros, resultando uma sobrecarga distribuída vertical cujo valor é de  $5 \text{ kN/m}^2$ .

$$q_{fk} = 2 + \frac{120}{L+30}; q_{fk} \leq 5 \text{ kN/m}^2 \quad (17)$$

A carga uniformemente distribuída longitudinal resultante de ações de travagem e aceleração é tida em conta neste projeto. Assim, o valor da sobrecarga uniformemente distribuída longitudinal é igual a 10% do valor total da sobrecarga vertical, isto é,  $2.00 \text{ kN/m}$  (largura do tabuleiro de 4.00 metros) [23].

Relativamente à carga concentrada, esta é definida por um quadrado de 0.10 metros de lado, onde resulta uma carga concentrada de 10 kN. Os efeitos desta ação não são significativos face às restantes, assim, esta é desprezada no estudo da estrutura.

Os valores reduzidos da ação sobrecarga são [28]:

- $\psi_0 = 0.4$
- $\psi_1 = 0.4$
- $\psi_2 = 0.0$

##### 4.1.2.2. Pressão Hidrostática

O peso específico da água considerado é de  $10.09 \text{ kN/m}^3$ . É tido em consideração que a força de impulsão varia com o volume de água deslocado pelo flutuador e que, tal facto, tem influência no dimensionamento da estrutura.

A Fig.62 demonstra a carga proveniente da pressão da água a atuar na parte submersa da estrutura. As forças verticais,  $F_V$ , e horizontais,  $F_H$ , aplicadas na secção inferior e nas laterais do corpo submerso são respetivamente:

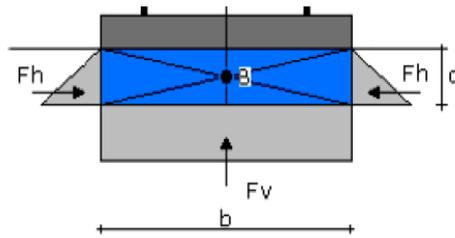


Fig. 62 - Pressão hidrostática [10]

$$F_v = \rho_l \times g \times d \times b \times c \quad (18)$$

$$F_H = \rho_l \times g \times d \times c \times \frac{d}{2} \quad (19)$$

Em que:

$c$  - comprimento da parte submersa;

$b$  - largura da parte submersa;

$d$  - altura da parte submersa;

$g$  - aceleração da gravidade;

$\rho_l$  - densidade do líquido.

Estas forças influenciam a espessura necessária para as paredes dos flutuadores.

#### 4.1.2.3. Vento

O estudo do efeito do vento em estruturas é complexo. A forma mais correta de abordar esta temática é optar por um procedimento de cálculo de resposta dinâmica. No entanto, para simplificar a abordagem do tema, habitualmente, transforma-se a ação real do vento numa ação estática [26]. Para esse efeito é necessário considerar as características dinâmicas e geométricas da estrutura, bem como a sua interação com o escoamento do ar. Esta ação pode provocar fenómenos de instabilidade aerodinâmica, principalmente se a frequência própria da estrutura for baixa. Este tipo de instabilidade é frequente em pontes de tirantes e suspensas [26].

Neste caso, a ação devido ao vento é abordada através do modo simplificado previsto na cláusula 8.3.2 do Eurocódigo 1, Parte 1-4.

A velocidade do vento é dada por [26]:

$$V_b = C_{dir} \times C_{season} \times V_{b,0} \quad (20)$$

Na expressão apresentada anteriormente,  $C_{dir}$ , é o coeficiente de direção que, quando não existem estudos avançados, é igual à unidade e o coeficiente de sazão,  $C_{season}$ , também é igual a um.  $V_{b,0}$  é o valor característico da velocidade média referida a períodos de dez minutos, independentemente da direção do vento e da época do ano, a uma altura de 10 metros acima do solo em terreno do tipo campo aberto, sendo estes valores de velocidade apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Velocidade média caraterística [26]

| Zona | V <sub>b,0</sub> (m/s) |
|------|------------------------|
| A    | 27                     |
| B    | 30                     |

Tendo em conta que a ponte se situa a menos de cinco quilómetros em linha reta da costa oceânica considera-se, o local, como pertencente à zona B. Admite-se assim, que a velocidade do vento é igual a 30 m/s, dado que ambos os fatores, referidos anteriormente, são iguais à unidade.

Obtido este valor é imprescindível calcular a velocidade média do vento para uma altura  $z$  acima do solo. Este valor está dependente da rugosidade do terreno e da orografia da envolvente, através da seguinte expressão [26]:

$$V_m \left( \frac{m}{s} \right) = C_r(z) \times C_0(z) \times V_b \quad (21)$$

O coeficiente de rugosidade é determinado por uma das seguintes expressões [26]:

$$C_r(z) = k_r \times \ln(z/z_0) \text{ se } z_{min} < z < 200m \quad (22)$$

$$C_r(z) = c \times z_{min} \text{ se } z \leq z_{min} \quad (23)$$

Deve-se considerar  $z$  como a altura máxima atingida pela ponte. O valor referente à  $z_{min}$  é retirado da Fig. 63, pertencente ao Eurocódigo 1, Parte 1-4.

| Categoria de terreno   |  | $z_0$<br>[m] | $z_{min}$<br>[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, <math>c_r(z)</math>, é ilustrado na Figura NA.1.</i> |  |              |                  |

Fig. 63 - Categorias e parâmetros do terreno [26]

Caso a condição  $z_{min} < z < 200m$  seja verificada torna-se ainda indispensável calcular o coeficiente de terreno,  $k_r$  [26]:

$$k_r = 0.19 \times (z_0/z_{0II})^{0.07} \quad (24)$$

Retirando-se  $z_0$  e  $z_{0II}$  da tabela anterior e considerando  $z$  igual a 12 m conclui-se que,

$$k_r = 0.16172 \quad (25)$$

$$C_r(z) = 1.25867 \quad (26)$$

Em relação ao coeficiente de orografia, este tem em conta a localização da estrutura, nomeadamente se esta se situa junto de uma falésia/colina. As margens de um rio podem ser consideradas como uma falésia em certos casos. Através da consulta do Eurocódigo 1, Parte 1-4 Anexo 3, e a consideração da tipologia de ponte em causa chegou-se a conclusão que este coeficiente é igual a unidade. Assim conclui-se que:

$$V_m = 37.76021 \text{ m/s} \quad (27)$$

Obtida a velocidade média é necessário calcular a pressão média de pico, resultante da velocidade média através da expressão (28) [26]:

$$qp(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times (1/2) \times \rho \times v_m^2 \quad (28)$$

Sendo  $\rho$  a massa volúmica do ar, igual a 1.25 kg/m<sup>3</sup> e  $I_v(z)$  a intensidade da turbulência à altura  $z$  [26]:

$$I_v(z) = k_l / (C_o(z) \times \ln(z/z_0)) \quad (29)$$

Em que  $k_l$  é o coeficiente de turbulência e é igual a 1.0.

$$I_v(z) = 0.12848 \quad (30)$$

$$qp(z) = 1.69262 \text{ kPa} \quad (31)$$

A força horizontal resultante da ação do vento atuante na direção transversal do tabuleiro é dada por [26]:

$$F_{w,x} = qp(z) \times C_{f,x} \times A_{ref,x} \quad (32)$$

Para se obter os valores de  $C_{f,x}$  e  $A_{ref,x}$  é necessário calcular a altura equivalente do tabuleiro,  $d_{total}$ . Esta altura depende das características das guardas adotadas, que neste caso são ambas vazadas. Assim, é possível obter-se o  $d_{total}$  através da Fig. 64

| Barreiras de Segurança                                    | Num lado            | Nos dois lados      |
|---|---------------------|---------------------|
| Guarda-corpo vazado ou guarda de segurança vazada         | $d + 0.3 \text{ m}$ | $d + 0.6 \text{ m}$ |
| Guarda-corpo não vazado ou guarda de segurança não vazada | $d + d_1$           | $d + 2d_1$          |
| Guarda-corpo vazado e guarda de segurança vazada          | $d + 0.6 \text{ m}$ | $d + 1.2 \text{ m}$ |

Fig. 64 - Altura equivalente do tabuleiro em função das guardas existentes na estrutura [26]

$$d_{total} = 1.1 \text{ m}; b_t = 4 \text{ m} \quad (33)$$

Em que:

$d_{total}$  – corresponde à altura equivalente do tabuleiro em função das guardas existentes na estrutura;

$b_t$  – corresponde à largura do tabuleiro de uma célula.

Após obter  $d_{total}$  e sabendo a largura do tabuleiro usou-se a Fig. 65 que relaciona o rácio  $b/d_{total}$  com o  $C_{f,x}$  de modo a retirar o coeficiente de força.

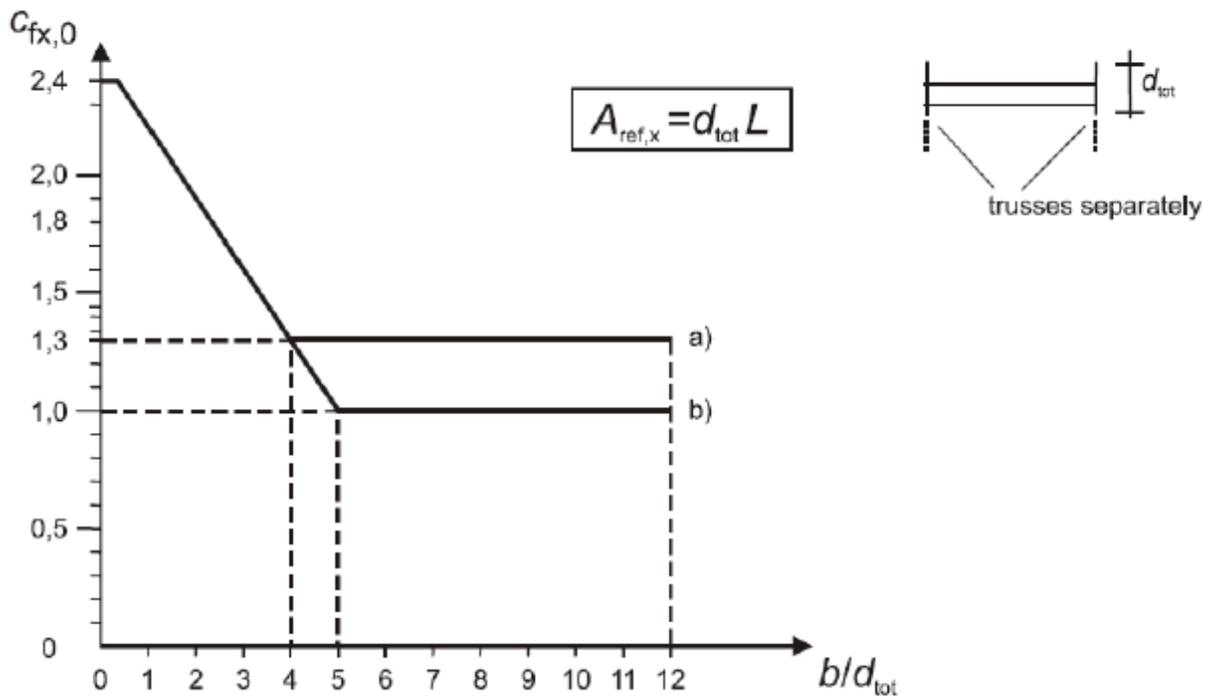


Fig. 65 - Gráfico que relaciona  $C_{f,x}$  com a razão  $b/d_{total}$  [26]

$$C_{fx} = 1.3375 \quad (34)$$

A área de referência  $A_{ref,x}$  é igual a:

$$A_{ref,x} = d_{total} \times b = 4.4 \text{ m} \quad (35)$$

A força horizontal resultante da ação do vento atuante na direção transversal do tabuleiro por metro é igual a:

$$F_{w,x} = 2.5 \text{ kN/m} \quad (36)$$

Segundo o Eurocódigo 1, Parte 1-4, é também preciso considerar as forças longitudinais e verticais que atuam na ponte devido à ação do vento. A força vertical  $F_{w,z}$  é conseguida através da expressão (37) [26]:

$$F_{w,z} = q\rho(z) \times C_{f,z} \times A_{ref,y} \quad (37)$$

Na ausência de ensaios em túneis de vento pode-se considerar [26]:

$$C_{f,z} = \pm 0.9 \quad (38)$$

Este valor tem em conta a influência de uma eventual inclinação transversal do tabuleiro, da inclinação do terreno e de flutuações do ângulo de incidência do vento em relação ao tabuleiro, devido à turbulência.

$$A_{ref,y} = b \times l \quad (39)$$

As força vertical que atua na ponte devido à ação do vento,  $F_{w,z}$ , por metro é igual a

$$F_{w,z} = 6.48 \text{ kN/m} \quad (40)$$

A força horizontal no sentido longitudinal do tabuleiro por metro é igual a

$$F_{w,y} = 0.25 \times F_{w,x} = 0.623 \text{ kN/m} \quad (41)$$

Os valores reduzidos da ação do vento são [28]:

- $\psi_0 = 0.6$
- $\psi_1 = 0.2$
- $\psi_2 = 0.0$

#### 4.1.2.4. Corrente

A carga causada pela força da corrente que atua na estrutura deve-se ao fluxo de água e é calculada de maneira semelhante à força do vento. A carga estática numa estrutura flutuante é relativamente grande, e pode ser calculada pela força de inércia que é transferida [30]:

$$F_c = \frac{1}{2} \times \rho_f \times C_s \times A \times v^2 \quad (42)$$

Em que:

$\rho_f$  - densidade da água;

$C_s$  - coeficiente de forma;

$A$  – área submersa da estrutura perpendicular à direcção da corrente (neste caso a área submersa do flutuador);

$v$  - velocidade da corrente.

Tendo em conta a dimensão hidrológica do rio Douro é natural que exista uma grande variação do seu caudal ao longo do ano e, conseqüentemente, uma oscilação significativa da velocidade da corrente. É possível obter a velocidade da corrente do rio Douro através do conhecimento do seu caudal atuante e da área do perfil de profundidades onde este ocorre, como se mostra na expressão (43).

$$v = Q/S \quad (43)$$

Em que:

$v$  – velocidade da corrente em m/s;

$Q$  – caudal em m<sup>3</sup>/s;

$S$  – área da secção do rio em m<sup>2</sup>.

Torna-se óbvio que a velocidade da corrente tem uma variação significativa. Para uma melhor modelação desta ação considerou-se a sua subdivisão em três “sub-ações”, em que a possível ocorrência de cada uma delas depende do caudal atuante. Ajuizou-se, assim, que no Estado Limite de Utilização ocorre o caudal que pode surgir nos dois sentidos. Dentro da mesma linha de pensamento considerou-se que no Estado Limite Último surge a corrente de cheia anual. Por fim, o caudal máximo registado até hoje possui uma velocidade de corrente considerável, assim, modelou-se a cheia de 1909 como uma ação accidental.

Em relação às áreas da secção do rio Douro consideradas para cada sub-ação, cada uma delas, possui o mesmo perfil de profundidades, mas diferentes áreas afetadas pela passagem do caudal, devido à variação da cota do rio Douro.

Considerou-se, deste modo, que em serviço a cota da superfície do rio situa-se à cota 1.1 metros, valor médio entre preia-mar e baixa-mar. No Estado Limite Último a cota da superfície do rio considerada foi de 4.00 metros, sendo este um valor conservador. Finalmente, no caso ação accidental, utilizou-se

para cota da superfície do rio a cota 10.2 metros, que consiste na máxima cota da superfície do rio até hoje registada.

É apresentado no Quadro 2 o caudal, a área da secção do rio e a respetiva velocidade para cada sub-ação referida anteriormente.

Quadro 2 - Velocidade da corrente

|                | Q (m <sup>3</sup> /s) | S (m <sup>2</sup> ) | v(m/s) |
|----------------|-----------------------|---------------------|--------|
| ELS            | 714                   | 2154                | 0.34   |
| ELU            | 3200                  | 2852                | 1.12   |
| Ação Acidental | 19500                 | 5000                | 3.90   |

Para coeficiente de forma,  $C_s$ , usou-se o valor de 0.7 tendo em conta o Eurocódigo 1, Parte 1-4, e o formato dos flutuadores.

Tendo em consideração que a área submersa de cada flutuador perpendicular à atuação da corrente do rio não é constante usou-se um valor conservativo, ou seja, a máxima área de um flutuador perpendicular à atuação da corrente.

No Quadro 3 são apresentados os valores de  $A$  e  $F_c$  usados para cada sub-ação.

Quadro 3 - Carga causada num flutuador devido a corrente

|                | A (m <sup>2</sup> ) | F <sub>c</sub> (kN) |
|----------------|---------------------|---------------------|
| ELS            | 11.37               | 0.915               |
| ELU            | 11.37               | 9.980               |
| Ação Acidental | 11.37               | 120.524             |

Os valores reduzidos da ação corrente são [28]:

- $\psi_0 = 0.3$
- $\psi_1 = 0.2$
- $\psi_2 = 0.0$

#### 4.1.2.5. Falha de um flutuador

No dimensionamento dos flutuadores que vão suportar a estrutura deve haver uma certa segurança na capacidade destes. Isto é, deve-se dotar a ponte da capacidade de resistir à falha de um elemento construtivo até à sua reparação.

Uma vez que os flutuadores são o elemento que confere apoio à ponte, tal facto torna-o um elemento crítico. Como já foi referido no capítulo anterior, o flutuador é formado por um esqueleto estrutural em aço, cujo enchimento é feito por espuma de polietileno de célula fechada que é estanque à água e possui uma significativa resistência à compressão. Estes dois elementos são envolvidos por uma

camada de poliuretano elastómero, conferindo uma elevada resistência química, grande elasticidade e resistência à abrasão (tecnologia similar à usada nas boias de sinalização). Devido a estas características dos materiais que constituem o flutuador salvaguarda-se a ponte no caso de ocorrência de uma potencial inundação de um flutuador, ou seja, a possibilidade de falha de um flutuador devido a perda de impulsão do mesmo é inexequível.

#### 4.1.2.6. Temperatura

As ações da temperatura são um importante alvo de avaliação, na medida em que estas podem provocar esforços significativos devido à dilatação e contração dos diferentes elementos.

Para a caracterização desta ação foram consultadas as regras do Eurocódigo 1, Parte 1-5. Os efeitos das ações térmicas incluem duas vertentes: a variação uniforme de temperatura em toda a ponte e a variação diferencial da temperatura no tabuleiro.

A primeira não cria esforços no tabuleiro, devido ao layout geral da estrutura, contudo, foi necessário ter em conta para o dimensionamento da ligação entre células. No que diz respeito à variação diferencial de temperatura do tabuleiro é importante ter em conta os esforços significativos que a mesma induz na estrutura.

Primeiramente foi fundamental selecionar em que tipo de tabuleiro a estrutura em análise se enquadra, tendo por base o Eurocódigo 1, Parte 1-5. Tratando-se de um tabuleiro constituído, essencialmente, por aço, conclui-se que se trata do tipo I.

Em seguida, define-se a temperatura mínima e máxima do ar no local de projeto. Para tal é utilizado o Anexo Nacional, onde se encontra no Porto uma temperatura mínima de 0°C e máxima de 40°C. Assim sendo, é efetuado o cálculo das temperaturas uniformes máxima e mínima na ponte, por intermédio das expressões apresentadas na Fig.66, retirada do Eurocódigo 1, Parte 1-5, correspondente a um tabuleiro tipo I.

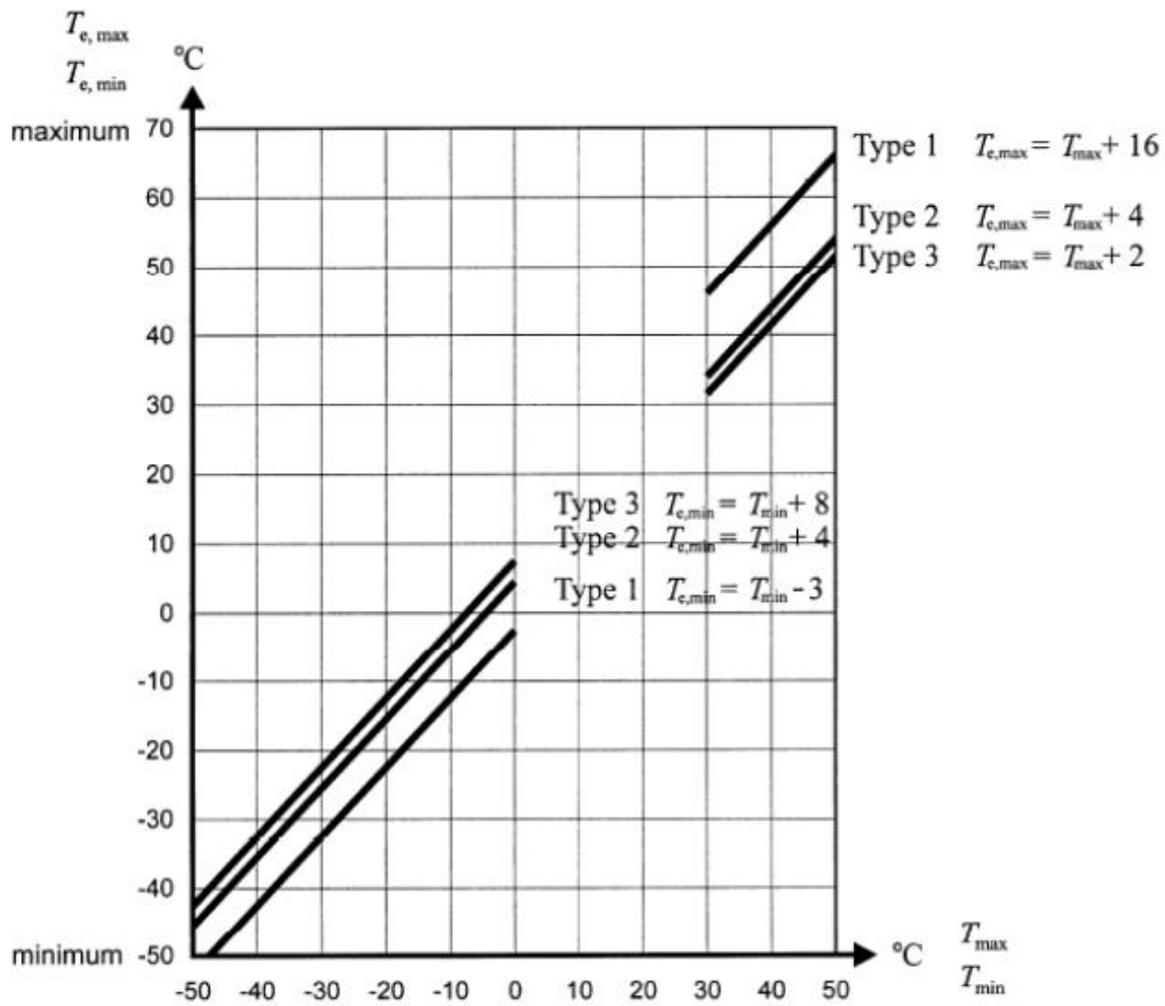


Fig.66 - Correlação entre a temperatura mínima do ar à sombra ( $T_{min}$   $T_{max}$ ) e a componente da variação uniforme de temperatura mínima/máxima em pontes ( $T_{e,min}$   $T_{e,max}$ ) [27]

Desta forma, os valores de  $T_{e,min}$  e  $T_{e,max}$  são  $-3^{\circ}\text{C}$  e  $56^{\circ}\text{C}$  respetivamente.

A variação uniforme de temperatura da ponte também depende da temperatura inicial da mesma,  $T_0$ . No caso de falta de informação o Anexo Nacional indica que se pode considerar uma temperatura inicial de  $15^{\circ}\text{C}$ .

Sendo assim, o valor característico de amplitude de contração máxima da componente de variação uniforme de temperatura da ponte,  $\Delta T_{N,con}$  é dada pela seguinte expressão.

$$\Delta T_{N,con} = T_{e,min} - T_0 = -3 - 15 = -18^{\circ}\text{C} \quad (44)$$

Para o cálculo do valor característico da amplitude de dilatação máxima da componente da variação uniforme de temperatura da ponte,  $\Delta T_{N,exp}$  é utilizada a expressão:

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 56 - 15 = 41^{\circ}\text{C} \quad (45)$$

Em relação à variação diferencial de temperatura do tabuleiro, o Eurocódigo 1, Parte 1-5, fornece valores que dependem do tipo de tabuleiro adotado.

Consultando a Fig.67, verifica-se que para um tabuleiro do tipo I os valores  $\Delta T_{M,heat}$  e  $\Delta T_{M,cool}$  são  $18^{\circ}\text{C}$  e  $12^{\circ}\text{C}$  respetivamente.

| Tipo de tabuleiro                    | Face superior mais quente do que a face inferior | Face inferior mais quente do que a face superior |
|--------------------------------------|--|--|
|                                      | $\Delta T_{M,heat}(^{\circ}\text{C})$            | $\Delta T_{M,cool}(^{\circ}\text{C})$            |
| Tipo 1:<br>Tabuleiro de aço          | 18   | 13   |
| Tipo 2:<br>Tabuleiro misto aço-betão | 15   | 18   |
| Tipo 3:<br>Tabuleiro de betão:       |  |  |
| - viga em caixão                     | 10   | 5  |
| - laje vigada                        | 15   | 8  |
| - laje                               | 15   | 8  |

Fig.67 - Valores recomendados da componente linear da variação diferencial de temperatura para diferentes tipos de tabuleiro de pontes rodoviárias, pedonais e ferroviárias. [27]

Dado que os valores apresentados são indicativos para tabuleiros com uma espessura do revestimento da superfície de 50mm, é crucial corrigi-los através de um fator  $k_{sur}$ , apresentado na Fig.68.

| Pontes rodoviárias, pedonais e ferroviárias |  |  |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|--|--|
| Espessura da superfície                     | Tipo 1   |  | Tipo 2   |  | Tipo 3   |  |
|   | Face superior mais quente do que a face inferior | Face inferior mais quente do que a face superior | Face superior mais quente do que a face inferior | Face inferior mais quente do que a face superior | Face superior mais quente do que a face inferior | Face inferior mais quente do que a face superior |
| [mm]  | $k_{sur}$  | $k_{sur}$  | $k_{sur}$  | $k_{sur}$  | $k_{sur}$  | $k_{sur}$  |
| Sem revestimento                            | 0.7  | 0.9  | 0.9  | 1.0  | 0.8  | 1.1  |
| Impermeabilizada <sup>1)</sup>              | 1.6  | 0.6  | 1.1  | 0.9  | 1.5  | 1.0  |
| 50  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  |
| 100   | 0.7  | 1.2  | 1.0  | 1.0  | 0.7  | 1.0  |
| 150   | 0.7  | 1.2  | 1.0  | 1.0  | 0.5  | 1.0  |
| Balastro (750 mm)                           | 0.6  | 1.4  | 0.8  | 1.2  | 0.6  | 1.0  |

<sup>1)</sup>Estes valores representam limites superiores para revestimentos de cor escura.

Fig.68 - Valores recomendados de  $k_{sur}$  a considerar para diferentes espessuras do revestimento da superfície [27]

Tendo em conta que a superfície não é impermeabilizada, os valores de  $\Delta T_{M,cool}$  e  $\Delta T_{M,heat}$  mantêm-se iguais aos valores referidos anteriormente.

Os valores reduzidos da ação temperatura são [28]:

- $\psi_0 = 0.6$
- $\psi_1 = 0.6$
- $\psi_2 = 0.5$

#### 4.1.2.7. Ondas

No estudo da ponte são consideradas as ações horizontais e verticais, resultantes do movimento da ondulação.

As forças horizontais que atuam na estrutura resultam do movimento da ondulação na direção horizontal. Estas forças podem ainda ser divididas em dois tipos diferentes [10]:

- Ondas que não quebram;
- Ondas que quebram.

Em relação às primeiras, a força horizontal proveniente destas é causada pela diferença das cotas da água e, conseqüentemente, pela diferença de pressão da água. É importante salientar que, devido à localização da estrutura, apenas as ondas que não quebram foram consideradas no seu dimensionamento.

Existem várias equações que permitem obter a força horizontal máxima causada pela ondulação e a correspondente pressão de água. É de salientar que o nível da água num objeto flutuante afetado pela ondulação é diferente nas laterais opostas desse objeto, tal como se ilustra na Fig.69.

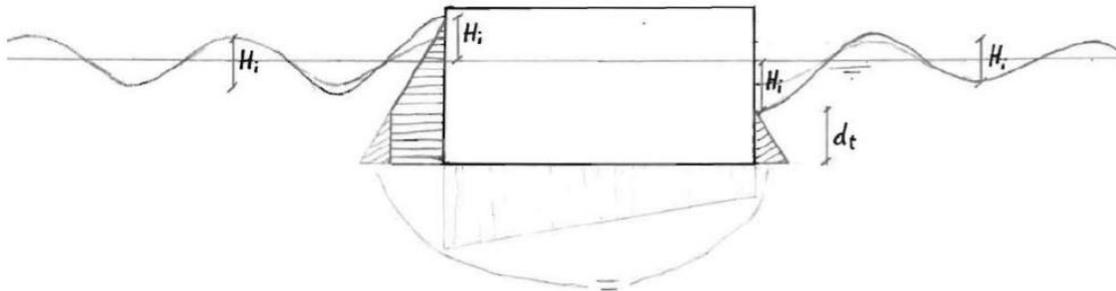


Fig.69 - Diferenças na pressão causadas pelas ondas em ambos os lados [10]

Assim, a expressão a ser usada nesta situação é [10]:

$$F_{max} = \frac{1}{2} \times \rho_l \times g \times (2H_i)^2 + d_t \times \rho_l \times g \times (2H_i) \quad (46)$$

Em que,

$F_{max}$  - força horizontal máxima por metro;

$H_i$ - altura da onda e é igual a  $H_d$ ;

$d_t$  – menor altura submersa do flutuador;

$g$  – aceleração da gravidade;

$\rho_l$  – densidade do líquido, neste caso a água.

Considerando  $H_d$  igual a 0.3 m e  $d_t$  igual 2.9 metros, conclui-se que  $F_{max}$  por metro (em função da largura do flutuador) é dado por:

$$F_{max} = 19.40 \text{ kN/m} \quad (47)$$

Este procedimento de cálculo representa a pressão da água como linearmente crescente debaixo da crista da onda, conduzindo, conseqüentemente, a um ligeiro sobredimensionamento. Tal facto significa que no fundo da estrutura flutuante atua uma grande diferença de pressões entre as laterais opostas do flutuador e na realidade não existe uma diferença desta magnitude, mas para estruturas flutuantes cuja profundidade da onda é pequena este procedimento pode ser utilizado [10].

O efeito vertical que a ondulação provoca na estrutura flutuante foi modelado através de forças verticais que atuam nos flutuadores consoante a posição da ondulação relativamente a estes.

Para tal, considerou-se uma análise simplificada da ação. Assim, utilizou-se a expressão (48) para a determinação da força ascendente atuante num flutuador quando este está sujeito ao efeito da ondulação [10].

$$A_{wave} = \frac{1}{2} \times H_s \times \rho_l \times g \times W \times C \quad (48)$$

Em que,

$A_{wave}$  - força ascendente ou descendente causada pela ondulação;

$H_s$  - altura das ondas;

$\rho_l$  - densidade da água;

$W$  – largura do flutuador;

$C$  – comprimento do flutuador.

Considerando  $H_d$  igual a 0.3 metros e  $W$  igual 3.86 metros, conclui-se que  $A_{wave}$  por metro de desenvolvimento do flutuador (comprimento do flutuador) é

$$A_{wave} = 5,79 \text{ kN/m} \quad (49)$$

Relativamente às ondas que se quebram, estas não são consideradas devido à localização do projeto em causa.

Os valores reduzidos da ação ondas são [28]:

- $\psi_0 = 0.3$
- $\psi_1 = 0.2$
- $\psi_2 = 0.0$

#### 4.1.2.8. Sismo

Tendo em conta a natureza do presente projeto e a sua localização geográfica considerou-se que a ocorrência de sismos não causa efeitos significativos na estrutura e, por essa razão, a sua análise não é considerada.

## 4.2. ESTABILIDADE

Tal como já foi mencionado no Capítulo 1, numa ponte flutuante é preciso ter em conta a sua estabilidade rotacional. Uma pequena rotação de um corpo flutuante faz com que uma parte da estrutura fique numa posição mais profunda relativamente à inicial, enquanto a outra parte do corpo flutuante fica a uma profundidade menor. De acordo com a hidrostática, a parte mais profunda irá deslocar um maior volume de água e, conseqüentemente, gerar uma maior força de impulsão (o

inverso também é válido). Desta forma, é gerado um momento que atua no sentido de levar o corpo de novo à posição de equilíbrio inicial, ou seja, para a posição que antecede a pequena rotação.

A estabilidade de uma estrutura flutuante é definida pela distância que existe entre o centro de gravidade e o metacentro, GM, também designada por altura do metacentro.

Tendo em conta que a altura do metacentro varia com o decorrer da construção da estrutura, é evidente que esta variação deve ser considerada. Assim, dividiu-se a construção da ponte flutuante em quatro fases/componentes, sendo apenas analisado um segmento de 7.4 metros de uma célula com apenas um flutuador associado, como representado no Quadro 4.

Quadro 4 - Diferentes componentes de cada célula da ponte flutuante

| Componentes | Descrição              |
|-------------|------------------------|
| (1)         | Flutuador              |
| (2)         | Treliça                |
| (3)         | Carlinga               |
| (4)         | Tabuleiro (7.4 metros) |

Na componente 4 não se considerou o peso da iluminação nem dos revestimentos, porque estes apenas são colocados quando cada célula tiver a sua construção estrutural terminada.

A avaliação da estabilidade rotacional da estrutura deve ser efetuada ao longo do eixo longitudinal da ponte flutuante (eixo X) e ao longo do eixo transversal a ponte flutuante (eixo Y).

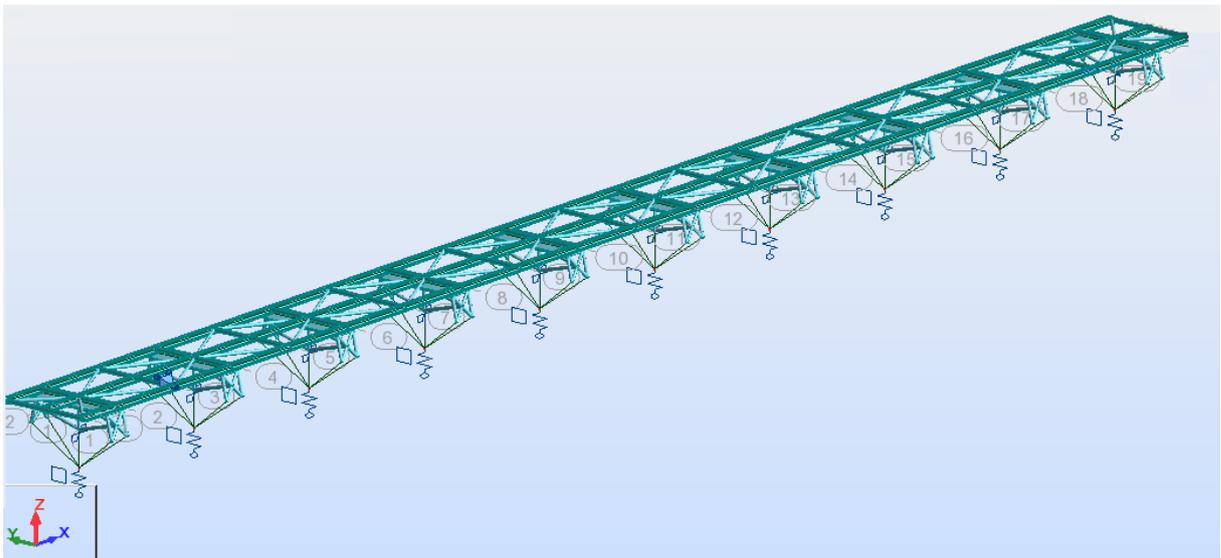


Fig.70 - Célula com os eixos considerados

No Quadro 5 é analisada a estabilidade rotacional de um segmento de 7.4 metros de uma célula da ponte flutuante em torno do eixo Y, através do uso das expressões apresentadas no Capítulo 1.

Quadro 5 - Estabilidade rotacional de um segmento de 7.4 metros de uma célula da ponte flutuante em torno do eixo Y

| Fases           | Peso (kN) | Yg(m) | d(m) | b(m) | Iw (m <sup>4</sup> ) | Δ (m <sup>3</sup> ) | BM(m) | KB(m) | KM(m) | GM(m) |
|-----------------|-----------|-------|------|------|----------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|
| (1)             | 542.20    | 1.87  | 1.92 | 1.14 | 34.03                | 41.35               | 0.82  | 1.14  | 1.96  | 0.09  |
| (1)+(2)         | 550.70    | 1.90  | 1.95 | 1.15 | 34.03                | 41.99               | 0.81  | 1.15  | 1.96  | 0.05  |
| (1)+(2)+(3)     | 575.70    | 2.03  | 2.02 | 1.18 | 34.03                | 43.90               | 0.78  | 1.18  | 1.96  | -0.07 |
| (1)+(2)+(3)+(4) | 639.21    | 2.31  | 2.19 | 1.28 | 34.03                | 48.74               | 0.70  | 1.28  | 1.97  | -0.34 |

Pela observação e análise do Quadro 5 é possível constatar que a altura do metacentro vai diminuindo ao longo da execução do tabuleiro e torna-se negativa. Por outras palavras, existe um crescimento da instabilidade em torno do eixo Y. Para evitar tal problema utilizar-se-á contrapesos nos flutuadores até que a estrutura (cada célula) se torne um elemento único, pois a partir deste momento a estrutura torna-se estável e não precisa mais dos contrapesos. Assim sendo, os contrapesos são apenas elementos auxiliares durante a construção de cada célula.

No Quadro 6 é analisada a estabilidade rotacional de um segmento de 7.4 metros de uma célula da ponte flutuante em torno do eixo X, através do uso das fórmulas apresentadas no Capítulo 1.

Quadro 6 - Estabilidade rotacional de um segmento de 7.4 metros de uma célula da ponte flutuante em torno do eixo X

| Fases           | Peso (kN) | Yg(m) | d (m) | b(m) | Iw (m <sup>4</sup> ) | Δ (m <sup>3</sup> ) | BM(m) | KB(m) | KM(m) | GM(m) |
|-----------------|-----------|-------|-------|------|----------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|
| (1)             | 542.20    | 1.87  | 1.92  | 1.14 | 162.76               | 41.35               | 3.94  | 1.14  | 5.07  | 3.20  |
| (1)+(2)         | 550.70    | 1.90  | 1.95  | 1.15 | 162.76               | 41.99               | 3.88  | 1.15  | 5.02  | 3.12  |
| (1)+(2)+(3)     | 575.70    | 2.03  | 2.02  | 1.18 | 162.76               | 43.90               | 3.71  | 1.18  | 4.89  | 2.87  |
| (1)+(2)+(3)+(4) | 639.21    | 2.31  | 2.19  | 1.28 | 162.76               | 48.74               | 3.34  | 1.28  | 4.61  | 2.31  |

A análise do Quadro 6 permite aferir que é observável uma diminuição do valor do metacentro com o crescimento da estrutura em altura. Mas na fase final esta continua estável, com um valor considerável para a altura do metacentro. Ou seja, cada flutuador possui uma capacidade de gerar momentos estabilizadores em torno do eixo X.

### 4.3. ESPECIFICIDADES RELATIVAS À MODELAÇÃO DE PONTES FLUTUANTES

#### 4.3.1. CONVERSÃO DOS FLUTUADORES EM APOIOS ELÁSTICOS

De modo a proceder ao dimensionamento de uma estrutura flutuante deve-se introduzir no programa de cálculo o comportamento dos flutuadores.

Tendo em consideração a constituição dos flutuadores do tabuleiro anteriormente descrita nos Capítulos 2 e 3, no Quadro 7 são representados os pesos dos diferentes elementos que constituem um flutuador.

Quadro 7 – Representação dos diferentes elementos constituintes de um flutuador do tabuleiro e respetivo peso próprio

| Elementos                               | Espessura (m) | Peso (kN) |
|---|---------------|-----------|
| Aço                                     | 0.03          | 172.5     |
| Espuma de Polietileno de Célula Fechada | Variável      | 361.9     |
| Poliuretano Elastómero                  | 0.03          | 7.8       |

O impulso gerado, de acordo com as expressões apresentadas no Capítulo 2, tem o valor de 1209.536 kN. No modelo numérico é introduzido o peso próprio do flutuador, valor que está de acordo com o Quadro 7.

A verificação da capacidade resistente do flutuador do tabuleiro é efetuada no Anexo C5, sendo que apenas se considerou o aço como elemento resistente. Assim, efetuou-se uma análise simplista em 2D considerando as várias secções do flutuador do tabuleiro e assemelhando este a uma viga simplesmente apoiada com reações nulas devido à pressão hidrostática.

#### 4.3.1.1. Apoio Vertical

O impulso gerado por um objeto flutuante depende do carregamento que este sofre bem como do formato geométrico do objeto em causa. No caso em estudo, deve-se frisar, que o impulso e a sua variação dependem da secção transversal e longitudinal do flutuador. Este pode ser modelado como um apoio linear elástico ou como um apoio não linear elástico, consoante a variação da secção do flutuador ao longo do seu eixo vertical.

Caso a secção do flutuador varie ao longo do eixo vertical, o volume de água deslocado também varia. Perante uma situação deste tipo, o flutuador é considerado como um apoio com rigidez não linear.

No caso de estudo o flutuador possui uma secção que varia ao longo do eixo vertical. Como tal, a variação do impulso hidrostático durante o seu carregamento obedece a uma lei não linear.

A variação do impulso hidrostático pode ser calculada conhecendo a secção do flutuador, sendo esta apresentada no Anexo B2. A rigidez usada para simular um flutuador enquanto apoio vertical é representada em seguida.

$$K_v = 1209.536 \times (-0.0807076446d^2 + 0.5681818182d) \frac{kN}{m} \text{ em que } 0 \text{ m} \leq d_{ff} \leq 3,52 \text{ m} \quad (50)$$

Nesta equação  $d_{ff}$  é a altura submersa de um flutuador

#### 4.3.1.2. Apoio rotacional em torno do eixo X

É de salientar que a rigidez rotacional de um flutuador aumenta com o crescimento do volume submerso do mesmo.

Assim, de uma forma conservativa, considera-se que apenas o peso próprio da estrutura contribui para a rigidez à rotação em torno do eixo X, independentemente do carregamento.

A partir do que foi descrito no Capítulo 1 foi possível estimar a rigidez rotacional a partir da expressão (51):

$$M_{resistente} = P \times GM \times \sin(\alpha) \quad (51)$$

em que,

$M_{resistente}$  – Momento mobilizado pelo flutuador consoante a rotação que este experimenta, ou seja, rigidez rotacional;

$P$  – Peso próprio da estrutura;

$GM$  – Altura do metacentro;

$\sin(\alpha)$  - seno da rotação experimentada pelo flutuador.

Considerando que a variação do  $\sin(\alpha)$  não é linear, a modelação usada para simular a rigidez rotacional também não é linear. Por motivos puramente técnicos, modelou-se a função seno como uma função polinomial de terceiro grau, como representado na expressão (52).

$$\sin(\alpha) = f(\theta) = -0.113\theta^3 - 0.07\theta^2 + 1.027\theta - 0.002; \text{ em } \theta(\text{radianos}) \quad (52)$$

Considerando  $P = 639.2119 \text{ kN}$  e  $GM = 2.309$  metros, a rigidez rotacional é dada por:

$$M_{resistente} = P * GM * f(\theta) = 1475.95 \times f(\theta) \frac{\text{kN.m}}{\text{rad}}; \text{ em que } -1.57\text{rad} \leq \theta \leq 1.57\text{rad} \quad (53)$$

#### 4.3.2. CONVERSÃO DAS ESTACAS TELESCÓPICAS EM APOIOS RÍGIDOS

Como foi referido no Capítulo 2, os dados geológicos/geotécnicos recolhidos não garantem informações significativas sobre a natureza do fundo do rio. Por este motivo, a modelação da cravação da estaca é algo que não traz grandes vantagens. Daí que se considerou a modelação dos seus efeitos sobre a estrutura como apoios infinitamente rígidos. Em termos de esforços na estaca telescópica, bem como na estrutura, esta opção é conservativa.

Anteriormente já foi referido que a ponte flutuante é constituída por três células e que cada uma delas tem duas estacas telescópicas, em que as ligações entre as duas estacas telescópicas e o tabuleiro de uma célula são diferentes entre si. Na primeira, a ligação apenas restringe o deslocamento transversal da célula, enquanto que, na segunda, se restringe o deslocamento longitudinal e transversal da célula.

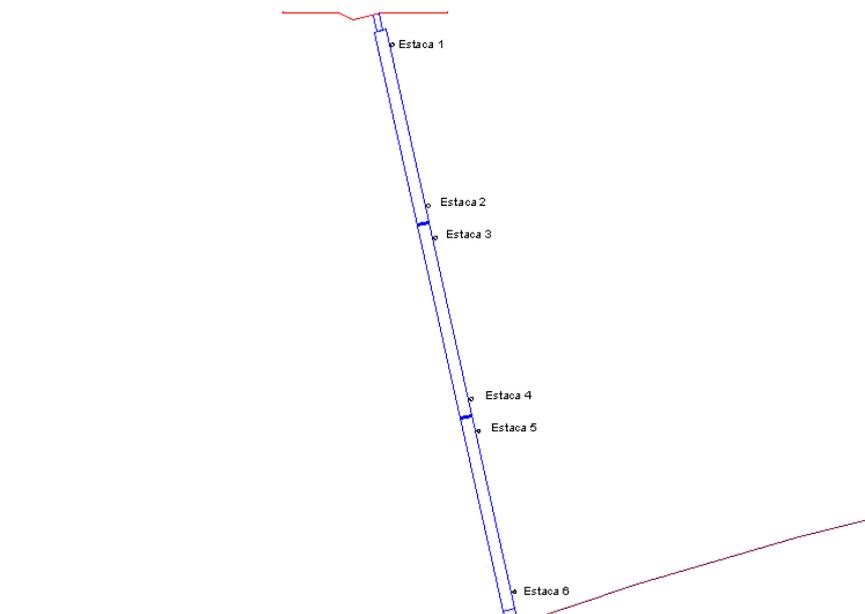


Fig.71 - Numeração das estacas telescópicas

As estacas telescópicas 1, 3 e 6 possuem uma ligação ao tabuleiro que restringe o deslocamento longitudinal e transversal da célula, sendo estas identificadas na Fig.71.

Cada estaca telescópica é constituída por dois elementos, o elemento cravado e o elemento deslizante, que estão representados na Fig.72.

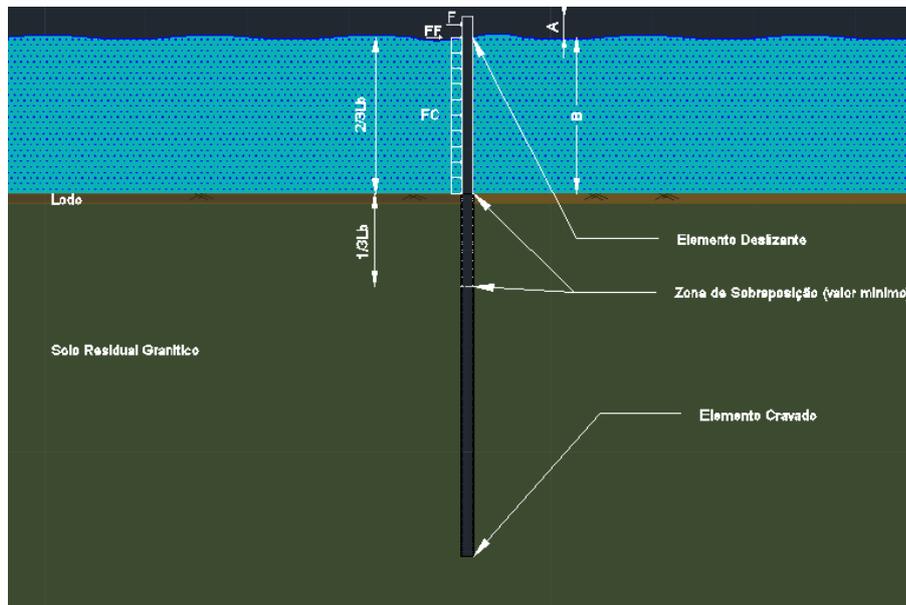


Fig. 72- Identificação dos elementos da estaca telescópica

#### 4.3.2.1. Elemento deslizante

Em termos de dimensionamento, o elemento deslizante é dimensionado usando a combinação mais condicionante, de acordo com o modelo estrutural representado na Fig.73.

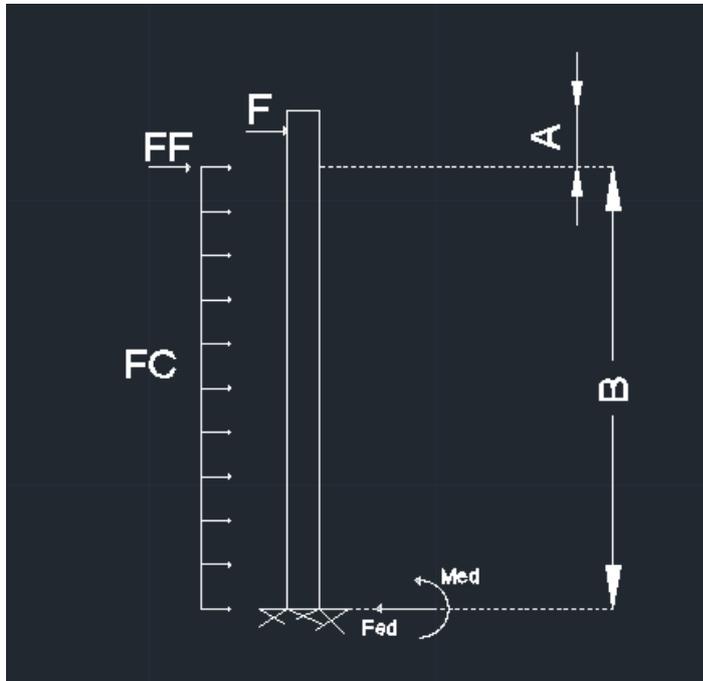


Fig.73 – Sistema estrutural e respetivas cargas usadas para dimensionar o elemento deslizante

Em que,

$L$  – comprimento do elemento deslizante no exterior do elemento cravado;

$F$  – combinação quadrática dos esforços horizontais resultantes da ação condicionante (kN);

$FF$  – força horizontal originada pela corrente quando entra em contato com o flutuador da estaca (calculado com o mesmo procedimento usado para determinação da força da corrente nos flutuadores do tabuleiro, kN);

$F.C.$  – força da corrente ao longo da estaca (kN/m);

$Fed$  – reação resultante das ações atuantes no elemento deslizante em kN;

$Med$  – reação resultante das ações atuantes no elemento deslizante em kN.m.

#### 4.3.2.1. Elemento cravado

No dimensionamento do elemento cravado pode-se retratá-lo como uma estaca cravada com a cabeça livre para rotação sujeita a um momento concentrado e a uma carga horizontal, ambas aplicadas na cabeça da estaca cravada.

Para tal usou-se o Modelo Winkler, que considera uma análise do comportamento do elemento solo-estaca através de meios discretos [29].

O problema de interação solo-estrutura, protagonizado por uma estaca solicitada transversalmente, pode ser assemelhado a um modelo de uma viga sobre apoio elástico, em que a estaca representa o elemento estrutural (viga), enquanto o solo circundante é simulado por um conjunto de molas independentes com as quais se pretende simular a deformabilidade do terreno. Para o presente efeito, considere-se, assim, uma viga de comprimento infinito, largura  $D$  e rigidez de flexão  $EI$ , solicitada por um diagrama de carga conhecido,  $q(x)$  e assente num meio elástico, simulado através de um conjunto de molas contínuas com rigidez  $k$  (N/m<sup>2</sup>/m), tal como ilustrado na Fig.74.

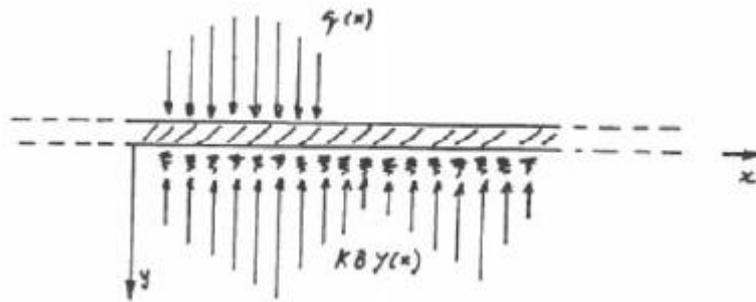


Fig.74 - Viga em apoio elástico contínuo solicitada transversalmente [29]

Admitindo como válido o comportamento elástico e linear do sistema, o estabelecimento de uma relação entre a deformada da viga,  $y(x)$ , os esforços de flexão e de corte e as pressões exteriores,  $p(x)$ , aplicadas é alcançado através de derivadas sucessivas em ordem à variável espacial  $x$ . Desse modo, facilmente se conclui que o equilíbrio do sistema é ditado por uma equação diferencial de 4ª ordem [29]:

$$EI \frac{\partial^4 y(x)}{\partial x^4} = q(x) - kD \times y(x) \quad (54)$$

ou,

$$EI \frac{\partial^4 y(x)}{\partial x^4} + K \times y(x) = q(x) \quad (55)$$

em que,

$$K = k \times D \quad (56)$$

A solução do problema é assim obtida através da resolução da equação diferencial (55), a qual exige a definição das condições de fronteira do problema. Atualmente, dada a elevada capacidade de cálculo permitida pelos meios computacionais, a resolução desta equação diferencial é conseguida recorrendo ao método dos elementos finitos. Contudo, quando as condições de fronteira são relativamente simples, é possível alcançar uma solução aproximada por via analítica, o que sem dúvida constitui uma alternativa de interesse prático, sendo esta alternativa usada pelos motivos referidos anteriormente.

A solução analítica da expressão (55) está limitada pela linearidade do sistema e sujeita às condições de fronteira impostas. Diferentes métodos de resolução podem ser aplicados, tais como a decomposição da solução em duas parcelas, sendo a primeira referente à solução homogénea e a segunda à solução particular.

A equação homogénea é dada por [29]:

$$EI \frac{\partial^4 y(x)}{\partial x^4} + K \times y(x) = 0 \quad (57)$$

A qual pode ser manipulada da seguinte forma [29]:

$$EI \frac{\partial^4 y(x)}{\partial x^4} + 4\lambda^4 \times y(x) = 0 \quad (58)$$

em que,

$$\lambda = \sqrt[4]{K/4EI} \quad (59)$$

$$K = 0,65^{12} \sqrt{\frac{E_s B^4}{E_p I_p} \frac{E_s}{1 - \nu^2}} \quad (60)$$

O coeficiente  $K$  representa, de forma aproximada, a rigidez do solo.

Em que:

$E_s$  - módulo de deformabilidade do solo;

$B$  - largura da estaca;

$E_p I_p$  - rigidez de flexão da estaca;

$\nu$  - coeficiente de Poisson.

Este parâmetro,  $\lambda$ , tem as dimensões do inverso do comprimento elástico,  $le$ , [29]

$$\lambda = 1/l_e \quad (61)$$

Como tal, este parâmetro tem um significado físico bem concreto, já que fornece uma ideia do comprimento da estaca ao longo do qual são significativos os deslocamentos, esforços e pressões mobilizadas no terreno. E partir do momento em que os deslocamentos do terreno mobilizados passam a ser desprezáveis estamos perante o comprimento elástico mínimo para o comprimento de cravação da estaca. É de salientar que caso a estaca seja muito flexível em relação ao solo, o comprimento elástico será pequeno, o que significa que os esforços interessarão a estaca ao longo de uma extensão pouco relevante em torno do ponto de aplicação da perturbação [29] (no presente cenário corresponde ao ponto de aplicação da carga horizontal e do momento).

Procedendo à integração analítica da expressão (58), chega-se à seguinte solução [29]:

$$y(x) = e^{\lambda x} \times (C_1 \times \cos(\lambda x) + C_2 \times \sin(\lambda x)) + e^{-\lambda x} \times (C_3 \times \cos(\lambda x) + C_4 \times \sin(\lambda x)) \quad (62)$$

Em que  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  e  $C_4$  são constantes que resultam da aplicação de condições de fronteira ao problema [29].

De salientar que a dedução da solução desenvolvida até ao momento se baseou no pressuposto de uma viga com desenvolvimento infinito, o que dificilmente pode ser assemelhado à realidade física de uma estaca sujeita a forças e/ou momentos aplicados na cabeça. Para melhor ilustrar este aspecto, considere-se a Fig.75, onde se ilustra uma estaca esbelta solicitada na cabeça por uma força horizontal e por um momento.

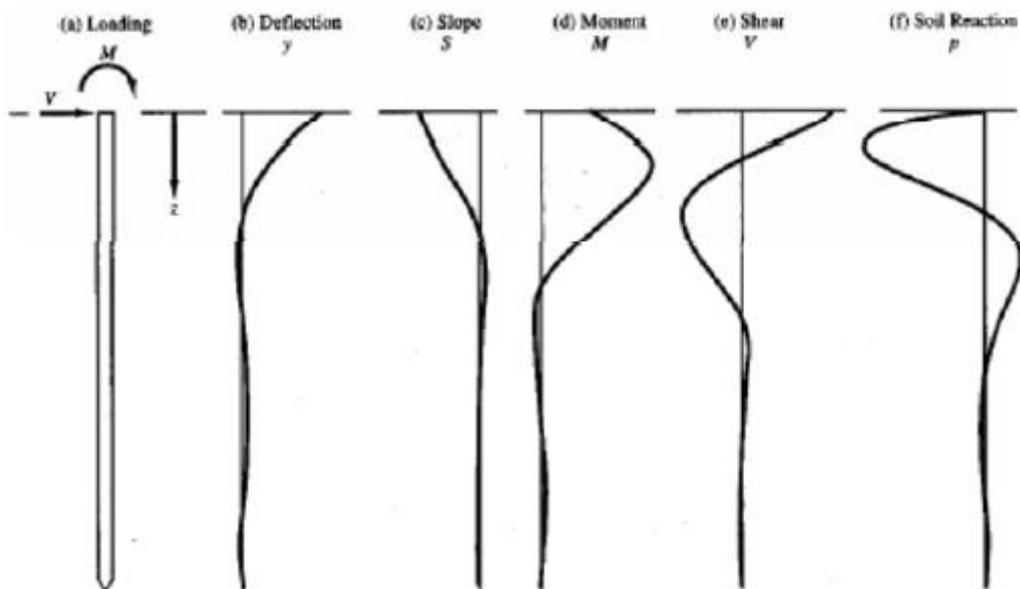


Fig.75 - Estaca esbelta solicitada por força horizontal e momento aplicados na cabeça [29]

Da observação da Fig.75, ressalta de imediato que, a partir de uma dada profundidade, todas as grandezas representadas tendem a desvanecer. Esse comprimento tem uma relação direta com o comprimento elástico da estaca. Como tal, é razoável supor que, se o comprimento da estaca é substancialmente superior ao comprimento elástico, a avaliação de esforços na estaca pode ser efectuada assumindo esta como uma viga semi-indefinida. É com base nesse pressuposto que podem ser obtidas soluções analíticas com interesse prático, tal como se apresenta em seguida.

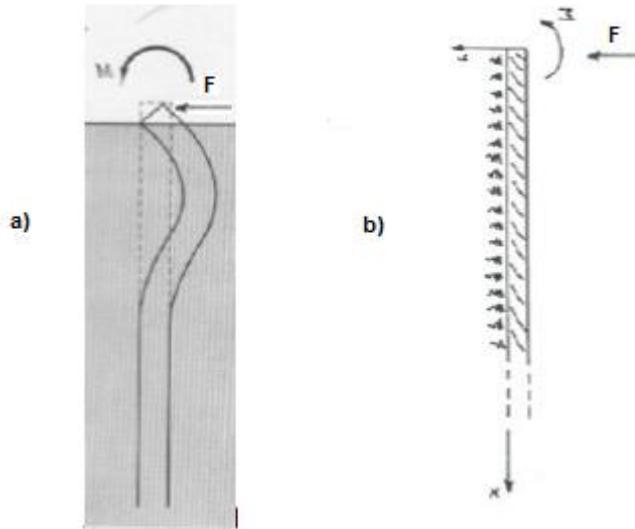


Fig.76 - Estaca submetida a um momento concentrado aplicado na cabeça: a) representação esquemática; b) modelo de Winkler [29]

Tendo em linha de conta que os deslocamentos da estaca tenderão para zero à medida que evolui o valor de  $x$ , as constantes  $C_1$  e  $C_2$  da equação (62) terão de ser nulas. Logo, a solução é do tipo [29]:

$$y(x) = e^{-\lambda x} \times (C_3 \times \cos(\lambda x) + C_4 \times \sin(\lambda x)) \tag{63}$$

Por sua vez, as constantes  $C_3$  e  $C_4$  são obtidas considerando as seguintes condições de fronteira:

$$M(x = 0) = EI \times \frac{\partial^2 y(x=0)}{\partial^2 x} = -M = -Med \tag{64}$$

$$V(x = 0) = EI \times \frac{\partial^3 y(x=0)}{\partial^3 x} = -F = -Fed \tag{65}$$

Introduzindo as condições de fronteira na solução dada pela expressão (63), conclui-se que:

$$y(x) = -\frac{M}{2\lambda^2 EI} e^{-\lambda x} \times (\sin(\lambda x) - \cos(\lambda x)) + \frac{F}{2\lambda^3 EI} \times e^{-\lambda x} \times (\cos(\lambda x)) \quad (66)$$

$$M(x) = -M e^{-\lambda x} \times (\sin(\lambda x) + \cos(\lambda x)) - \frac{F}{\lambda} \times e^{-\lambda x} \times (\sin(\lambda x)) \quad (67)$$

$$V(x) = -2M\lambda e^{-\lambda x} \times (\sin(\lambda x)) - F \times e^{-\lambda x} \times (\cos(\lambda x) - \sin(\lambda x)) \quad (68)$$



# 5

## ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

### 5.1. NORMAS E CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento da estrutura foi efetuado tendo como base os regulamentos europeus relativos à construção, designados por Eurocódigos.

As normas europeias utilizadas foram:

- NP EN1990:2009, Bases para o projeto de estruturas [31];
- EN1990:2003, Bases para o projeto de estruturas [32];
- EN1990:2003, Anexo A2, Aplicação em pontes (versão em língua inglesa) [33];
- EN1991-1-1:2010, Ações em estruturas: Ações gerais – Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios [34];
- EN1991-1-4:2010, Ações em estruturas: Ações gerais – Ações do vento [26];
- EN1991-1-5:2009, Ações em estruturas: Ações gerais – Ações térmicas [27];
- EN1991-2:2003, Ações em estruturas: Sobrecargas em pontes (versão em língua inglesa) [23];
- EN1993-1-1:2010, Projeto de estruturas em aço – Regras gerais e regras para edifícios [17];

O Eurocódigo 0 indica que o dimensionamento e verificação de segurança deve incluir a averiguação do Estado Limite Último e do Estado Limite de Utilização.

O Estado Limite Último pretende verificar a segurança da estrutura de forma a manter-se estável em situações limite, ou seja, o estado que precede o colapso estrutural. Esta verificação obtém-se pela limitação dos esforços atuantes face à resistência da estrutura, sendo as solicitações majoradas e as propriedades dos materiais minoradas, através de coeficientes indicados nos Eurocódigos.

Distinguem-se três tipos de combinações para as ações variáveis em função da probabilidade de ocorrência e natureza das solicitações. Esta distinção traduz-se nos diferentes valores dos coeficientes  $\psi_i$ .

Quadro 8 - Coeficientes  $\psi_i$  para as diferentes ações

|                          | $\gamma$ | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Peso Próprio             | 1.35     | -        | -        | -        |
| Corrente do Rio          | 1.5      | 0.3      | 0.2      | 0        |
| Sobrecarga de Utilização | 1.5      | 0.4      | 0.4      | 0        |
| Vento                    | 1.5      | 0.6      | 0.2      | 0        |
| Temperatura              | 1.5      | 0.6      | 0.6      | 0.5      |
| Ondas                    | 1.5      | 0.3      | 0.2      | 0        |
| Ação Acidental           | 1        | -        | -        | -        |

As ações são classificadas face à prevalência da sua atuação e dividem-se em 3 tipos: ações permanentes (G), ou seja, solicitações devidas a cargas que atuam continuamente sobre a estrutura e onde se incluem o peso próprio e equipamentos fixos, neste caso revestimentos, guarda-corpos, etc; ações variáveis (Q) devidas à sobrecarga de utilização, ação do vento ou da temperatura; ação acidental (A) que corresponde a ação de uma cheia semelhante à maior cheia registada até hoje, como foi referido no Capítulo 4.

O valor de cálculo dos esforços no Estado Limite Último é dado, genericamente por:

$$S_{ed} = \sum \gamma_G \times G_{k,i} + \gamma_Q \times [Q_{k,1} + \sum_{i=2}^m \psi_0 \times Q_{k,i}] \quad (69)$$

E no caso da consideração da ação acidental:

$$S_{ed} = \sum G_{k,i} + A \quad (70)$$

Em contrapartida é também fundamental efetuar uma análise do Estado Limite de Utilização, também designado por Estado Limite de Serviço, onde através das combinações características, frequentes e quase-permanentes das ações se pretende garantir que os requisitos de utilização são plenamente satisfeitos, garantindo o comportamento satisfatório da estrutura e a garantia de conforto e sensação de segurança dos utentes.

A combinação característica ou rara é calculada por:

$$S_{cc} = \sum G_{k,i} + Q_{k,i} + [\sum_{i=2}^n \psi_{0,i} \times Q_{k,i}] \quad (71)$$

a combinação frequente por:

$$S_{cf} = \sum G_{k,i} + \psi_{1,i} \times Q_{k,i} + \left[ \sum_{i=2}^n \psi_{2,i} \times Q_{k,i} \right] \quad (72)$$

e a combinação quase-permanente, que possui uma maior probabilidade de ocorrer, obtém-se através de:

$$S_{cqp} = \sum G_{k,i} + \left[ \sum_{i=1}^n \psi_{2,i} \times Q_{k,i} \right] \quad (73)$$

Para avaliar o comportamento da estrutura em Estado Limite de Utilização é preciso controlar a flecha máxima entre vãos, que, segundo o Eurocódigo 0, em pontes, deve ser inferior a:

$$\delta = L/450 \quad (74)$$

Nestas fórmulas,  $\gamma_G$  e  $\gamma_Q$  referem-se aos coeficientes de segurança das ações permanentes e variáveis, respetivamente;  $G_{k,i}$  são os valores característicos das ações permanentes;  $Q_{k,1}$  o valor devido à ação variável considerada base na combinação em questão;  $Q_{k,i}$  os valores característicos das restantes ações variáveis e por fim  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  e  $\psi_2$  os coeficientes de cálculo para as combinações de Estado Limite de Utilização [31].

## 5.2. MODELAÇÃO

A análise da nova estrutura foi efetuada com recurso a um programa de cálculo automático, em que, devido a considerações de simetria, se optou por modelar apenas a célula mais condicionante, situada na extremidade de Gaia.

Utilizou-se para tal o software de análise estrutural *Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014* através de um modelo numérico global. Esta análise permite dimensionar e averiguar a viabilidade da estrutura, obtendo-se os esforços, deslocamentos e deformações devidas às ações consideradas.

O software de análise estrutural utilizado possui a capacidade de geração automática de combinações para todos os Estados Limites referidos anteriormente, quer o Último quer o de Serviço. A capacidade do software de gerar e calcular as combinações referidas anteriormente permite uma análise mais completa da resposta da estrutura.

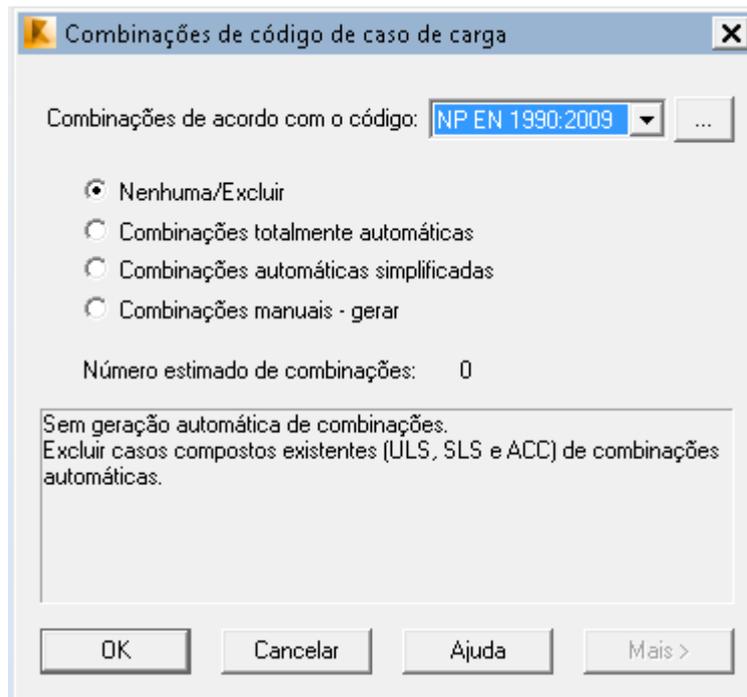


Fig.77 – Menu de geração de combinações do software *Autodesk Robot*

Na análise realizada à estrutura em questão utilizou-se o gerador de combinações automáticas, como se verifica, de seguida, neste capítulo.

No modelo global foi considerado o eixo X como representando a direção longitudinal de uma célula, o eixo Y corresponde à direção transversal e o eixo Z retrata a direção vertical de uma das três células constituintes da ponte flutuante. Uma vez que são todas idênticas, apenas se analisa uma delas. Toda a modelação foi realizada recorrendo a elementos finitos do tipo barra, que representam tridimensionalmente a estrutura, de forma a estudar os esforços e deformações instaladas face às ações a que a nova travessia está sujeita.

A modelação do tabuleiro, das carlingas e das treliças é representada na Fig. 78.

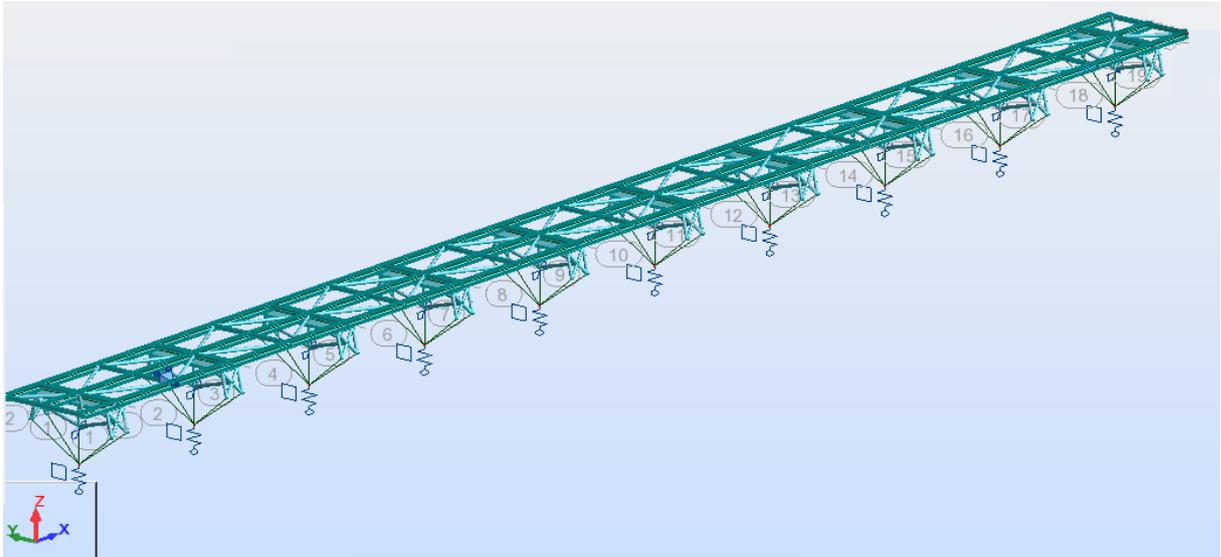


Fig.78 - Célula modelada no software Autodesk Robot, com representação dos eixos utilizados.

Ressalta-se que as grades de piso não foram modeladas. Apenas se efetuou a verificação da sua capacidade no caso mais condicionante, como é demonstrado, posteriormente, neste capítulo.

Tendo em consideração a utilização de apoios de rigidez não linear na modelação da estrutura foi necessário recorrer a um processo iterativo para se obter a solução final da célula. Esta solução respeita todas as condicionantes, como posteriormente é apresentado.

A solução final do tabuleiro, carlingas e treliças é apresentado de seguida:

- Tabuleiro:
  - Vigas longitudinais – Perfil HEB 280 – EN 10025 em que a classe do aço é S355;
  - Barras transversais – Perfil tubulares de secção retangular 140\*140\*16 – EN 10025 em que a classe do aço é S355;
  - Barras diagonais – Perfil tubular de secção circular 141.3\*14.2 – EN 10025 em que a classe do aço é S355;
  - Grades de Piso – GB100-385 -38 (Anexo C1);
- Carlinga - Perfil Laminar 4280\*1500\*30 – EN 10025 em que a classe do aço é S355;
- Treliça – Perfil tubular de secção circular 141.3\*6.4 – EN 10025 em que a classe do aço é S355.
- Flutuador do tabuleiro/Flutuador da Estaca Telescópica – Perfis Laminares - EN 10025 em que a classe do aço é S355.

### 5.3. ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ELU)

Com as combinações em ELU apresentadas em seguida é possível estudar os esforços máximos instalados nas estacas telescópicas, no tabuleiro da ponte, nas treliças e nos flutuadores.

É de salientar que o cálculo da estrutura flutuante se resumiu à análise de apenas uma célula, ou seja, através da simetria e da igualdade de condições das três células constituintes da ponte flutuante apenas se analisa uma delas.

### 5.3.1. AÇÃO ACIDENTAL

A consideração do caudal de cheia máxima registada até hoje como a ação acidental é condicionante para dimensionamento das estacas telescópicas, como se verifica no Quadro 9.

Quadro 9 - Combinações condicionantes no dimensionamento das estacas telescópicas

| Comb. | Natureza  | Fx (kN) | Fy (kN) |
|-------|-----------|---------|---------|
| 1     | Acidental | 0       | 732     |
| 1     | Acidental | 57      | 685     |
| 75    | ELU       | 116     | 270     |
| 147   | ELU       | 315     | 270     |
| 152   | ELU       | 0       | 330     |
| 225   | ELU       | 235     | 330     |
| 380   | ELU       | 0       | 668     |
| 445   | ELU       | 155     | 663     |

As combinações geradas automaticamente pelo *Autodesk Robot*, no caso do Estado Limite Último, não são condicionantes para o dimensionamento das estacas telescópicas, como se verifica no Quadro 9.

De seguida são apresentadas na Fig.79 as reações ocorridas na combinação acidental, que são usadas para o dimensionamento das estacas telescópicas.

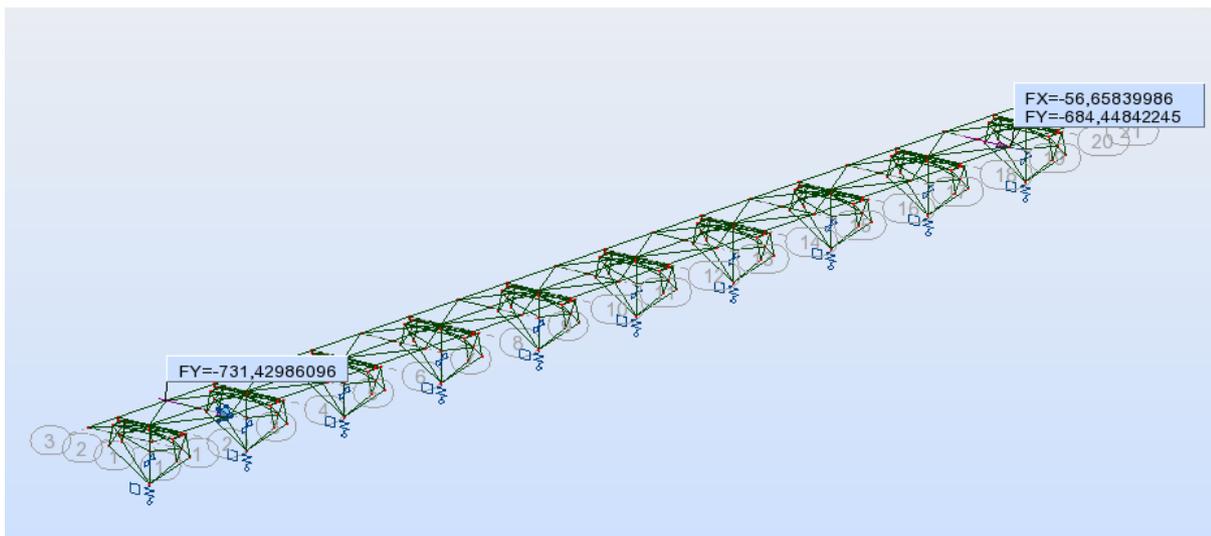


Fig.79 - Combinação acidental com as respetivas reações

## 5.3.2. ESTADO LIMITE ÚLTIMO – ANÁLISE DA CAPACIDADE DE IMPULSÃO DOS FLUTUADORES DO TABULEIRO

No projeto em causa a capacidade de impulsão dos flutuadores deve ser verificada de forma a garantir a segurança global da estrutura. Para esse fim realizou-se uma análise minuciosa de todas as combinações em Estado Limite Último, geradas automaticamente através do software *Autodesk Robot*.

Os casos mais condicionantes são apresentados de seguida, no Quadro 10.

Quadro 10 – Combinações condicionantes em termos de reações verticais

| Comb | Natureza | Fz (kN)  |
|------|----------|----------|
| 121  | ELU      | 1126.121 |
| 123  | ELU      | 1146.199 |
| 125  | ELU      | 1148.120 |
| 126  | ELU      | 1155.880 |
| 127  | ELU      | 1165.127 |
| 129  | ELU      | 1166.100 |
| 130  | ELU      | 1167.560 |
| 131  | ELU      | 1175.830 |
| 137  | ELU      | 1182.980 |
| 146  | ELU      | 1182.600 |

É visível que todas as reações verticais dos flutuadores são inferiores a 1209.536 kN, logo conclui-se que a capacidade de impulsão dos flutuadores é superior ao necessário.

Na Fig.80 é ilustrada a combinação do Estado Limite Último que condiciona em termos de reação vertical (combinação 137).

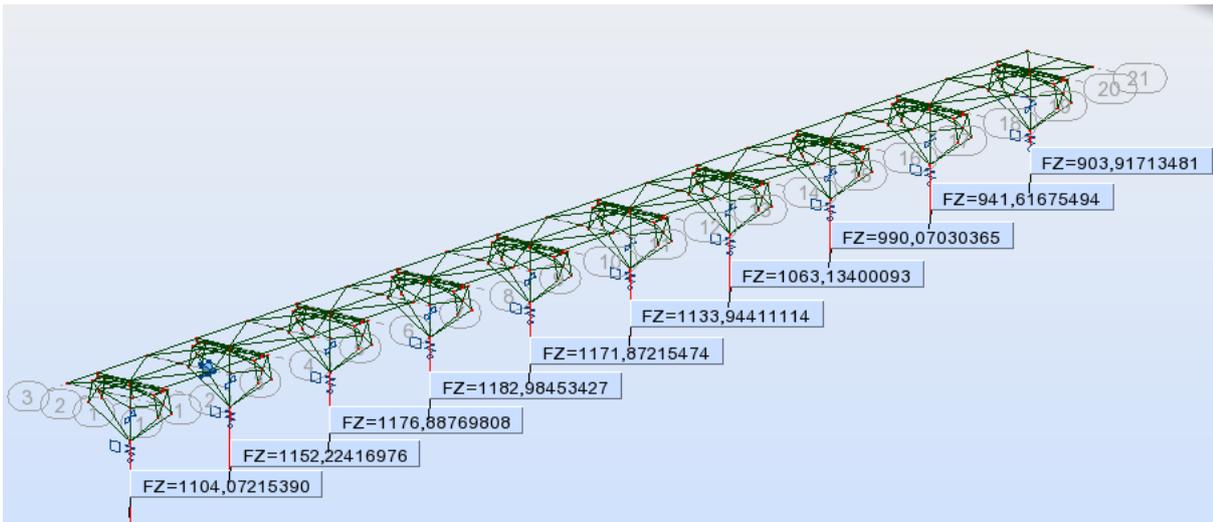


Fig.80 - Combinação 137 condicionante em termos de reação vertical

### 5.3.3. ESTADO LIMITE ÚLTIMO – ANÁLISE DO MOMENTO RESISTENTE EM TORNO DO EIXO X

Como já foi referido anteriormente, os flutuadores possuem rigidez à rotação em torno do eixo X, sendo que esta depende sempre da rotação experimentada. Ou seja, trata-se de um apoio rotacional elástico não linear. De forma a controlar essas rotações, em Estado Limite Último, analisou-se as combinações geradas, automaticamente, pelo software *Autodesk Robot*, sendo, de seguida, apresentadas as combinações mais condicionantes.

Quadro 11 - Combinações condicionantes em termos de momentos resistentes Mx

| Comb. | Natureza | Mx(kN.m) | Rotação (°) |
|-------|----------|----------|-------------|
| 380   | ELU      | 351.38   | 13.703      |
| 450   | ELU      | 351.59   | 13,710      |
| 454   | ELU      | 351.60   | 13,712      |

Com base na informação apresentada no Quadro 10, é possível constatar que as rotações experimentadas pela estrutura são pouco significativas, isto é, não são condicionantes.

Na Fig. 81 está ilustrada a combinação 454.

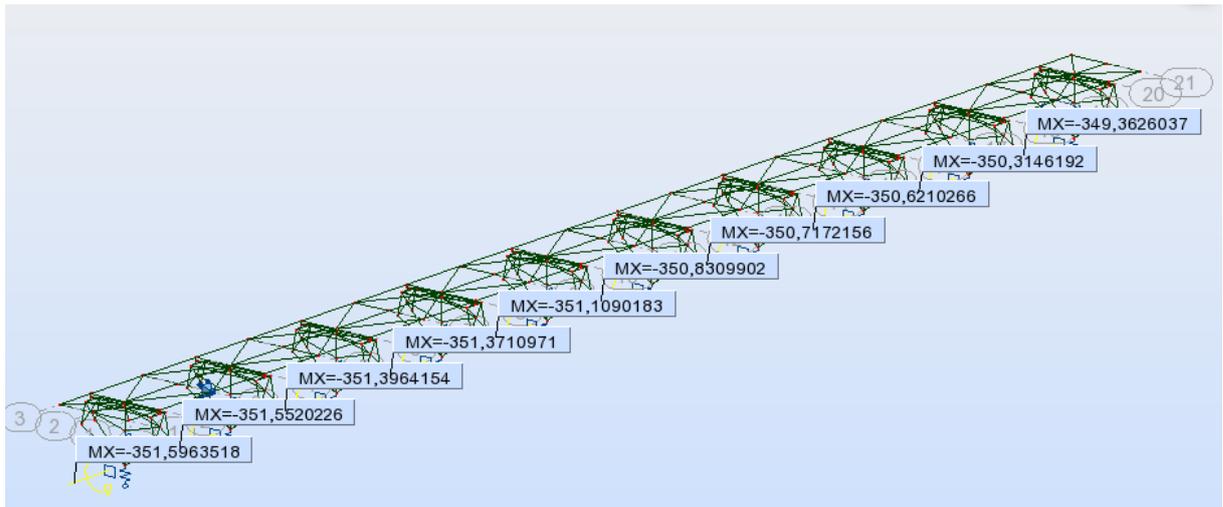


Fig.81 - Combinação 454 com as reações Mx

#### 5.3.4. ESTADO LIMITE ÚLTIMO – ANÁLISE DOS MOMENTOS FLECTORES MY AO LONGO DO TABULEIRO

Os momentos flectores são de grande relevância para um correto dimensionamento da estrutura e, tratando-se de um tabuleiro metálico, apenas o valor absoluto dos momentos é significativo.

No Quadro12, indicam-se as combinações mais condicionantes, sendo que estas foram geradas automaticamente pelo software *Autodesk Robot*.

Quadro 12 - Combinações com os momentos flectores My ao longo do tabuleiro condicionantes

| Comb. | Natureza | My (kN.m) |
|-------|----------|-----------|
| 77    | ELU      | 110.979   |
| 78    | ELU      | 107.805   |
| 79    | ELU      | 205.350   |
| 80    | ELU      | 198.827   |
| 81    | ELU      | 187.328   |
| 83    | ELU      | 198.620   |
| 95    | ELU      | 190.070   |
| 99    | ELU      | 198.072   |
| 103   | ELU      | 204.389   |

A combinação que condiciona em termos de momentos flectores é a 79, sendo esta representada de seguida na Fig.82.

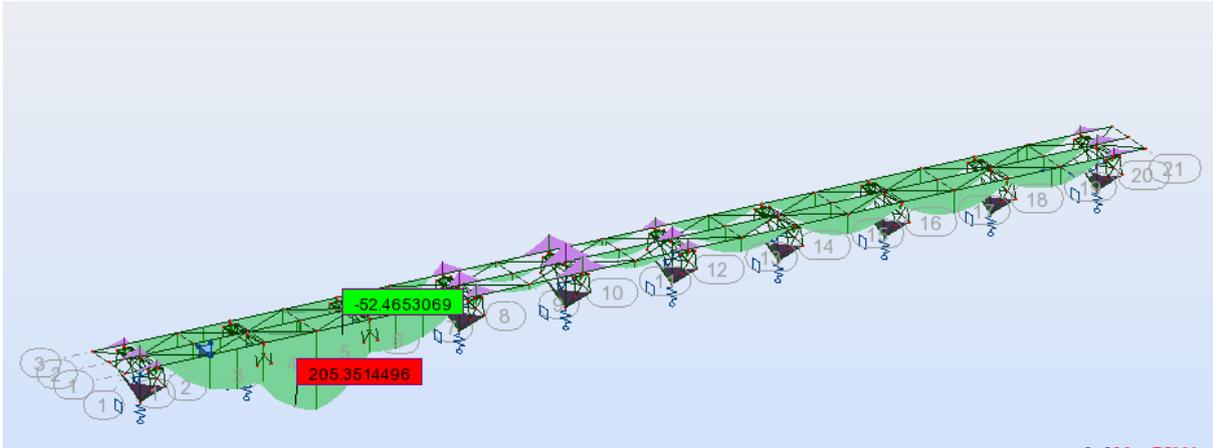


Fig.82 - Combinação 79 com os momentos fletores My

### 5.3.5. ESTADO LIMITE ÚLTIMO – ANÁLISE DO ESFORÇO AXIAL NO TABULEIRO

Em estruturas metálicas o esforço axial pode ser de grande relevância, sobretudo quando a sua natureza é de compressão. Como o tabuleiro escolhido para execução deste projeto é metálico, considerou-se que uma análise minuciosa deste aspecto é de vital importância.

Depois de realizada essa análise, chegou-se a um conjunto de combinações que têm grande relevância neste aspecto, sendo estas apresentadas no Quadro 13.

Quadro 13 - Combinações condicionantes em termos de esforço axial do tabuleiro

| Comb. | Natureza | Esforço Axial (kN) |
|-------|----------|--------------------|
| 214   | ELU      | -1020.981          |
| 218   | ELU      | -1026.880          |
| 380   | ELU      | -1883.459          |
| 383   | ELU      | -1891.599          |
| 387   | ELU      | -1889.994          |
| 410   | ELU      | -1885.347          |
| 417   | ELU      | -1903.712          |
| 419   | ELU      | -1912.030          |
| 453   | ELU      | -1917.528          |
| 455   | ELU      | -1925.849          |

É visível no Quadro 13 que os esforços axiais, cuja natureza é de compressão, são de grande relevância.

A combinação mais condicionante no aspecto referido anteriormente é representada de seguida na Fig.83.

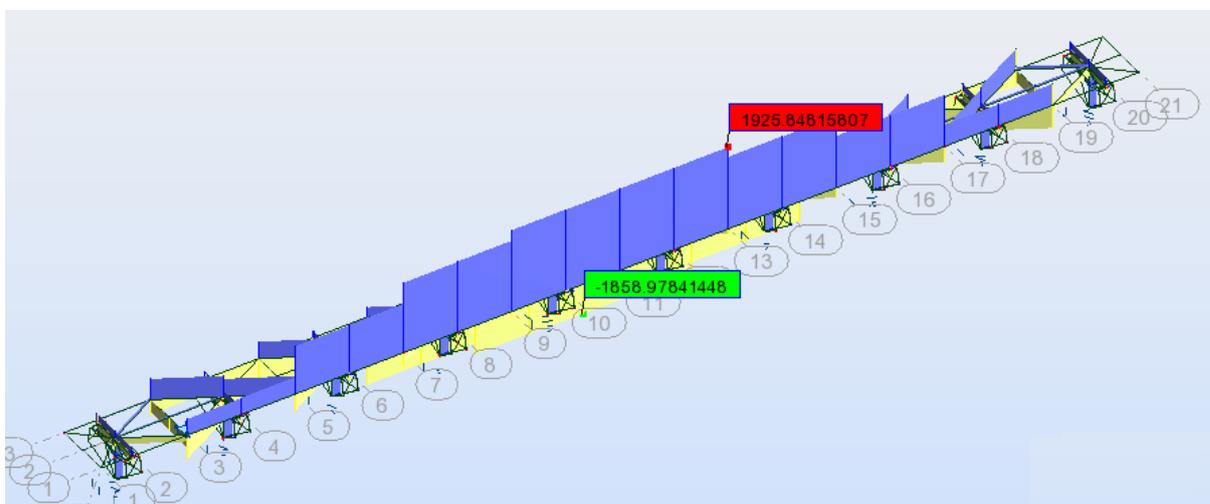


Fig.83 - Combinação 455 com esforço axial ilustrado

#### 5.4. ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS)

As combinações apresentadas, em seguida, correspondem apenas ao Estado Limite de Serviço. Estas têm o objetivo de estudar os deslocamentos máximos da estrutura em serviço e posteriormente comparar com os limites exigidos pelo Eurocódigo 3.

A análise que se apresenta de seguida baseou-se, sobretudo, na combinação característica.

##### 5.4.1. COMBINAÇÃO CARACTERÍSTICA - ROTAÇÃO DA ESTRUTURA EM TORNO DO EIXO X

Em serviço, a rotação do tabuleiro em torno do eixo X deve ser controlada para que sua utilização não origine desconforto dos utentes.

Para tal utilizou-se o gerador automático de combinações do software *Autodesk Robot* e após uma análise minuciosa dos resultados obtidos alcançaram-se as seguintes combinações condicionantes apresentadas no Quadro 14.

Quadro 14 – Combinações condicionantes em termos de rotação em torno do eixo X

| Comb. | Natureza | Rotação (°) |
|-------|----------|-------------|
| 903   | CHR      | 8,772       |
| 983   | CHR      | 8,777       |
| 1001  | CHR      | 8,769       |
| 1077  | CHR      | 7,753       |
| 1091  | CHR      | 7,754       |
| 1159  | CHR      | 2,790       |
| 1197  | CHR      | 2,789       |

A combinação onde ocorre a maior rotação do tabuleiro é a 983, sendo esta apresentada na Fig.84.

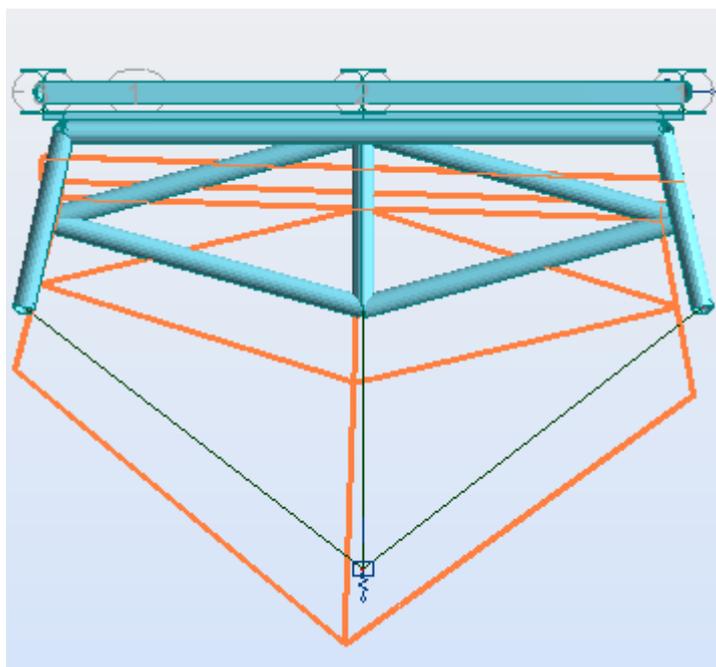


Fig.84 – Combinação 903 com a rotação em torno do eixo X ligada

A rotação condicionante possui um valor significativo, mas não conduz a um desconforto expressivo dos utentes.

#### 5.4.2. COMBINAÇÃO CARACTERÍSTICA - DESLOCAMENTO DA ESTRUTURA AO LONGO DO EIXO X

A natureza da ligação entre o tabuleiro e as estacas telescópicas de uma célula já foi descrito no Capítulo 2, onde existem dois tipos de ligações por célula. Uma delas permite deslocamentos ao longo do eixo X e para que esta funcione na perfeição é preciso saber o máximo deslocamento ocorrido ao

longo do eixo X. Ou seja, para que a folga existente na ligação entre o tabuleiro e a estaca telescópica de uma célula seja suficiente para o correto funcionamento do sistema.

São apresentadas no Quadro 15 as combinações onde ocorrem os máximos deslocamentos, ao longo do eixo X, do tabuleiro de uma célula.

Quadro 15 - Combinações condicionantes em termos de deslocamentos na direção do eixo X

| Comb. | Natureza | Deslocamento Ux (cm) |
|-------|----------|----------------------|
| 734   | CHR      | 2,800                |
| 765   | CHR      | 2,815                |
| 767   | CHR      | 1,798                |
| 793   | CHR      | 2,794                |
| 800   | CHR      | 1,819                |
| 863   | CHR      | 1,809                |

O máximo deslocamento ocorrido ao longo do eixo X é um valor reduzido, mas é tido em conta no dimensionamento da ligação referida anteriormente.

A Fig.85 apresenta a deformada da combinação 765.

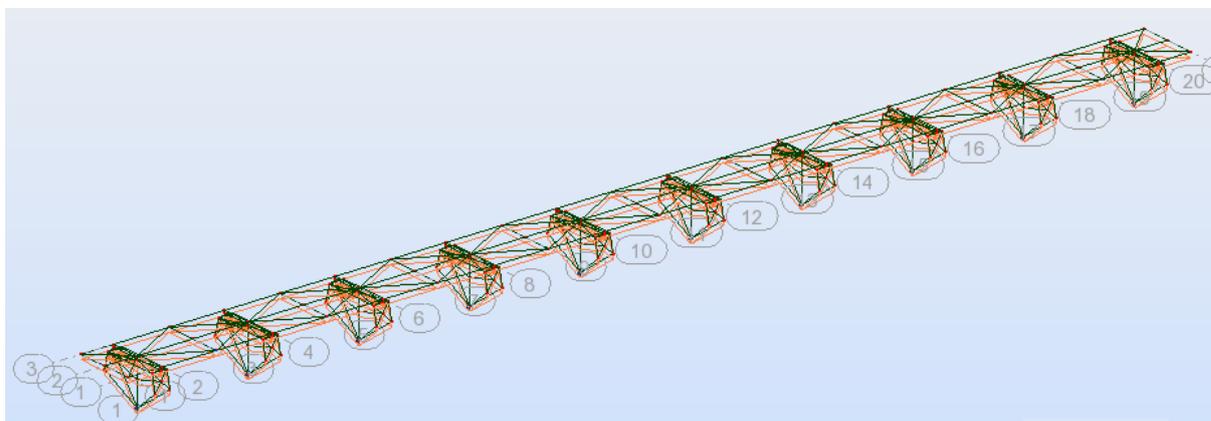


Fig.85 – Combinação 765 com a ilustração da sua respetiva deformada

#### 5.4.3. COMBINAÇÃO CARACTERÍSTICA - DESLOCAMENTO DA ESTRUTURA AO LONGO DO EIXO Y

A célula apenas possui deslocamentos diferenciais transversais significativos quando ocorre a corrente com duplo sentido, ou seja, estes deslocamentos apenas tornam-se relevantes em serviço. Determinou-se a sua grandeza de forma a conhecer se são condicionantes no correto funcionamento da estrutura

São apresentados no Quadro 16 os deslocamentos diferenciais máximos ocorridos na célula em análise ao longo do eixo Y.

Quadro 16 - Combinações condicionantes em termos de deslocamentos na direção Y

| Comb. | Natureza | Deslocamento Uy (cm) |
|-------|----------|----------------------|
| 978   | CHR      | 9,105                |
| 983   | CHR      | 9,233                |
| 987   | CHR      | 9,230                |
| 1016  | CHR      | 9,211                |
| 1048  | CHR      | 9,190                |
| 1052  | CHR      | 9,187                |

Tendo em conta que os valores dos deslocamentos diferenciais apresentados no Quadro 16 provocam rotações relativas pouco significativas entre células, a ligação entre células não é condicionada pelos deslocamentos relativos ao longo do eixo Y.

5.4.4. COMBINAÇÃO CARACTERÍSTICA – CONTROLO DAS FLECHAS OCORRIDAS NO TABULEIRO DE UMA CÉLULA

No dimensionamento de pontes as flechas que ocorrem ao longo dos vãos são limitadas. A numeração dos vãos da célula em análise é apresentada na Fig.86.

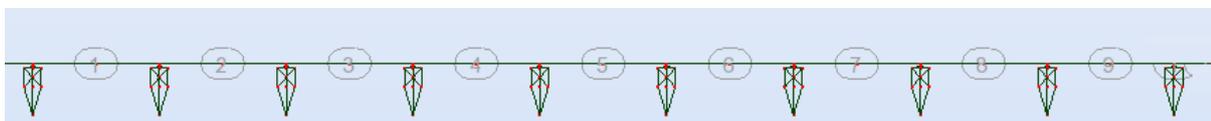


Fig. 86 – Numeração dos vãos de uma célula

Após a geração automática de combinações, analisou-se cada uma delas, sendo apresentadas as mais limitadoras no Quadro 17.

Quadro 17 – Combinações condicionantes com as flechas por vão

|             | Vãos  |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
| Natureza    | CHR   |
| Comb.       | 1357  | 479   | 1322  | 464   | 1326  | 478   | 1340  | 478   | 1315  |
| Flecha (cm) | 0,965 | 1,616 | 0,732 | 0,747 | 0,405 | 0,678 | 0,402 | 1,517 | 0,780 |

A combinação mais limitadora em termos de flecha ocorrida num dos vãos é a 479, sendo esta representada na Fig.87.

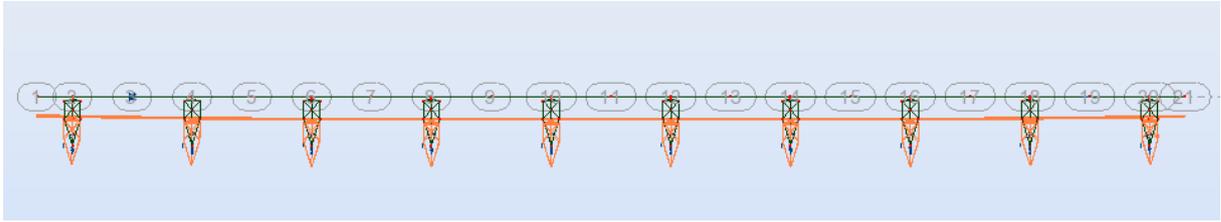


Fig. 87 – Combinação 479 com a ilustração da sua deformada

O valor limite para a flecha é de 1.64 centímetros, dado que o vão tem um comprimento de 7.4 metros. Logo, após o que foi exposto, conclui-se que o comportamento da estrutura em Estado Limite de Utilização é verificado após o controlo da deformada máxima, segundo o Eurocódigo 0, em pontes.

#### 5.4.5. COMBINAÇÃO CARACTERÍSTICA - DESLOCAMENTO RELATIVO ENTRE CÉLULAS AO LONGO DO EIXO Z

Tendo em conta que os deslocamentos verticais relativos entre células não foram restringidos, é de grande importância saber a sua ordem de grandeza, de forma a dotar a passagem entre células da capacidade de suportar estes deslocamentos verticais relativos. Sabendo o deslocamento máximo relativo entre células, é possível dimensionar a folga a utilizar na passagem entre células.

Após uma análise minuciosa das combinações geradas automaticamente, calculou-se a amplitude máxima dos deslocamentos relativos verticais das extremidades da célula, sendo esta apresentada no Quadro 18.

Quadro 18 – Deslocamento relativo entre células

| Deformação Máxima Relativa |        |
|----------------------------|--------|
| Natureza                   | CHR    |
| $\Delta U_z$ (cm)          | 27,829 |

A partir desta amplitude máxima dos deslocamentos relativos verticais das extremidades da célula é possível dimensionar a folga da passagem entre células.

#### 5.4.6. COMBINAÇÃO QUASE - PERMANENTE

Esta combinação de ações pode atuar na estrutura durante grande parte do seu tempo de vida útil, logo é necessário uma análise dos seus efeitos.

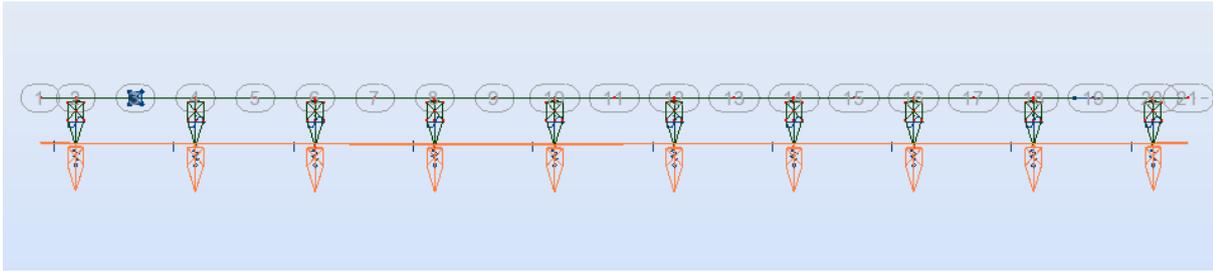


Fig. 88 - Combinação quase-permanente com a ilustração da deformação que esta provoca

É visível na Fig. 88 que todos os flutuadores se encontram à mesma cota, logo durante grande parte do tempo de vida útil da estrutura não existem deslocamentos diferenciais verticais.

### 5.5. ANÁLISE DA FASE DE CONSTRUÇÃO

A construção das células, mais precisamente da parte estrutural, é feita em terra e, posteriormente, são içadas e introduzida dentro rio, uma a uma. Para assegurar a segurança desta fase, considerou-se uma sobrecarga de 1.5 kN/m ao longo das vigas longitudinais, para além do peso próprio dos elementos estruturais, ou seja, o peso próprio das vigas longitudinais, das barras transversais e diagonais, das carlingas, das treliças e dos flutuadores. São usadas cinco gruas para o içamento de cada célula, sendo que cada grua se liga a dois pontos da célula. Estes pontos localizam-se no alinhamento dos flutuadores, mais precisamente, no tabuleiro. O içamento realiza-se num dia em que a ação do vento seja reduzida.

São apresentados na Fig. 89 e na Fig. 90 os momentos fletores em Y e as reações verticais que ocorrem no içamento de cada célula.

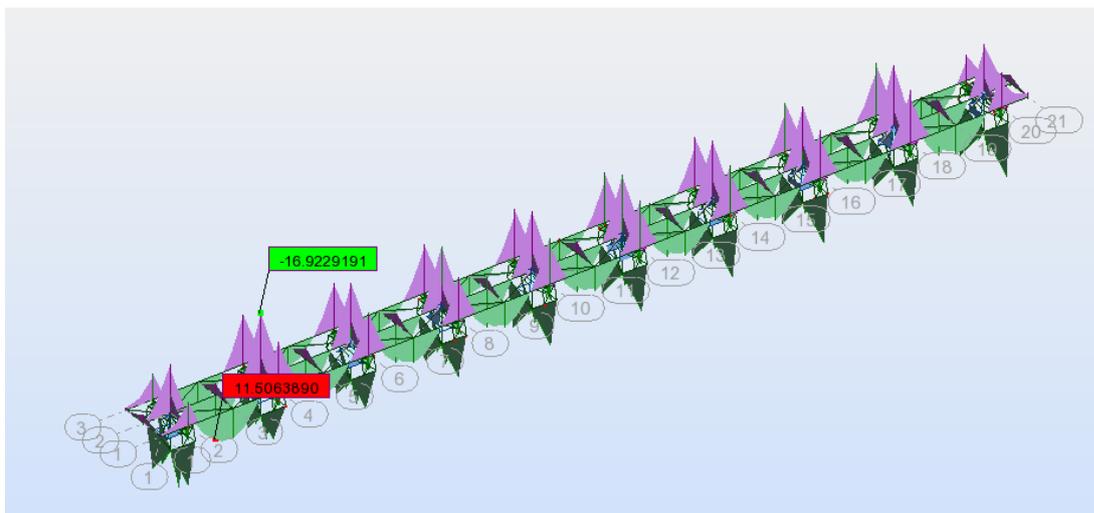


Fig.89 - Momentos existentes na fase de construção

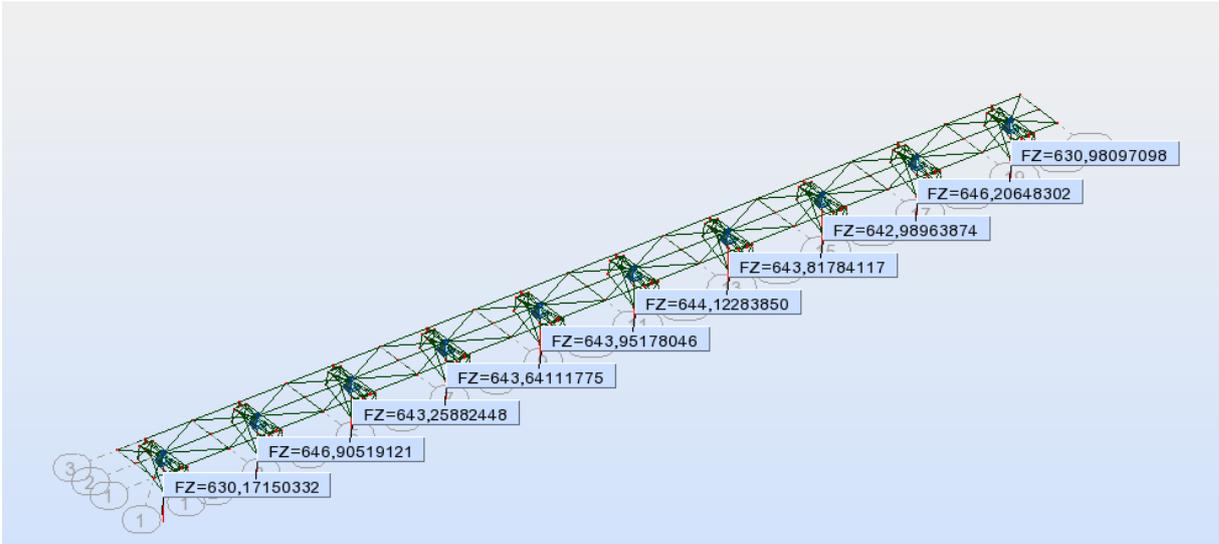


Fig. 90 - Reações verticais na fase de construção

É visível que o momento máximo tem o valor de aproximadamente 17 kN.m e a força que cada grua deve aplicar para elevar a célula é de aproximadamente 650 kN por ligação.

São apresentados no Anexo C2 as verificações de todos os elementos quando estão sujeitos a esta combinação de construção.

## 5.6. VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE RESISTENTE DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

### 5.6.1. GRADES DE PISO

A capacidade das grades de piso deve ser verificada para um correto funcionamento da estrutura. Para tal, a grelha de piso utilizada é a GB100-385, presente no Anexo C1.

Esta possui uma flecha de 1/200 quando sujeita a uma carga de 13.08 kN/m<sup>2</sup>. Logo, este elemento tem a sua capacidade verificada de acordo com (75).

$$(0.53 + 2) * 1.35 + 1.5 * 5 + 1.5 * 0.6 * 1.62 = 12.3735 \frac{kN}{m^2} \leq 13.08 \text{ kN/m}^2 \quad (75)$$

### 5.6.2. TABULEIRO, CARLINGA E TRELIÇA

Os elementos que constituem o tabuleiro, a carlinga e a treliça são verificados para o Estado Limite Último através do cálculo automático existente no *Autodesk Robot*. É de salientar que este cálculo automático tem em conta as normas do Eurocódigo 3.

Na Fig.91 ilustra-se parte desta verificação, sendo que a restante se encontra no Anexo C2.

| Membro   | Seção    | Material | Lay   | Laz   | Relação | Caso              |
|----------|----------|----------|-------|-------|---------|-------------------|
| 1 Viga_1 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.25    | 119 ULS/45=2*1.35 |
| 2 Viga_2 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.24    | 119 ULS/45=2*1.35 |
| 3 Viga_3 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.38    | 79 ULS/5=2*1.35+3 |
| 4 Viga_4 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.38    | 79 ULS/5=2*1.35+3 |
| 5 Viga_5 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.37    | 83 ULS/9=2*1.35+3 |
| 6 Viga_6 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.37    | 83 ULS/9=2*1.35+3 |

Fig. 91 – Verificação em Estado Limite Último dos elementos constituintes do tabuleiro, carlinga e treliça

### 5.6.3. ESTACAS TELESCÓPICAS

A ponte pedonal vai possuir seis estacas telescópicas, duas em cada célula. Cada estaca telescópica é constituída por dois elementos, elemento deslizante e elemento cravado, como já foi mencionado anteriormente.

O dimensionamento destes dois elementos é realizado de seguida, mas apenas é apresentada a estaca telescópica mais condicionante, designadamente a número cinco, sendo que o dimensionamento/verificação das restantes é apresentado no Anexo C3.

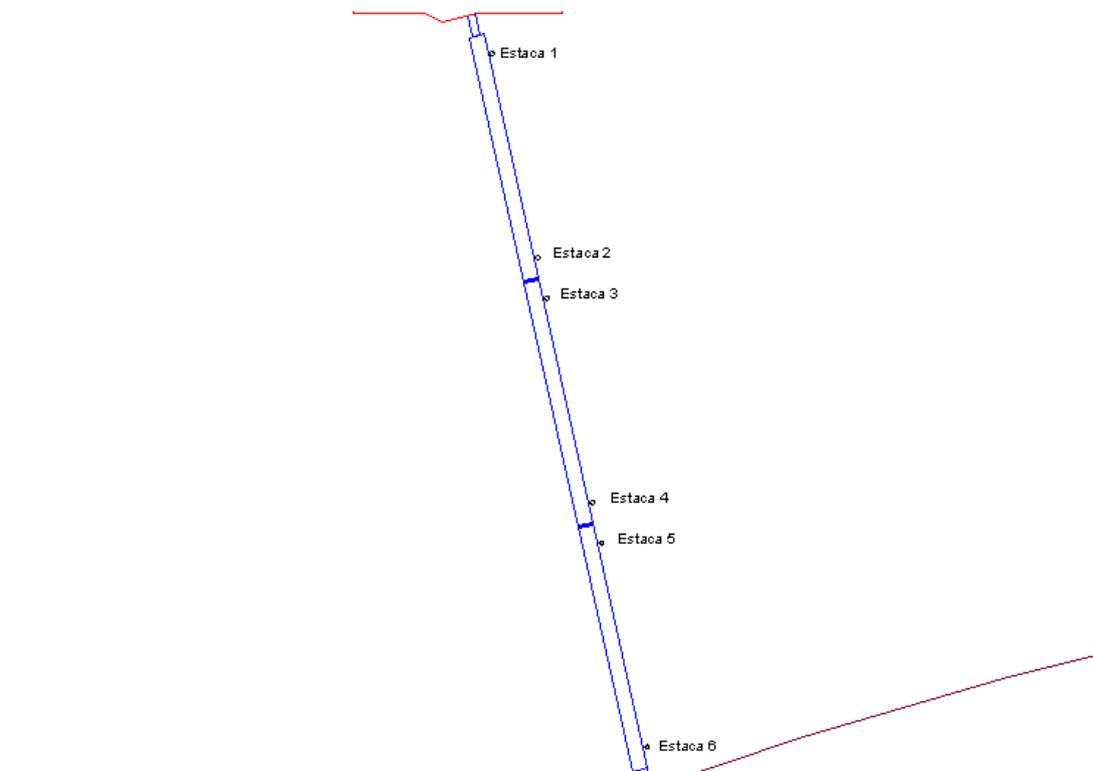


Fig. 92 - Numeração das estacas telescópicas

### 5.6.3.1. Elemento deslizante

Tendo em conta a combinação condicionante ser a da ação accidental, conhece-se as cargas aplicadas no elemento deslizante, mais precisamente na zona onde se situa a “argola” (elemento que faz a ligação entre a célula e a estaca telescópica, mais propriamente o elemento deslizante).

O esquema estrutural utilizado no dimensionamento da estaca telescópica, mais precisamente do elemento deslizante, está representado na Fig. 93.

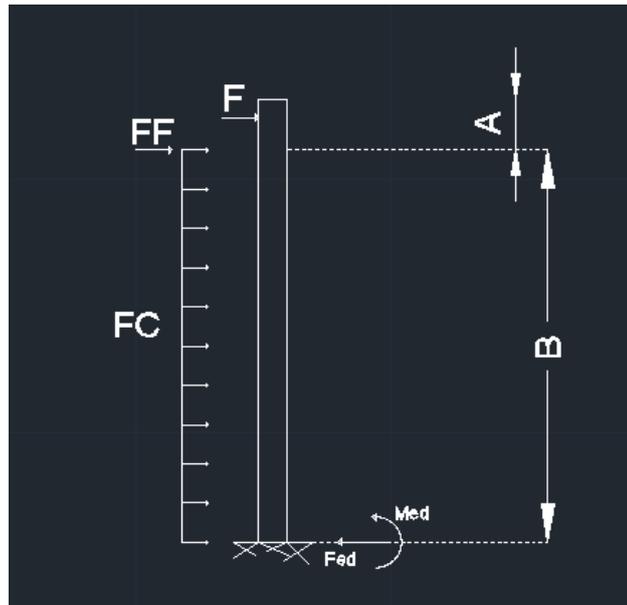


Fig. 93 - Esquema estrutural utilizado no dimensionamento do elemento deslizante da estaca telescópica

Sabendo que:

$F$  – combinação quadrática dos esforços horizontais resultantes da ação accidental,  $F = 732$  kN;

$FF$  – força horizontal originada pela corrente quando entra em contacto com o flutuador da estaca (calculado com o mesmo procedimento usado para determinação da força da corrente nos flutuadores do tabuleiro);

$FC$  – força da corrente ao longo da estaca,  $FC = 11.712$  kN/m;

$L_b$  – comprimento do elemento deslizante que está em constante contacto com a corrente, sendo que este valor varia de estaca para estaca. No caso do elemento deslizante, da estaca telescópica número cinco,  $L_b = 27.75$  metros ;

$A$  – distância entre a ligação tabuleiro com o elemento deslizante e o flutuador da respetiva estaca, tendo em atenção a coerência com o raciocínio usado para o cálculo da força da corrente nos flutuadores do tabuleiro, em que  $A = 1.30$  metros;

$B$  – diferença de cotas entre a cota máxima registada no rio Douro neste local, 10.2 metros, e a cota do fundo do rio na localização da estaca telescópica, -8.3. Sendo assim,  $B = 18.5$  metros;

$M_{ed}$  – momento de cálculo para o dimensionamento do elemento deslizante;

$F_{ed}$  – força horizontal de cálculo para o dimensionamento do elemento deslizante.

O esquema estrutural apresentado anteriormente é conservador em termos de esforços para dimensionamento do elemento deslizante. Assim, obtiveram-se os seguintes esforços de cálculo para o dimensionamento do elemento deslizante da estaca telescópica número cinco, sendo estes apresentados no Quadro 19.

Quadro 19 – Esforços de cálculo para o dimensionamento do elemento deslizante da estaca telescópica

|                               |          |
|-------------------------------|----------|
| $M_{ed}$ (kN/m)               | 16644,19 |
| $F_{ed}$ (kN) = $V_{ed}$ (kN) | 958,56   |

Considerando o uso de um aço inoxidável e de um perfil circular vazado, como foi referido nos Capítulos 3 e 4, e cumprindo os requisitos de dimensionamento referidos no Eurocódigo 3, mas também referidos neste capítulo, chegou-se à solução apresentada no Quadro 20.

Quadro 20 - Descrição do elemento deslizante e respetivo dimensionamento

| Elemento Deslizante       |          |                 |
|---------------------------|----------|-----------------|
| $D_{ext}$ =               | 1100     | mm              |
| $D_{int}$ =               | 1035     | mm              |
| Área =                    | 0.108994 | m <sup>2</sup>  |
| Inércia =                 | 0.01554  | m <sup>4</sup>  |
| $f_y$ =                   | 450      | MPa             |
| Classe a Flexão           |          |                 |
| $d/t$ =                   | 33.84615 | Classe 2        |
| Características Mecânicas |          |                 |
| $W_{pl}$ =                | 37047.02 | cm <sup>3</sup> |
| $M_{c,Rd}$ =              | 16671.16 | kN.m            |
| $V_{c,Rd}$ =              | 28317.38 | kN              |
| Verificações              |          |                 |
| $V_{ed}/V_{c,Rd}$ =       | 3.39     | %               |
| $M_{ed}/M_{c,Rd}$ =       | 99.8     | %               |

No Quadro 20,  $D_{ext}$  corresponde ao diâmetro exterior do perfil circular vazado e  $D_{int}$  ao seu diâmetro interior.

Após o cálculo da classe da secção, e visto que se trata da classe dois, é preciso calcular as características mecânicas da secção, bem como verificar se estas cumprem as condições referidas no Eurocódigo 3.

Segundo a cláusula 6.2.6 do Eurocódigo 3, Parte 1-1, o valor de cálculo do esforço transversal atuante,  $V_{ed}$ , deve verificar a seguinte condição:

$$V_{ed}/V_{c,Rd} \leq 100\% \quad (76)$$

Em que,

$$V_{c,Rd} = A * (f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0} \quad (77)$$

Sendo que:

$V_{c,Rd}$  - valor de cálculo do esforço transversal resistente;

A – área de corte do perfil;

$f_y$  - tensão de cedência do aço inoxidável;

$\gamma_{M0}$ - coeficiente parcial de segurança relativo a uma propriedade de um material, que cobre também as incertezas de modelação e desvios de dimensões.

De acordo com o Eurocódigo 3, Parte-1-1, cláusula 6.2.8 é estabelecido o seguinte critério de interação entre o momento fletor e o esforço transversal:

- Quando  $V_{ed} \leq 50\%$  do valor de cálculo da resistência plástica ao esforço transversal  $V_{pl,Rd}$ , não é necessário reduzir o valor de cálculo do momento fletor resistente  $M_{c,Rd}$ .

Assim, não sendo necessário considerar a interação, a resistência de uma secção submetida à flexão é verificada através da seguinte condição:

$$M_{ed}/M_{c,Rd} \leq 100\% \quad (78)$$

Em que,

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \times f_y/\gamma_{M0} \quad (79)$$

Sendo que:

$M_{c,Rd}$  - valor de cálculo do momento fletor resistente;

$W_{pl}$  - módulo plástico à flexão;

$f_y$  - tensão de cedência do aço inoxidável;

$\gamma_{M0}$  - coeficiente parcial de segurança relativo a uma propriedade de um material, que cobre também as incertezas de modelação e desvios de dimensões.

### 5.6.3.2. Elemento cravado

No dimensionamento do elemento cravado utilizou-se o Modelo Winkler, que considera que uma análise do comportamento do elemento solo-estaca pode ser feita recorrendo a meios discretos, como foi referido no Capítulo 4.

Devido à falta de dados sobre os solos e as características destes na localização das estacas, considerou-se a existência de uma camada de lodo com um desenvolvimento de um metro e abaixo desta camada a existência de solo residual granítico com um desenvolvimento considerável, como representado na Fig.94.

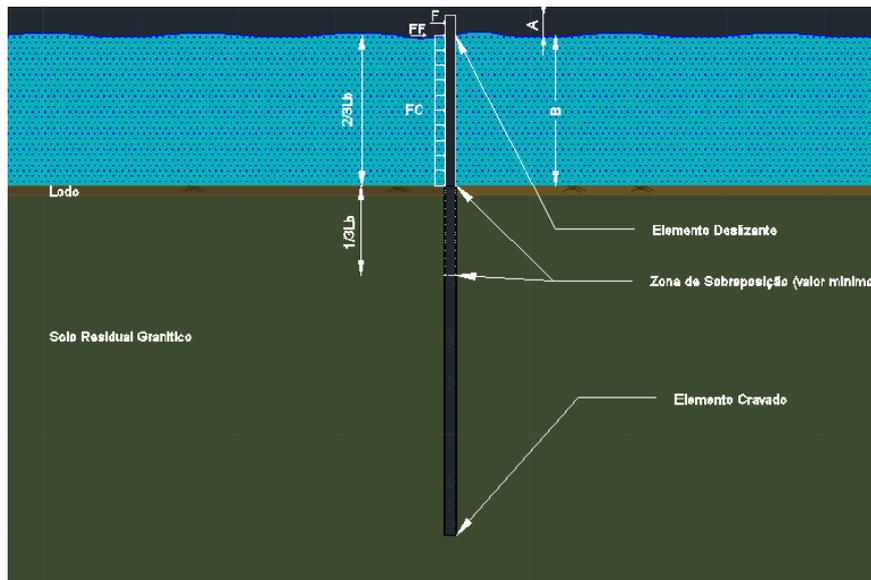


Fig. 94 - Esquema da inserção geológica da estaca telescópica

Os módulos de elasticidade atribuídos a ambos os solos estão apresentados no Quadro 21.

Quadro 21 - Módulos de elasticidade e respetivas camadas

| Camada         | E (MPa) |
|----------------|---------|
| Lodo           | 10      |
| Solo Granítico | 55      |

Recorrendo ao procedimento descrito no Capítulo 4, e considerando que as cargas aplicadas no topo do elemento cravado são iguais aos esforços de cálculo usados para o dimensionamento do elemento deslizante, chegou-se aos valores dos esforços de cálculo para o dimensionamento do elemento cravado, representados no Quadro 22.

Quadro 22 - Esforços de cálculo utilizados para o dimensionamento do elemento cravado

|                               |          |
|-------------------------------|----------|
| $M_{ed}$ (kN/m)               | 16947.95 |
| $F_{ed}$ (kN) = $V_{ed}$ (kN) | 2139.00  |

O comprimento elástico considerado foi  $l_e = 5.153523$ .

A evolução do deslocamento do elemento cravado, do diagrama de momentos e do esforço transverso do elemento cravado obtidos através da formulação de Winkler estão representados desde da Fig.95 até à Fig.97.

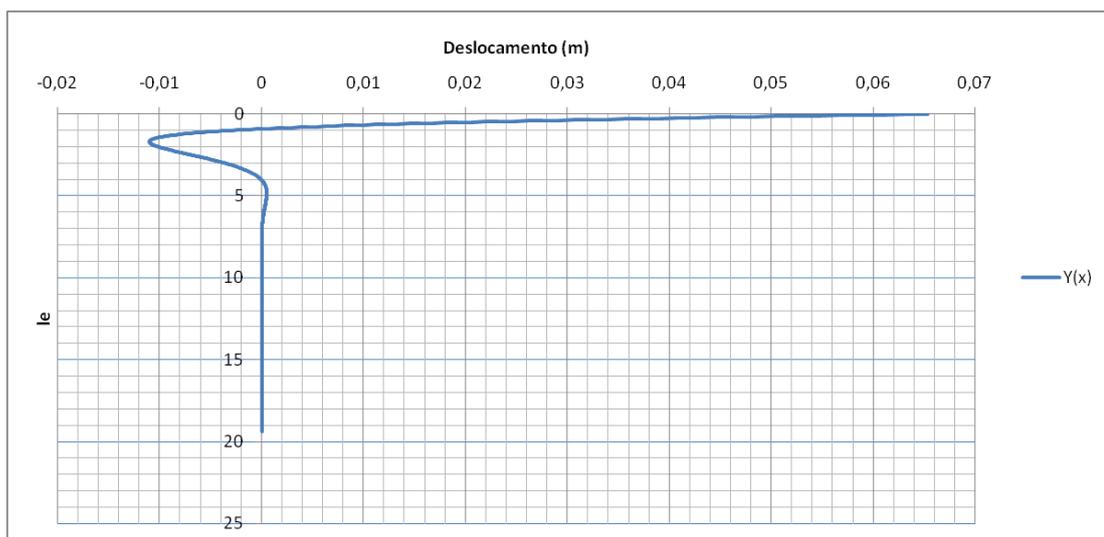


Fig. 95 – Evolução do deslocamento do elemento cravado da estaca telescópica em profundidade ( $l_e$ )

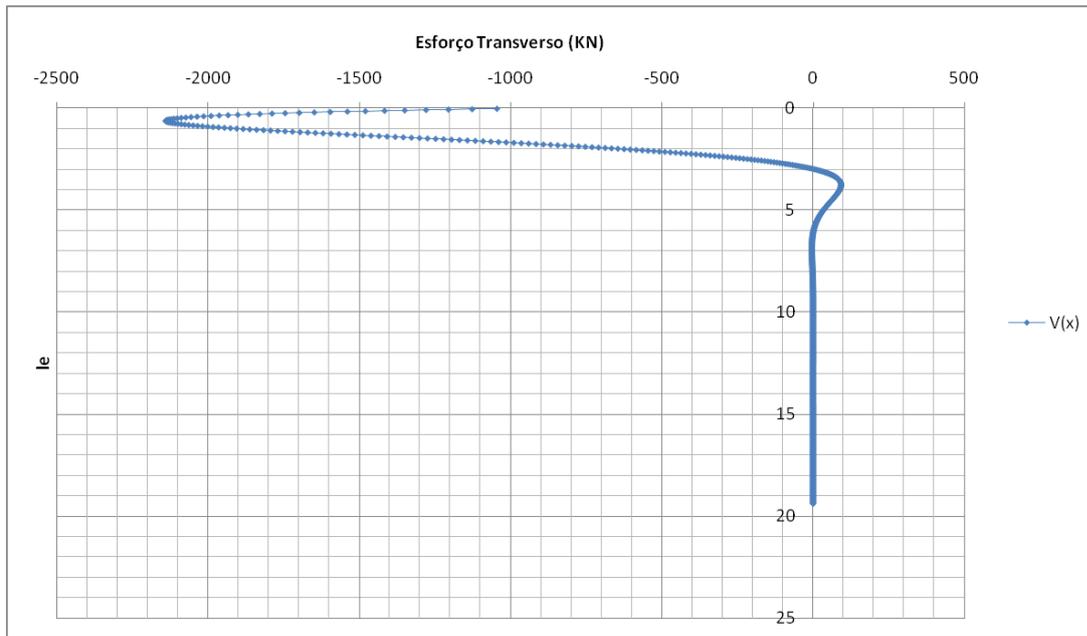


Fig. 96 – Evolução do esforço transverso de cálculo ao longo do elemento cravado da estaca telescópica em profundidade ( $l_e$ )

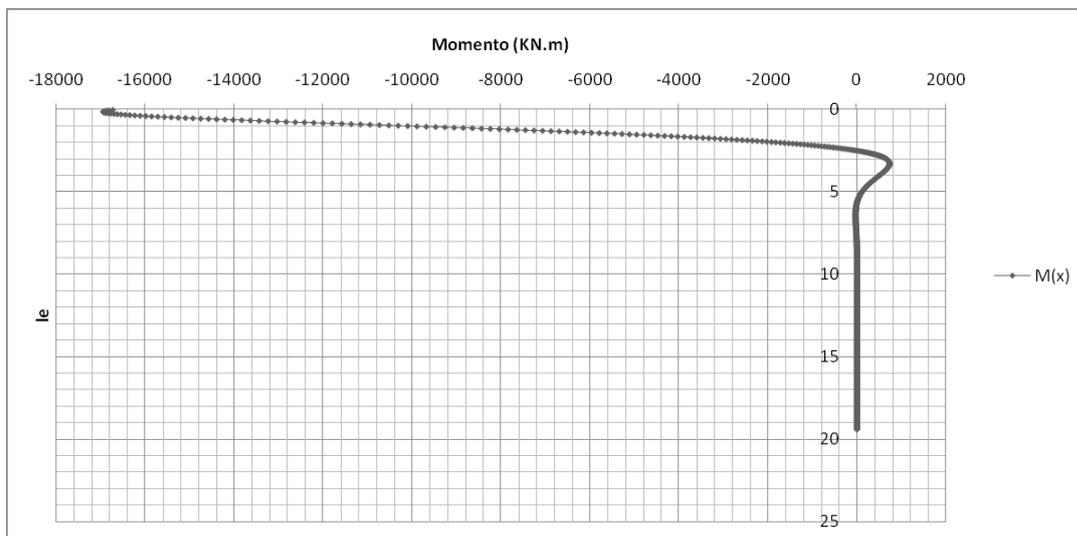


Fig. 97 - Evolução do momento de cálculo ao longo do elemento cravado da estaca telescópica em profundidade ( $l_e$ )

Conhecendo os esforços de cálculo do elemento cravado, utilizou-se o mesmo procedimento de verificação de segurança empregue no elemento deslizante, sendo os resultados apresentados no Quadro 23.

Quadro 23 - Descrição do elemento cravado e respetivo dimensionamento

| Elemento Cravado          |          |                 |
|---------------------------|----------|-----------------|
| $D_{ext} =$               | 1190     | mm              |
| $D_{int} =$               | 1120     | mm              |
| Área =                    | 0.126999 | m <sup>2</sup>  |
| Inércia =                 | 0.021197 | m <sup>4</sup>  |
| $f_y =$                   | 450      | MPa             |
| Classe a Flexão           |          |                 |
| $d/t =$                   | 32       | Classe 2        |
| Características Mecânicas |          |                 |
| $W_{pl} =$                | 46705.17 | cm <sup>3</sup> |
| $M_{c,Rd} =$              | 21017.33 | kN.m            |
| $V_{c,Rd} =$              | 32995.28 | kN              |
| Verificações              |          |                 |
| $V_{ed}/V_{c,Rd} =$       | 6.49     | %               |
| $M_{ed}/M_{c,Rd} =$       | 87.2     | %               |

No Quadro 23,  $D_{ext}$  corresponde ao diâmetro exterior do perfil circular vazado e  $D_{int}$  ao seu diâmetro interior.

O comprimento do elemento cravado considerado tem de ser superior a  $7 \times l_e$ , pois é a partir desta posição que os deslocamentos do solo são negligenciáveis, como se verifica na Fig.92. Logo, considerou-se o comprimento do elemento cravado igual a 36.1 metros.

#### 5.6.4. DIMENSIONAMENTO DA FOLGA DE DESLIZAMENTO DO ELEMENTO DE LIGAÇÃO À MARGEM DE GAIA E DO ELEMENTO DE LIGAÇÃO ENTRE O PAREDÃO E A PONTE FLUTUANTE

Como já foi referido no Capítulo 2, as pontes de acesso que vão ligar o paredão à célula e a célula à margem de Gaia, cujo tabuleiro é constituído por dois elementos, vão possuir uma folga de deslizamento.

A folga de deslizamento é em seguida dimensionada, de acordo com a Fig.98.

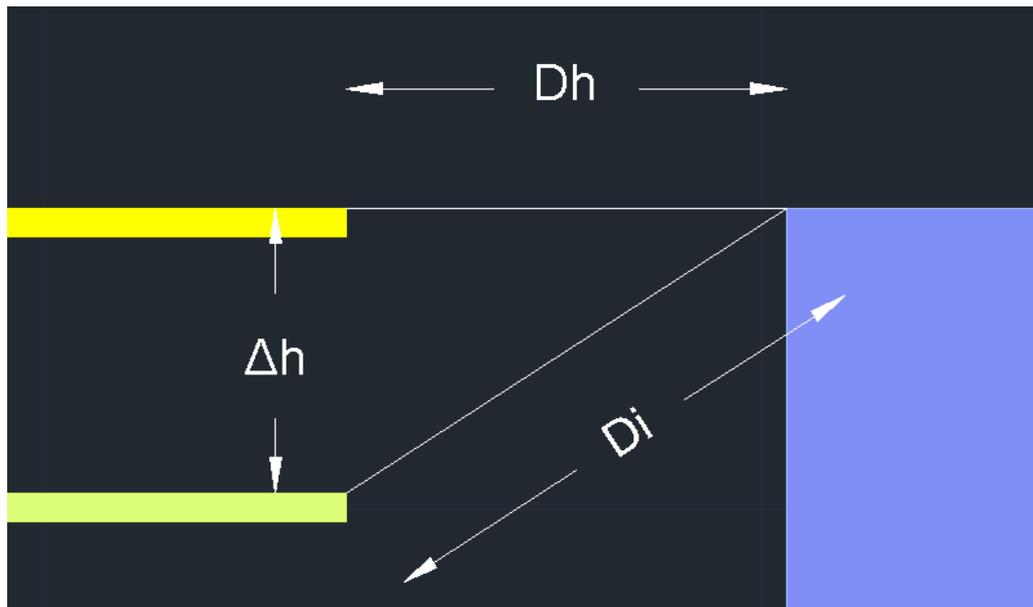


Fig.98 - Esquema utilizado para determinar a folga de deslizamento para as pontes de acesso

$$Di = \sqrt{Dh^2 + \Delta h^2} \quad (80)$$

$$\text{Folga de deslizamento} = Di - Dh \quad (81)$$

Em que:

$Dh$  – distância horizontal entre a extremidade da ponte de acesso e o paredão/margem de Gaia, sendo este valor igual 6.14 metros;

$Di$  – distância, na diagonal, entre a extremidade da ponte de acesso e o paredão/margem de Gaia em metros;

$\Delta h$  – variação da cota do tabuleiro da ponte de acesso, em metros.

O dimensionamento da folga de deslizamento é realizado no Quadro 24.

Quadro 24 - Cálculo da folga de deslizamento

| Cota do Rio (m) | Cota do Tabuleiro (m) | Cota de Referência (m) | $\Delta h$ (m) | $Di$ (m) | Folga de Deslizamento (m) |
|-----------------|-----------------------|------------------------|----------------|----------|---------------------------|
| 4               | 5.5                   | 4                      | 1.5            | 6.321    | 0.181                     |
| -3.7            | -2.2                  | 4                      | 6.2            | 8.725    | 2.585                     |

Conclui-se, deste modo, que a folga de deslizamento tem um valor de 2.590 metros, tendo em conta que os elementos de ligação apenas estão disponíveis até o rio Douro atingir a cota de 4.00metros, como já foi referido no Capítulo 2.

#### 5.6.5. DIMENSIONAMENTOS DAS FOLGAS DA LIGAÇÃO ENTRE CÉLULAS

Para o correto funcionamento da ligação entre células é preciso determinar as dimensões das folgas, tal como foi descrito no Capítulo 2. Para tal, é necessário ter em consideração a atuação da temperatura uniforme e o máximo deslocamento diferencial vertical que possa existir entre as extremidades vizinhas de duas células, valor já determinado no Quadro 18.

Em relação à folga de deslizamento,  $\Delta x_{Global}$ , a metodologia empregue para a sua determinação é ilustrada na Fig.99.

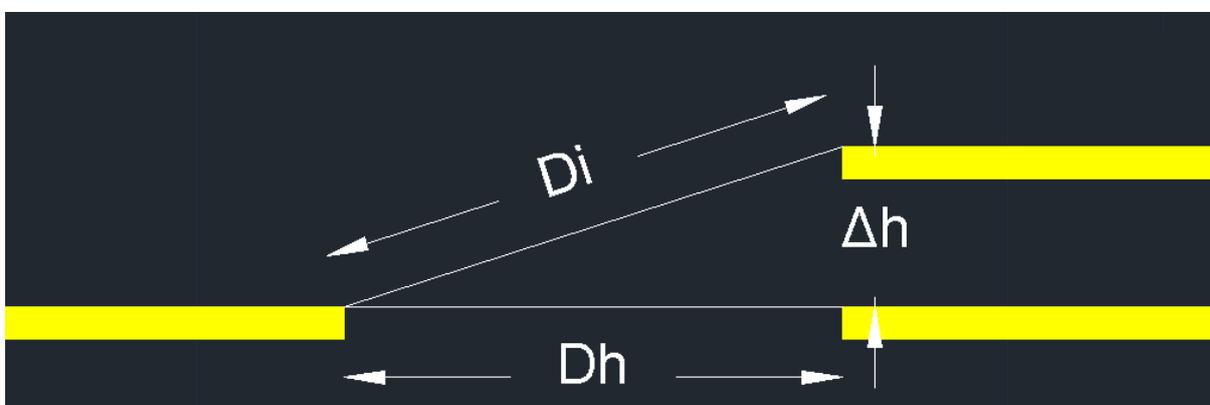


Fig.99 - Esquema utilizado para determinar a folga de deslizamento para a ligação entre células

$$Di = \sqrt{Dh^2 + \Delta h^2} \quad (82)$$

$$\Delta x_{Global} = Di - Dh \quad (83)$$

Em que:

$Dh$  – distância horizontal entre as extremidades das células vizinhas, sendo este valor igual 0.4 metros;

$\Delta h$  – diferença de cotas entre as extremidades das células vizinhas, ou seja, deslocamento vertical diferencial, valor apresentado no Quadro 18;

$Di$  – distância, na diagonal, entre as extremidades das células vizinhas;

$\Delta x_{Global}$  – dimensão da folga de deslizamento da passagem entre células.

Logo, conclui-se que a folga de dimensionamento possui um valor mínimo de 0.094 metros, sendo adotado um valor de 11 centímetros.

O valor de  $\Delta x$  Temperatura é de fácil determinação, dado que se conhecem os efeitos da temperatura uniforme sobre a estrutura. Logo, conclui-se que o seu valor é de 7.2 centímetros.

# 6

## PROCESSO CONSTRUTIVO

O processo construtivo de uma ponte é, em muitos casos, uma condicionante no seu dimensionamento estrutural. Contudo, após a análise desta fase temporária da estrutura, verificou-se que tal não acontece.

É de salientar que este processo construtivo foi definido desde o aparecimento das primeiras ideias sobre a constituição e conceção da ponte pedonal.

Desta forma, inicialmente, a obra tem três frentes, sendo de seguida especificada cada uma delas:

- Cravação do elemento exterior de cada estaca telescópica, nos locais sinalizados no projeto, como se ilustra na Fig.100 e Fig.101;
- Construção do paredão, em que a sua fundação é realizada através de estacas;
- Construção das células, que constituem a ponte flutuante, sendo esta operação realizada na margem do Porto, no interior do parque da Alfândega. Ocorre, posteriormente, a deslocação das células, uma a uma, até à posição final de cada uma delas, recorrendo, para isso, à utilização de gruas e embarcações de reboque.

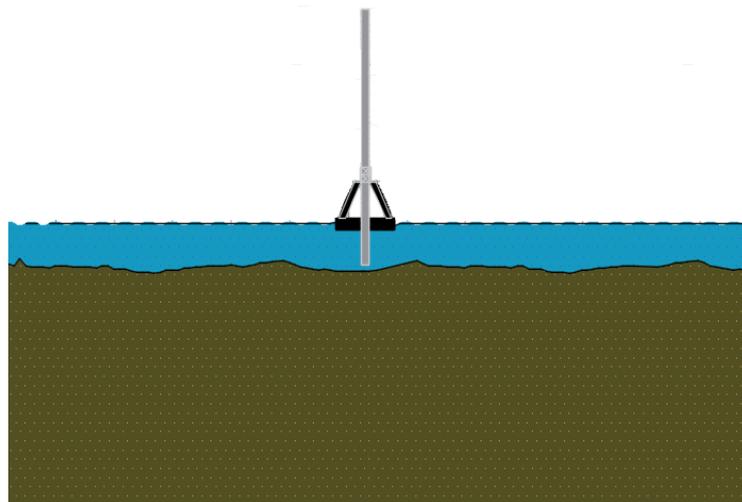


Fig. 100– Início da cravação do elemento exterior da estaca telescópica com recurso a equipamento especializado

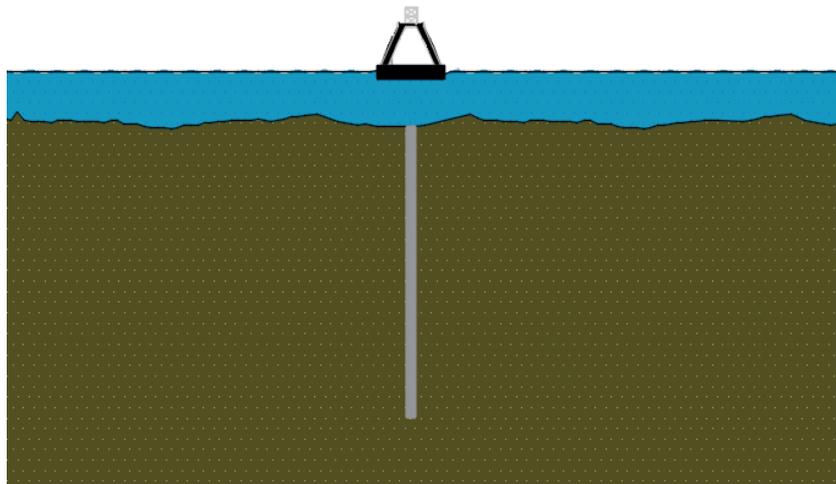


Fig. 101- Fim da cravação do elemento exterior da estaca telescópica com recurso a equipamento especializado

Relativamente à construção das células no interior do parque da Alfândega, a sua descrição é realizada prontamente.

Inicialmente são construídas, no interior do parque, as três células, sendo que o estaleiro se situa no mesmo local. Nesta fase, as células apenas são constituídas por elementos estruturais, isto é, pelos flutuadores, pelas treliças, pelas carlingas, pelas vigas longitudinais, pelas barras transversais e diagonais. Estes elementos são ligados através do uso de cordões de soldadura.

Finalizada a execução da parte estrutural das células, estas são içadas, utilizando para esse efeito cinco gruas, e colocadas no interior do rio junto à margem aonde são fixadas temporariamente. De ressaltar que todos os elementos estruturais de cada célula são devidamente revestidos por tintas protetoras à corrosão e ao meio ambiente antes de serem colocadas em contacto com a água do rio. Este processo é ilustrado da Fig.102 até à Fig.106.

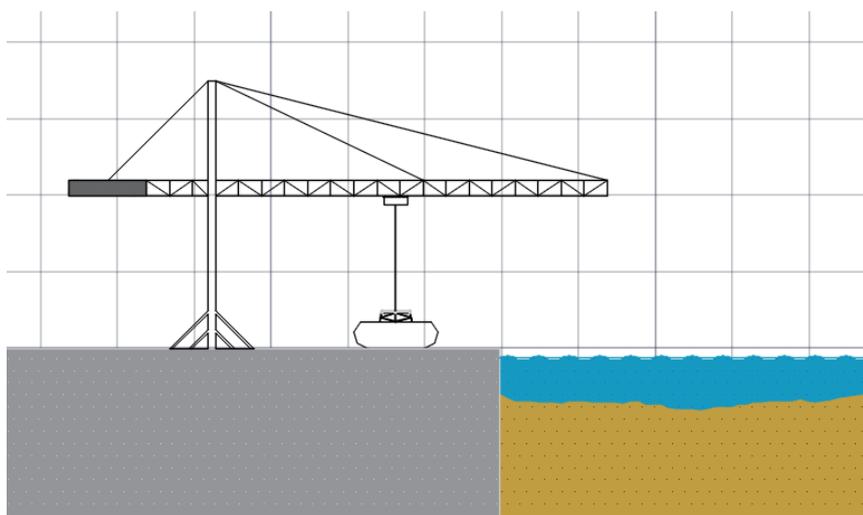


Fig. 102 – Fase 1 do içamento de uma célula

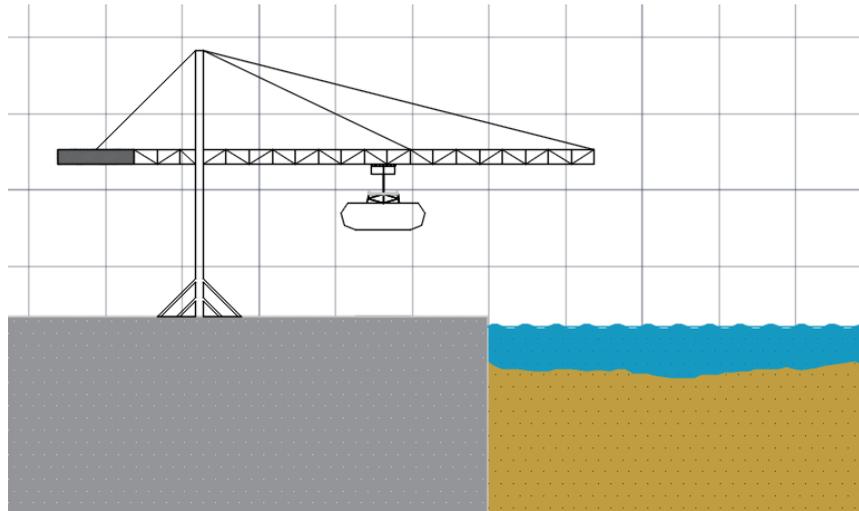


Fig. 103 - Fase 2 do içamento de uma célula

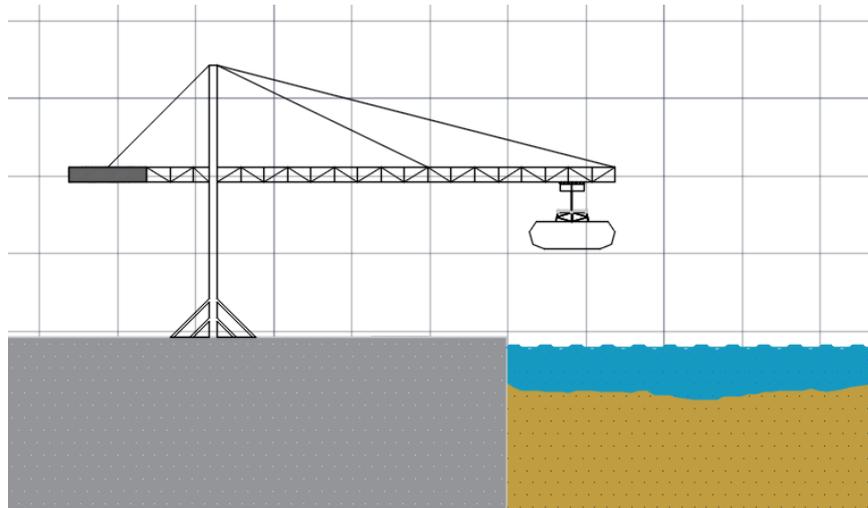


Fig. 104 - Fase 3 do içamento de uma célula

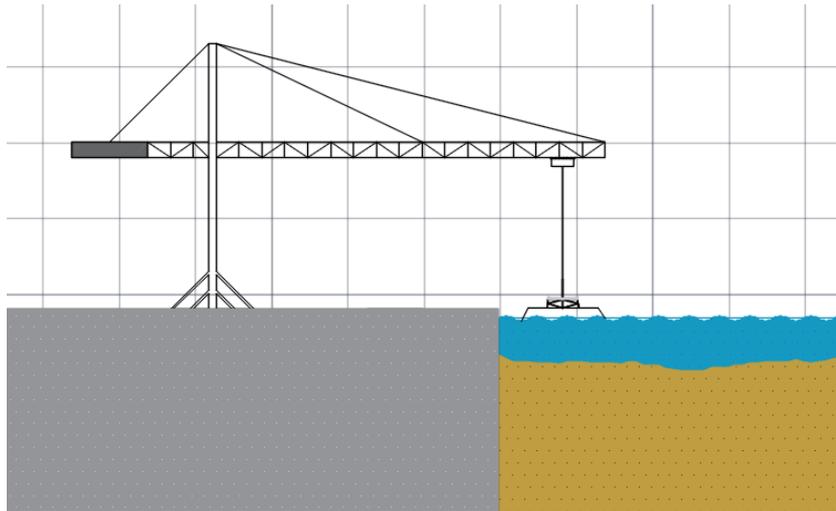


Fig. 105 - Fase 4 do içamento de uma célula

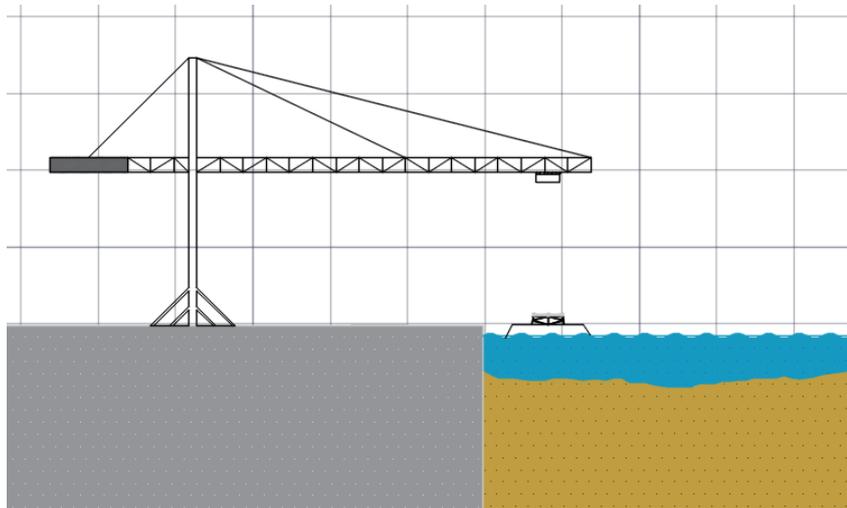


Fig. 106 - Fase 5 do içamento de uma célula

Posteriormente, são colocadas as grelhas de pavimento (previamente revestidas por tintas protetoras) nas células com o auxílio das gruas que se situam na Alfândega. De seguida, são executados os acabamentos do piso das células, a introdução dos guarda-corpos e do sistema de iluminação.

No término da construção das três células, as mesmas são deslocadas, uma a uma, para a sua posição final, com recurso a embarcações de reboque.

São alugadas gruas flutuantes para introduzir os elementos deslizantes dentro do seu respetivo elemento cravado (com recurso a mergulhadores), mas também dentro do respetivo flutuador da estaca telescópica. De seguida, é fixada a posição do elemento deslizante em relação ao seu flutuador, recorrendo para isso, a uma barra de aço inoxidável que atravessa o elemento deslizante e se prolonga ao longo da extensão do flutuador da estaca telescópica. Finalmente é fixado o elemento deslizante à argola do tabuleiro da célula, sendo que a argola possui a capacidade de se abrir para a entrada do elemento deslizante e de se fechar (após a entrada do elemento deslizante) com recurso a parafusos.

Este processo é repetido para todos os restantes elementos deslizantes. Este procedimento é ilustrado da Fig.107 até à Fig.110.

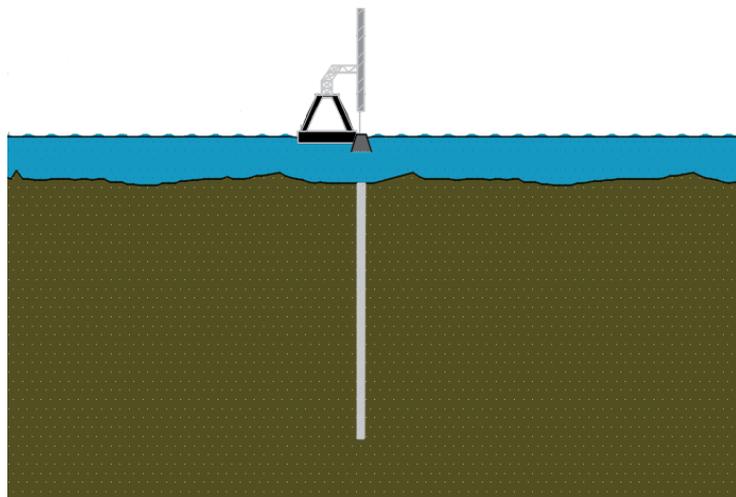


Fig. 107 - Início de instalação do elemento deslizante da estaca telescópica, com recurso a uma grua flutuante

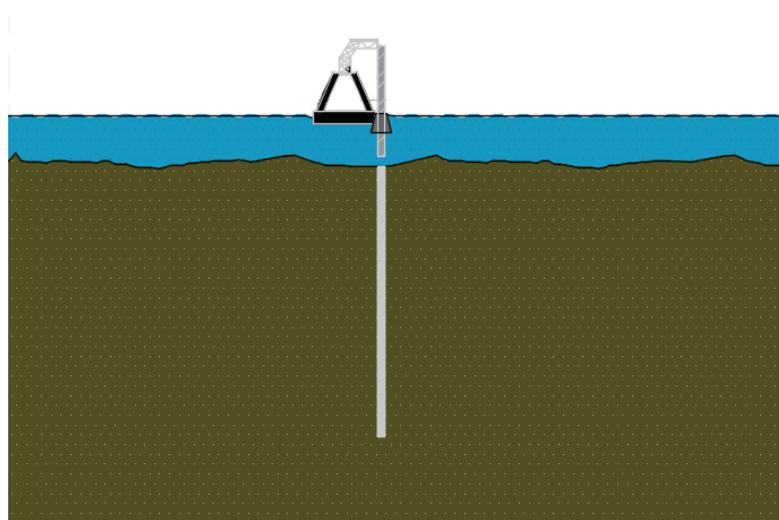


Fig. 108 - Passagem do elemento deslizante da estaca telescópica pelo interior do flutuador da estaca telescópica

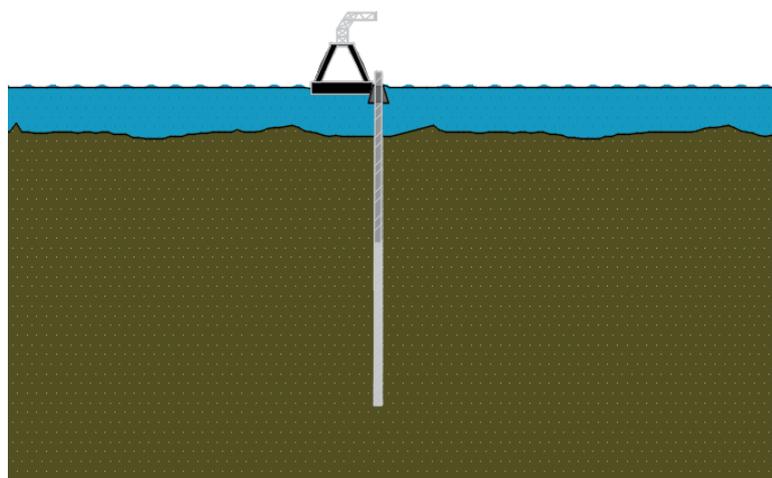


Fig. 109 – Elemento deslizante da estaca telescópica inserido no interior do elemento cravado da estaca telescópica (ocorre a fixação do elemento deslizante ao flutuador)

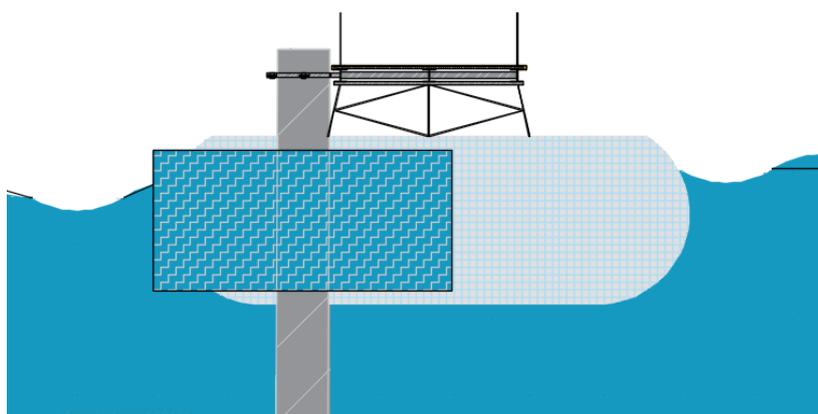


Fig. 110 - Introdução do elemento deslizante no interior da ligação à célula (através das características mecânicas desta ligação)

São instaladas as pontes de acesso, a ponte móvel e a ligação entre células, finalizando a obra com os acabamentos gerais em toda a ponte pedonal.

# 7

## ESTIMATIVA ORÇAMENTAL

É possível estimar um custo de construção da obra em estudo com base nos custos diretos relativos às quantidades de materiais.

O Quadro 25 descreve os custos referentes aos principais materiais e equipamentos utilizados.

Quadro 25 – Estimativa orçamental da obra

| Trabalho   | Item                   | Quantidade | Unidade        | Custo Unitário | Custo Parcial |
|--|------------------------|------------|----------------|----------------|---------------|
| Estruturas metálicas do tabuleiro  | Aço                    | 102911,22  | kg             | 3,5            | 360189,27     |
|  | Grelhas de pavimento   | 853,68     | m <sup>2</sup> | 2              | 1707,36       |
| Treliças   | Aço                    | 24921      | kg             | 3,5            | 87223,50      |
| Flutuadores  | Aço                    | 831168     | kg             | 3,5            | 2909088       |
|  | Espuma de polietileno  | 1736928    | kg             | 0,6            | 1042156,80    |
|  | Poliuretano elastómero | 37584      | kg             | 1              | 37584         |
| Estacas telescópicas   | Aço inoxidável         | 368552,37  | kg             | 3,5            | 1289933,30    |
| Paredão  | Betão                  | 386,72     | m <sup>3</sup> | 250            | 96682,25      |
| Ponte móvel  | -----                  | 1          | Un             | 200000         | 200000        |
| Ligação entre células  | -----                  | 2          | Un             | 1500           | 3000          |
| Ligação entre célula e paredão   | -----                  | 1          | Un             | 10000          | 10000         |
| Ligação entre célula e margem  | -----                  | 1          | Un             | 10000          | 10000         |
| Gruas  | -----                  | -----      | -----          | -----          | 78000         |
| Gruas flutuantes   | -----                  | -----      | -----          | -----          | 100000        |
| Infraestruturas elétricas, pinturas protetoras e acabamentos gerais (15% do custo das estruturas metálicas do tabuleiro e treliça) |                        |            |                |                | 70818,02      |

Total

6296382,60

---

Pode-se concluir que a estimativa do custo da obra é de aproximadamente 6300000€ (seis milhões e trezentos mil euros), valor que é acrescido do IVA à taxa legal em vigor.

A análise efetuada tem como base os preços de referência descritos na internet ou ainda os valores apresentados pelos fornecedores contactados, pelo que, face aos inevitáveis erros e omissões, pretende-se, acima de tudo, estimar o valor global da obra encontrando-se um valor de referência.

Em relação ao custo parcial do paredão, inclui-se no preço unitário do betão os encargos inerentes a este tipo de operação, nomeadamente as fundações do paredão ou a criação de ensecadeiras.

Posto isto, pode-se admitir que o custo global da ponte pedonal em estudo é razoável, visto que se trata de uma solução especial e invulgar, daí a sua mais-valia.

# 8

## COMENTÁRIOS FINAIS

O presente trabalho teve como principal objetivo apresentar uma nova solução para uma travessia pedonal na zona da Ribeira. Mais do que verificar a viabilidade técnica ou económica de uma nova ponte nesta área, pretendeu-se desenvolver uma solução diferente dos vários projetos já apresentados e que simultaneamente se enquadrasse na envolvente.

Um dos pontos fundamentais do desenvolvimento desta nova travessia é a estética e a sua integração urbana. Para tal, encontram-se no Anexo C4 imagens do modelo 3D da ponte pedonal e a sua integração urbana. Futuramente, é de considerar a colaboração de especialistas na matéria, nomeadamente arquitetos e urbanistas, de forma a aperfeiçoar a estética da ponte pedonal

No âmbito deste projeto, conclui-se que a construção de uma ponte flutuante não é, por si só, uma solução construtiva recente e inovadora, visto que estas já são utilizadas desde os tempos mais remotos, para a ligação entre pontos, separados por volumes de água significativos. Contudo, atualmente não existe um vasto número de exemplos desta tecnologia,

Neste projeto, a condicionante mais problemática com a qual se deparou foi a variação da cota da superfície do rio, que até hoje atingiu uma cota máxima de 10.2 metros e mínima de -2.70 metros, para além da existência de uma corrente que pode atuar nos dois sentidos. Perante tais condicionantes, adotou-se uma ponte flutuante de flutuadores individuais.

Deste modo, face à extensão do trabalho já realizado, conclui-se que a solução desenvolvida é estruturalmente viável, sendo necessário efetuar alguns estudos complementares, nomeadamente:

- Caracterização geológica da zona, em particular nas localizações das estacas telescópicas;
- Realização de uma análise laboratorial para avaliar o efeito do atrito entre os elementos que constituem a estaca telescópica, ou seja, entre o elemento cravado e o elemento deslizante.
- Estudo do efeito do sismo nas estacas telescópicas e sua consequência em relação às células da ponte;
- Um estudo mais profícuo e aprofundado sobre a solução adotada para a ligação entre células, bem como a ligação entre a célula e a margem de Gaia/Paredão;
- Realização de um modelo em elementos finitos para avaliar a capacidade resistente do flutuador do tabuleiro, dada a simplicidade do modelo utilizado no presente trabalho para verificar a sua capacidade resistente.

O custo global da obra é ligeiramente superior aos valores praticados nas soluções mais comuns, embora a singularidade da solução adotada seja uma grande mais-valia, tendo em conta o local de inserção.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. Watanabe, C. M. Wang, T. Utsunomiya and T. Moan, "Very Large Floating Structures: Applications, analysis and design"
- [2] [Online] <http://science.howstuffworks.com/engineering/structural/floating-bridge.htm>. 3/03/2016.
- [3] Pinho, P. Pontes e Espaços – *Tempo Da Alta Velocidade à Circulação Pedonal*. Porto Cidade Região – Encontro de Reflexão Prospectiva, 2005, Porto
- [4] Alves Ribeiro, E. Projeto de uma Ponte Pedonal entre Porto e Gaia. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2008.
- [5] da Silva Braga, A., Ribeiro Pinto, H., Pascoal Teixeira, J., *Ponte Pênsil entre as Ribeiras do Porto e Gaia*. Projeto no âmbito da cadeira de Estruturas, FEUP, 2006.
- [6] [Online] <http://www.uh.edu/engines/epi2310.htm>. 23/03/2016
- [7] Brito, Pedro, "O desastre da Ponte das Barcas". 2015
- [8] [Online] [piniweb.pini.com.br/construção/tecnologia-materiais/ilhas-maldivas-tera-ponte-flutuante-227070-1.aspx](http://piniweb.pini.com.br/construção/tecnologia-materiais/ilhas-maldivas-tera-ponte-flutuante-227070-1.aspx). 23/03/2016.
- [9] Barbosa, J.N., "Mecânica dos Fluidos e Hidráulica Geral", Porto Editora, 2014
- [10] Maarten, Koekoek, "Connecting Modular Floating Structures", Master Thesis, 2007.
- [11] [Online] [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/37795717/estabilidade\\_flutuacao.pdf.ver](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/37795717/estabilidade_flutuacao.pdf.ver)
- [12] [Online] <http://portovivodru.pt/>. 07/03/2016
- [13] [Online] [http://w3.ualg.pt/~jdias/GEOLAMB/Gam\\_Casos/Douro1909/Douro%201909.html](http://w3.ualg.pt/~jdias/GEOLAMB/Gam_Casos/Douro1909/Douro%201909.html). 03/04/2016
- [14] Calisto Pedro, *Projeto de uma Ponte em Arco entre as Ribeiras do Porto e Gaia*, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2011.
- [15] Fédération Internationale du Béton, *Guidelines for the design of footbridges*. Fib Bulletin, 2005
- [16] [Online] [https://run-unl.pt/bitstream/10362/5086/1/Casimiro\\_2010.pdf](https://run-unl.pt/bitstream/10362/5086/1/Casimiro_2010.pdf). 05/04/2016
- [17] *Eurocódigo 3: Projeto de Estruturas em Aço: Parte 1-1: Regras Gerais e Regras para Edifícios, 2010.*
- [18] Gomes Tiago, *Análise e Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço Inoxidável*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, 2015.
- [19] *Eurocódigo 3: Projeto de Estruturas em Aço - Parte 1-4: Estruturas em Aço Inoxidável, 2010.*
- [20] [Online] <http://www.lindley.pt/pt/ajudas-navegação/boias-guia>. 09/04/2016.
- [21] [Online] [http://www.ecompositos.pt/catalogo/celula-fechada-ou-celula-aberta\\_ecocompositos.pdf](http://www.ecompositos.pt/catalogo/celula-fechada-ou-celula-aberta_ecocompositos.pdf). 10/04/2016
- [22] [Online] <http://www.lindley.pt/>. 08/04/2016.
- [23] *Eurocódigo 1: Ações em Estruturas: Parte 2: Sobrecargas em Pontes, 2003.*
- [24] Lwin, M.M., "Floating Bridges"- Bridge Engineering Handbook, CRC Press, 2000
- [25] Barros, R. C., "Finite element modelling of floating pier units in personal computers", 2002.

- [26] Eurocódigo 1: Ações em Estruturas - Parte 1-4: Ações Gerais: Ação Vento, 2010.
- [27] Eurocódigo 1: Ações em Estruturas – Parte 1-5: Ações Gerais: Ações Térmicas, 2009.
- [28] Calgaro, J.A., M. Tschumi, and H. Gulvanenian, *Designer’s Guide To Eurocode 1: Actions on Bridges: EN1991-2. EN1991-1-1,-1-3 to -1-7 and EN1990 Annex A2 2010: Thomas Telford Limited.*
- [29] Cardoso, António; Costa, Pedro, “Apontamentos de Fundações e Estruturas de Suporte – Dimensionamento de Fundações por Estacas”, 2015.
- [30] Salah, A.H., “Megan Floating Concrete Bridge”. Master Thesis, TU Delft, 2010.
- [31] NP EN 1990:2009 – Bases Para Projeto de Estruturas.
- [32] Eurocódigo 0: Bases para o Projeto de Estruturas, 2009
- [33] Eurocódigo 0: Bases para o Projeto de Estruturas – Anexo A3: Aplicação em pontes (versão inglesa), 2009.
- [34] Eurocódigo 1: Ações em Estruturas – Parte 1-1: Ações Estruturais: Ações Gerais: Pesos Volúmicos, Pesos Próprios, Sobrecargas em Edifícios, 2010.
- [35] [Online] [www.heatherwick.com](http://www.heatherwick.com). 10/04/2016.
- [36] [Online] <http://watertec.com.mx/productos/filtros-cartuchos/filtros-para-sedimentos>. 10/04/2016.

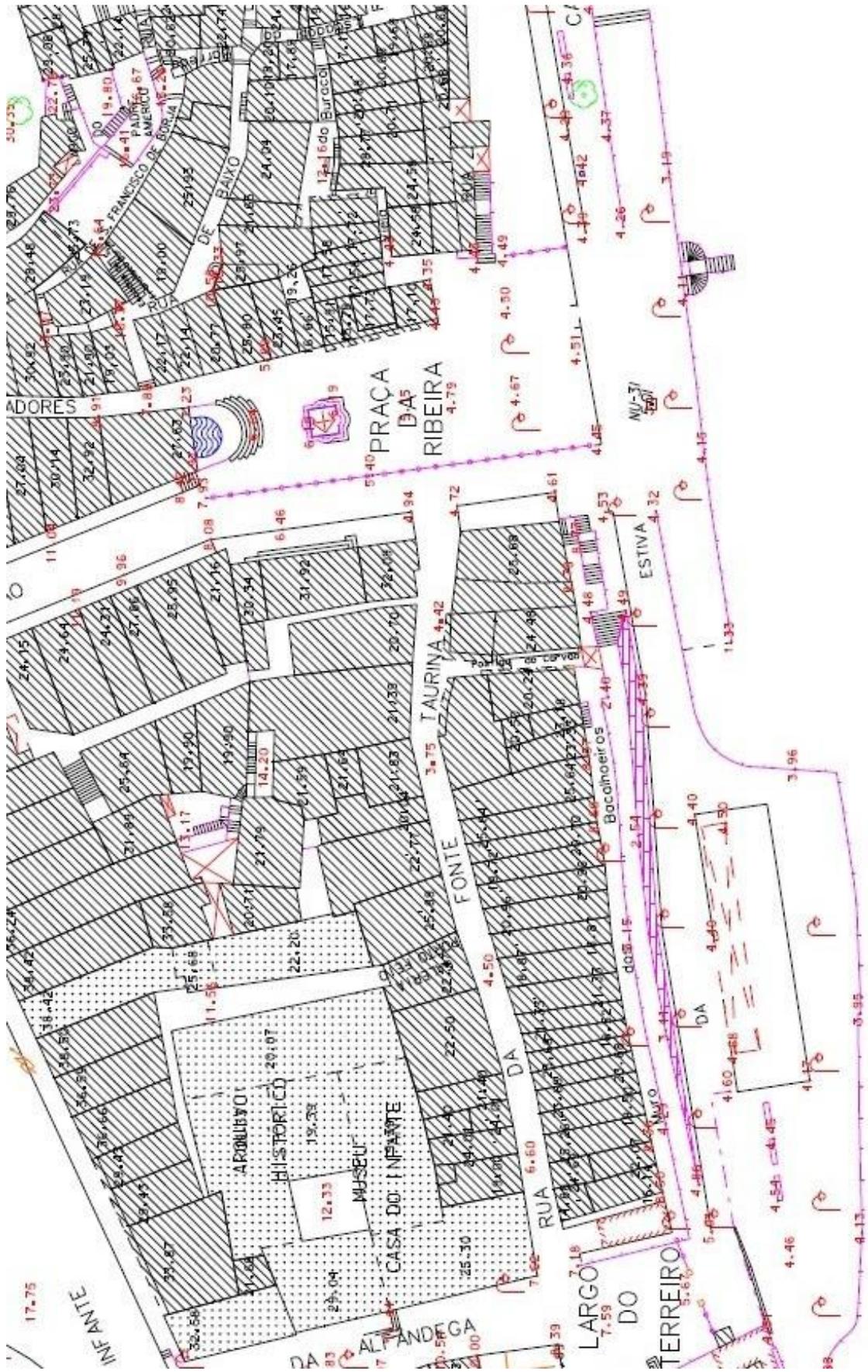
## **Anexos**

- A1. Planta topográfica do terreno
- A2. Planta geológica/geotécnica do terreno
- A3. Perfil de profundidades do rio Douro do local em análise
- B1. Ponte móvel
- B2. Flutuador do tabuleiro
- B3. Flutuador da estaca telescópica
- B4. Ligação entre a estaca telescópica e o tabuleiro
- B5. Ponte de acesso
- B6. Ligação entre células
- C1. Grades de pavimento
- C2. Verificações dos elementos em aço segundo o Eurocódigo 3
- C3. Dimensionamento das estacas telescópicas
- C4. Ponte pedonal flutuante em 3D/Integração paisagística
- C5. Verificação estrutural do flutuador do tabuleiro



A1. Planta topográfica do terreno







# RIO DOURO

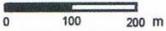




A2. Planta geológica/geotécnica do terreno





|  |  |                                      |                                       |   |
|--|--|--------------------------------------|---------------------------------------|---|
|                               | <b>CARTA GEOTÉCNICA<br/>DO PORTO</b>     |                                      | <b>2ª Edição 2003</b>                 |   |
|  | <b>CARTA DE ZONAMENTO<br/>GEOTÉCNICO</b> |                                      | <b>Des. n.º 008</b>                   |   |
| <b>Escala: 1:10 000</b><br> |  |                                      | <b>Responsáveis<br/>Pelo Trabalho</b> |   |
|  |  | Trabalho de campo realizado até 2002 |                                       | <b>COBA</b><br><i>Ricardo Oliveira<br/>Cristina Gomes</i> |



## Legenda:

### UNIDADES GEOTÉCNICAS

|   |   |
|---|---|
|  | Aterros, lixeiras e/ou entulheiras (G1)   |
|  | Solos aluvionares e coluvionares (G2)   |
|  | Depósitos de praias e de terraços fluviais (G3)   |
|  | Solos residuais metamórficos medianamente compactos (G4-X)  |
|  | Solos residuais metamórficos compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade (G5)                                     |
|  | Solos residuais metamórficos medianamente compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade indeferenciados (G4-X e G5) |
|  | Maciços metamórfico rochoso de fraca a excelente qualidade (G6)   |
|  | Solos residuais graníticos medianamente compactos intensamente caulinizados (G4-C)  |
|  | Solos residuais graníticos medianamente compactos (G4-G)  |
|  | Solos residuais graníticos compactos a maciço rochoso de muita fraca qualidade (G8)                                       |
|  | Solos residuais graníticos medianamente compactos a maciço rochoso de muita fraca qualidade indeferenciados (G4-G e G8)   |
|  | Maciço granítico rochoso de fraca a excelente qualidade (G9)  |

### Profundidade das unidades geotécnicas

|   |                |   |                |   |                |
|---|----------------|---|----------------|---|----------------|
|  | < 5 metros     |  | 5 - 10 metros  |  | 10 - 15 metros |
|  | 15 - 20 metros |  | 20 - 25 metros |  | 25 - 30 metros |

### Limite entre unidade geotécnicas

|   |                           |   |   |
|---|---------------------------|---|---|
|  | Limite geotécnico         |  | Limite geotécnico em profundidade         |
|  | Limite geotécnico incerto |  | Limite geotécnico incerto em profundidade |

### Níveis geotécnicos em profundidade

|   |                       |   |         |   |         |
|---|-----------------------|---|---------|---|---------|
|  | Nível 1 (superficial) |  | Nível 2 |  | Nível 3 |
|---|-----------------------|---|---------|---|---------|

### Falhas

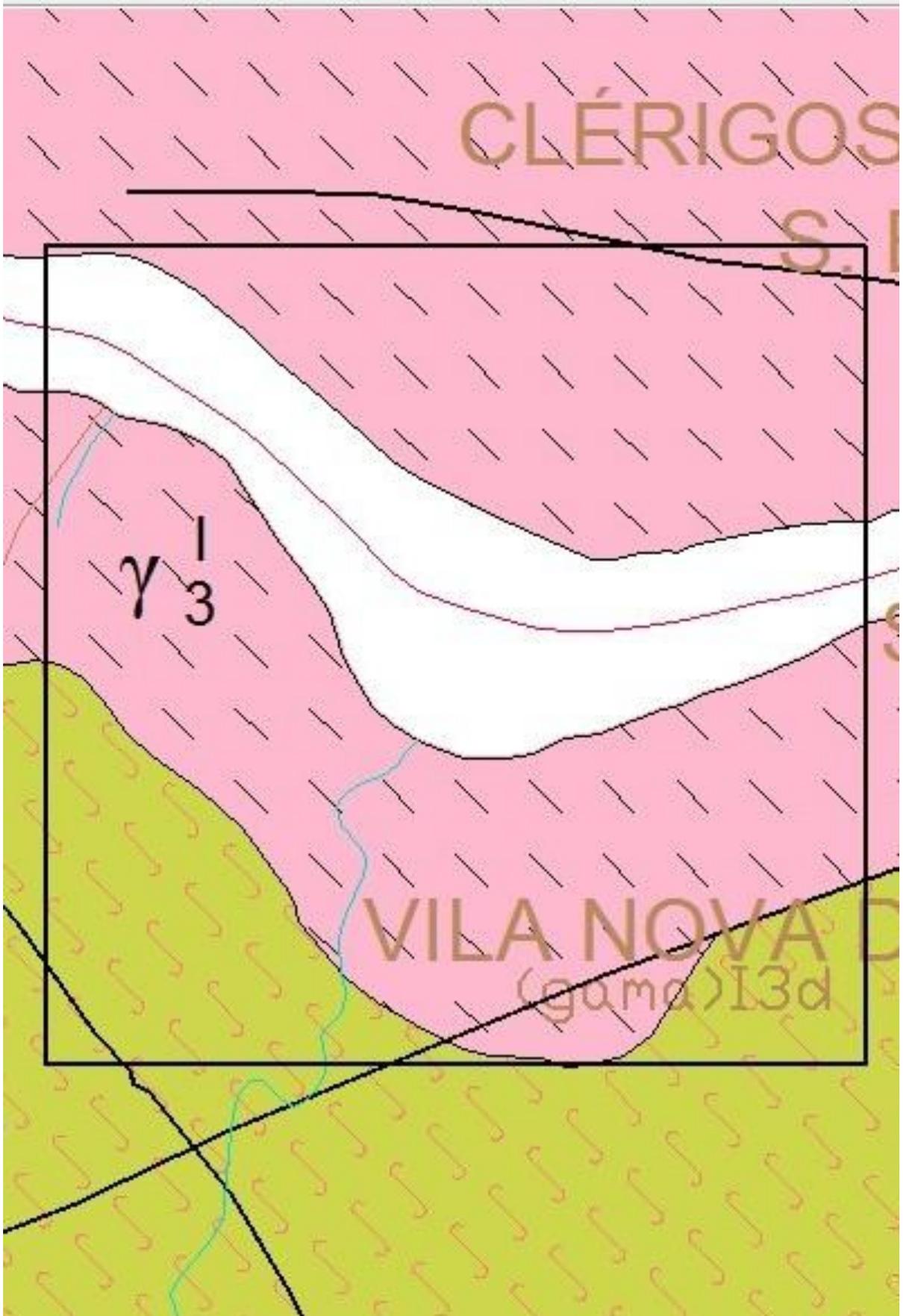
|   |       |   |   |
|---|-------|---|---|
|  | Falha |  | Falha provável e/ou alinhamento de fractura |
|---|-------|---|---|

Nota: ver legenda complementar na Notícia Explicativa, Volume I, Tomo 1

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
|  | <b>CARTA GEOTÉCNICA<br/>DO PORTO</b>        | 2ª Edição 2003                  |
|   | LEGENDA DA CARTA DE<br>ZONAMENTO GEOTÉCNICO | Des. n.º 008                    |
|   |   | Escala: 1:10 000<br>Página: 1/1 |

Interditada a Reprodução e Divulgação sem Prévia Autorização do Município do Porto

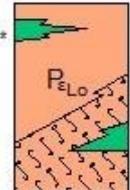




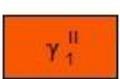
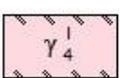
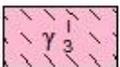
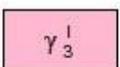


# CARTA GEOLÓGICA DO CONCELHO DE VILA NOVA DE GAIA

## LEGENDA

|   |   |
|---|---|
|  | <p>Formação de Lourosa:<br/>Membro superior: micaxistos, às vezes granatíferos com abundantes níveis de anfibolitos (*)<br/>Membro inferior: ortogneisses e migmatitos com intercalações de anfibolitos(**)</p> |
|---|---|

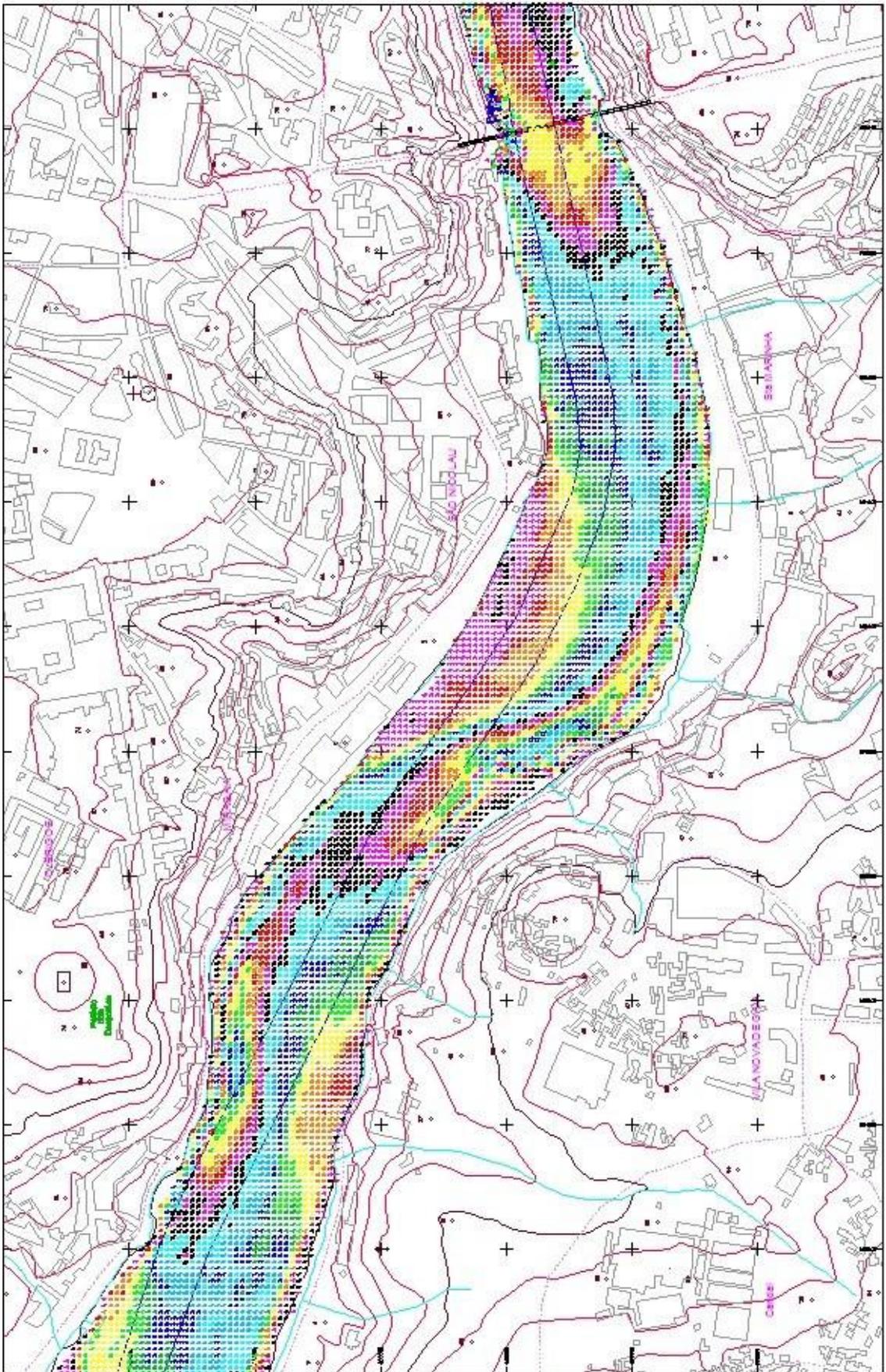
## ROCHAS GRANITOIDES

|   |   |
|---|---|
|  | <p>Granito porfiróide de grão grosseiro a médio, essencialmente biotítico</p>                         |
|  | <p>Granitos e granodioritos, de grão médio, porfiróide, com duas micas, essencialmente biotíticos</p> |
|  | <p>Granito de grão grosseiro, moscovítico, tumalínico</p>   |
|  | <p>Granito de grão médio de duas micas</p>  |
|  | <p>Granito de grão fino de duas micas</p>   |



A3. Perfil de profundidades do rio Douro do local em análise









16

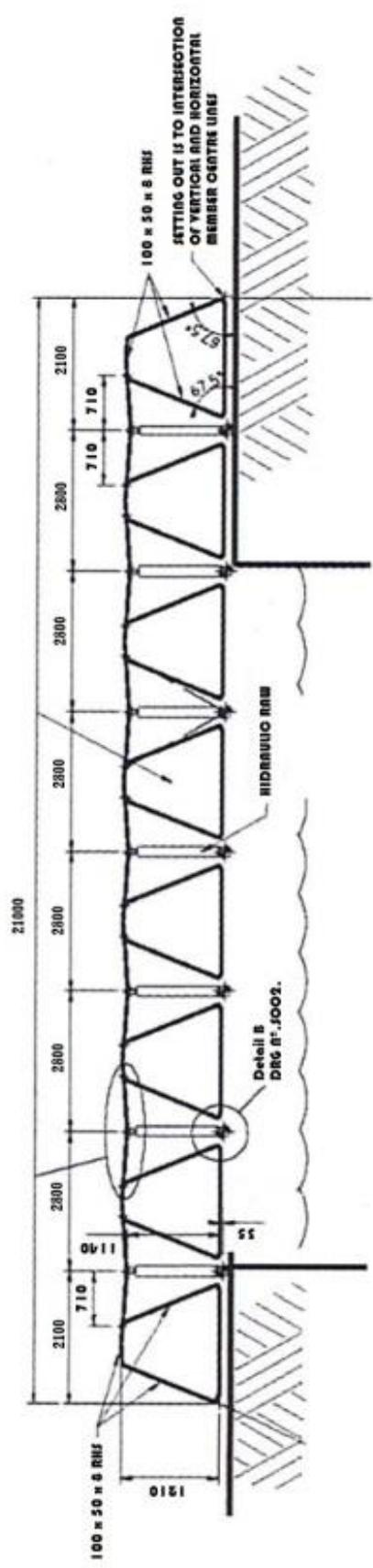
68

74



B1. Ponte móvel

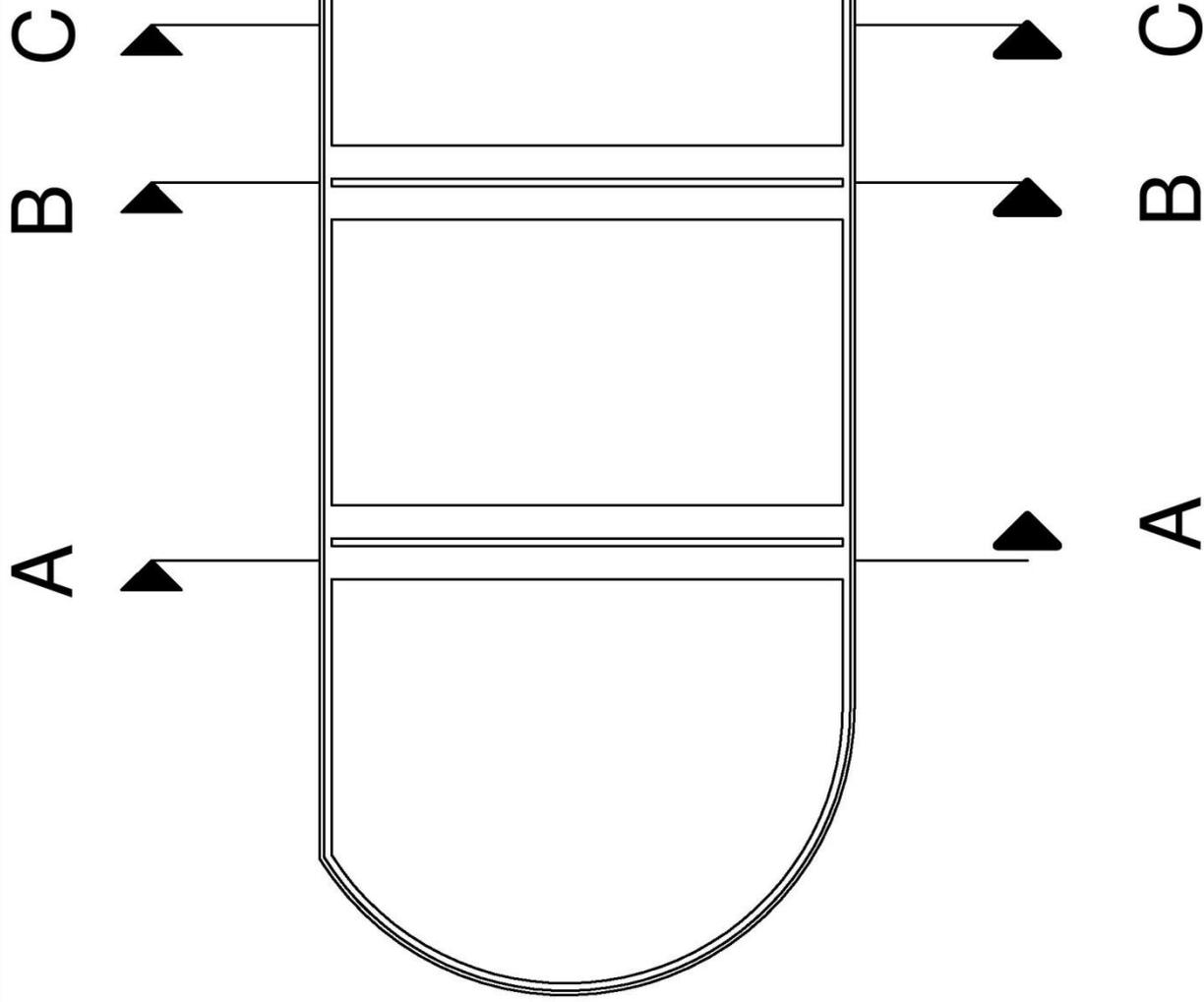






B2. Flutuador do tabuleiro

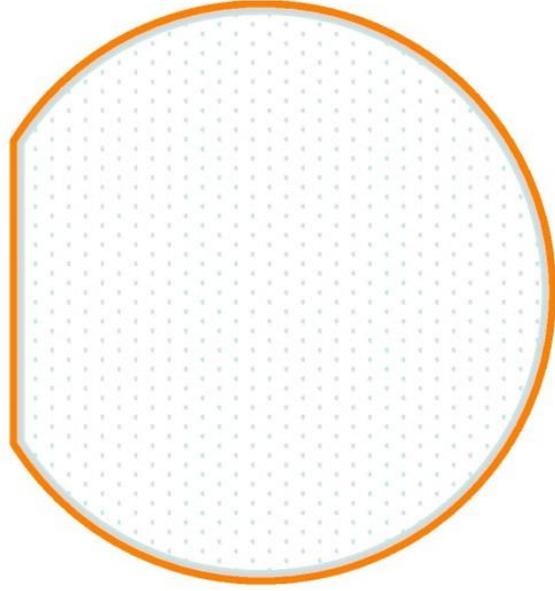




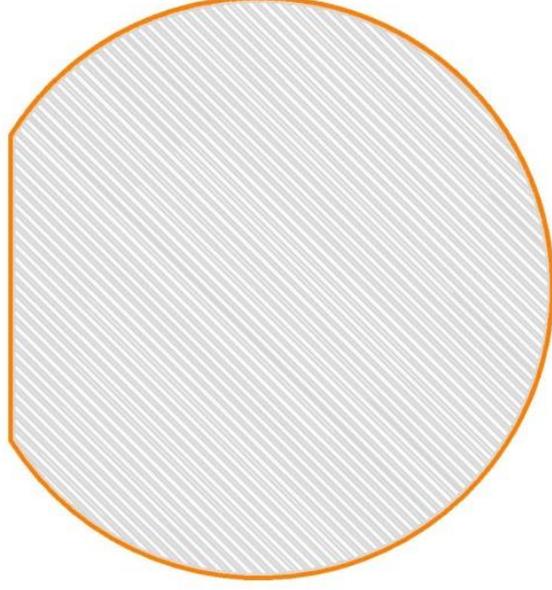
|  |               |
|--|---------------|
| Projeto de uma Ponte Pedonal Flutuante entre as Ribeiras do Porto e Gaia | Desenho nº 1  |
| Nome: Nuno Miguel Silva Costa  | Julho de 2016 |
| Flutuador do Tabuleiro em Alçado   | Escala: 1/50  |



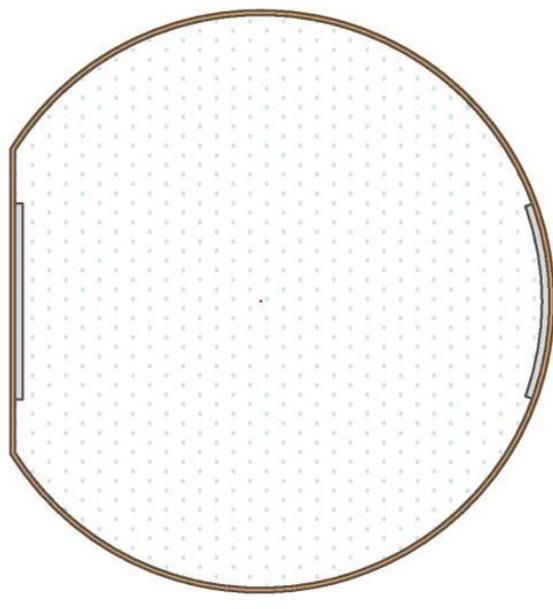
Corte A-A



Corte B-B



Corte C-C



Aço



Poliuretano elastómero



Espuma de Polietileno de Célula Fechada

Projeto de uma Ponte Pedonal Flutuante entre as Ribeiras do Porto e Gaia

Desenho nº 2

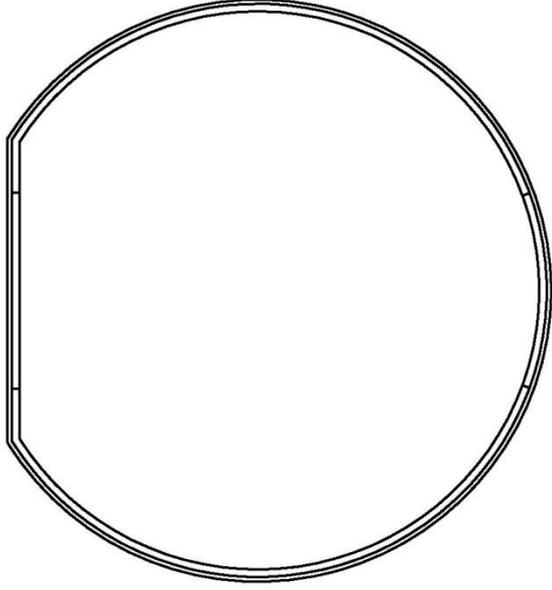
Nome: Nuno Miguel Silva Costa

Julho de 2016

Flutuador do Tabuleiro Cortes do Alçado

Escala: 1/50





Projeto de uma Ponte Pedonal Flutuante entre as Ribeiras do Porto e Gaia

Desenho nº 3

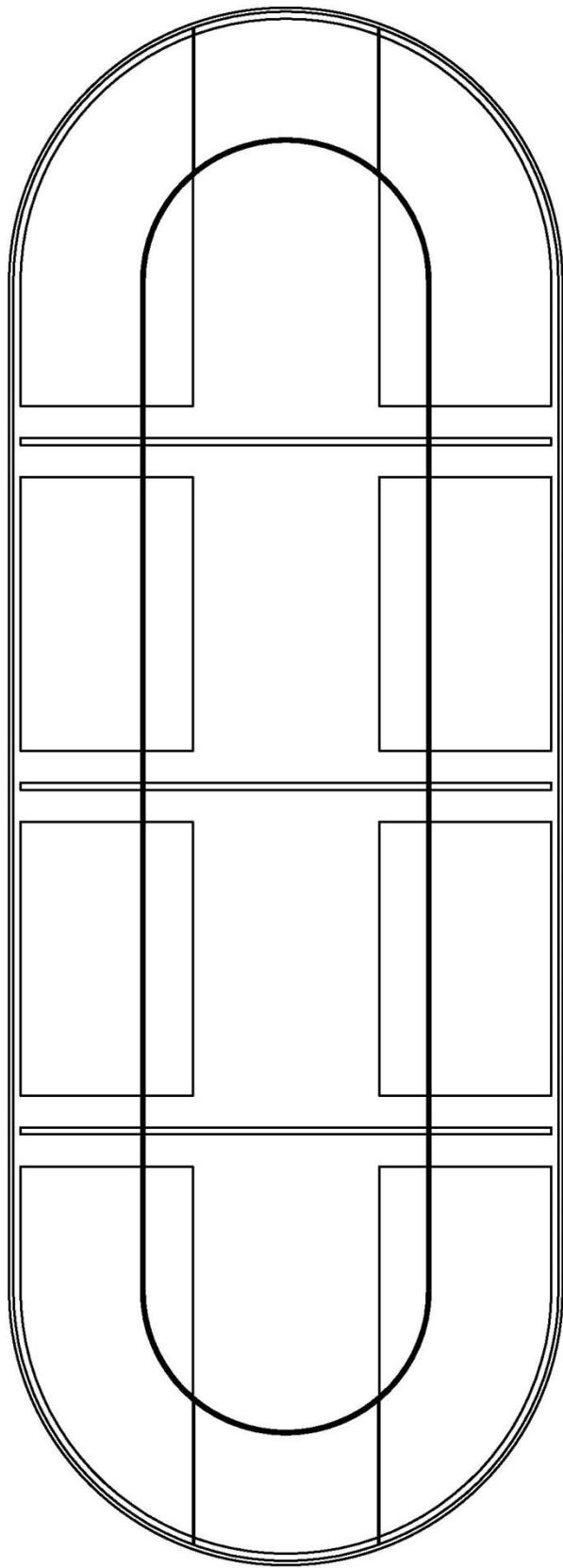
Nome: Nuno Miguel Silva Costa

Julho de 2016

Flutuador do Tabuleiro Vista Lateral

Escala: 1/50





Projeto de uma Ponte Pedonal Flutuante entre as Ribeiras do Porto e Gaia

Desenho nº 4

Nome: Nuno Miguel Silva Costa

Julho de 2016

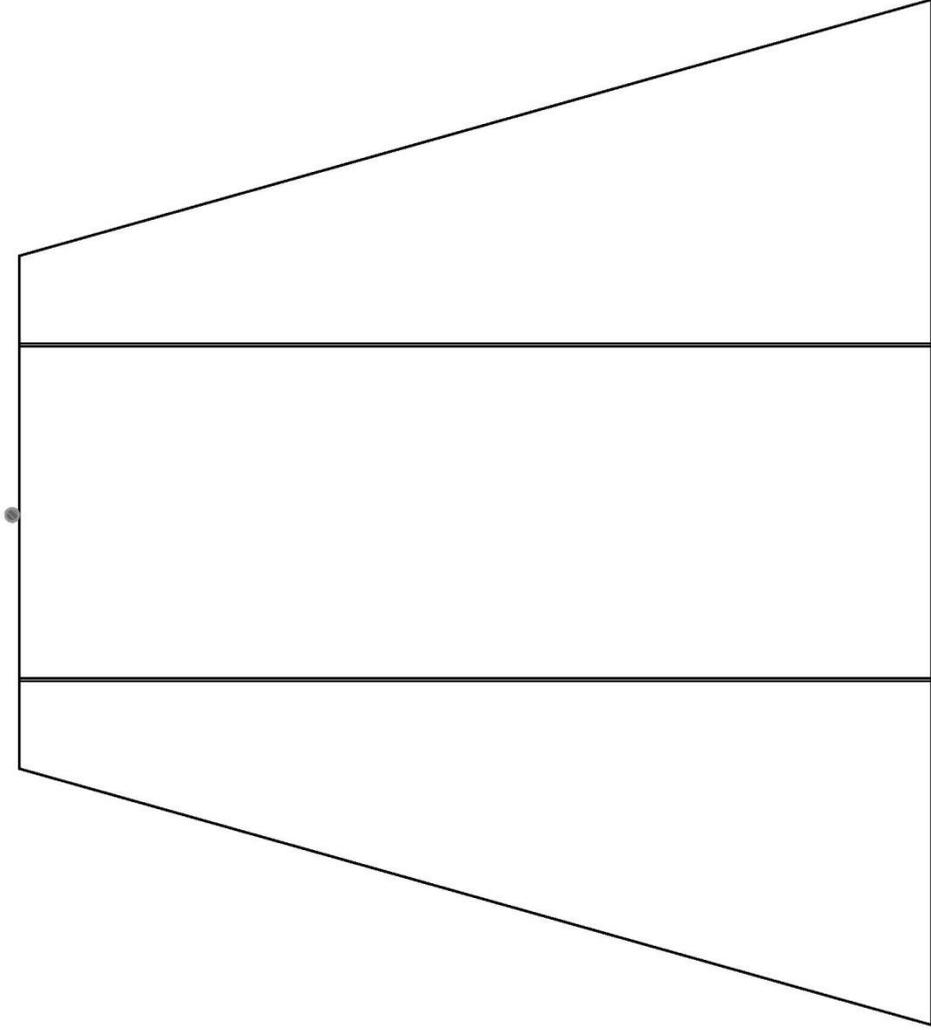
Flutuador do Tabuleiro em Planta

Escala: 1/50



B3. Flutuador da estaca telescópica





Projeto de uma Ponte Pedonal Flutuante entre as Ribeiras do Porto e Gaia

Desenho nº 5

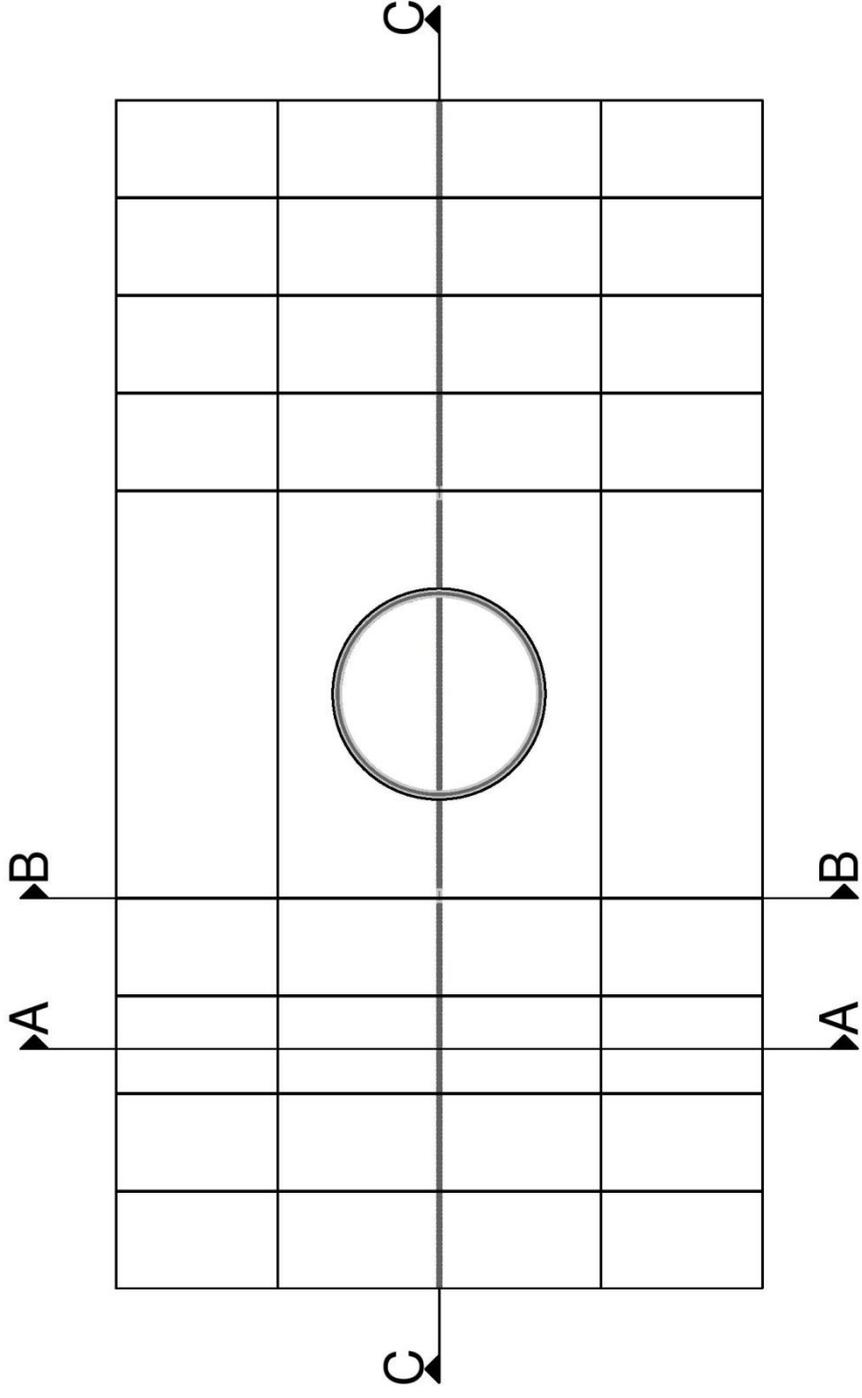
Nome: Nuno Miguel Silva Costa

Julho 2016

Flutuador da Estaca Telescópica Vista Lateral

Escala: 1:25





Projeto de uma Ponte Pedonal Flutuante entre as Ribeiras do Porto e Gaia

Desenho nº 6

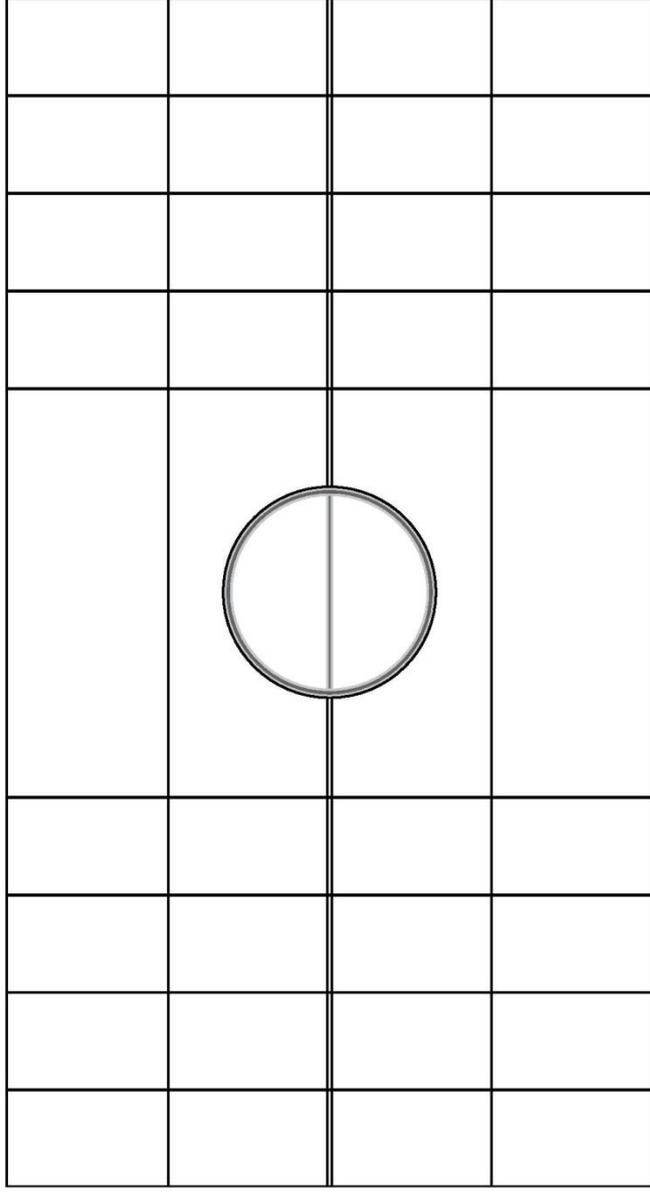
Nome: Nuno Miguel Silva Costa

Julho 2016

Flutuador da Estaca Telescópica Vista Superior

Escala: 1:40





Desenho nº 7

Projeto de uma Ponte Pedonal Flutuante entre as Ribeiras do Porto e Gaia

Julho 2016

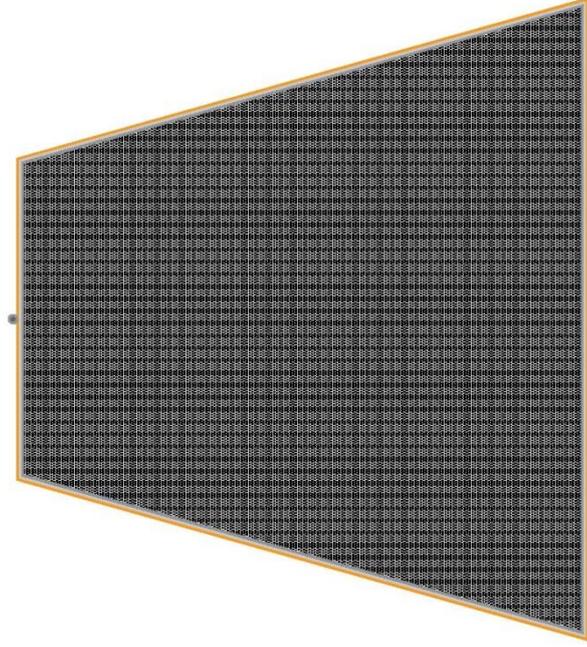
Nome: Nuno Miguel Silva Costa

Escala: 1:40

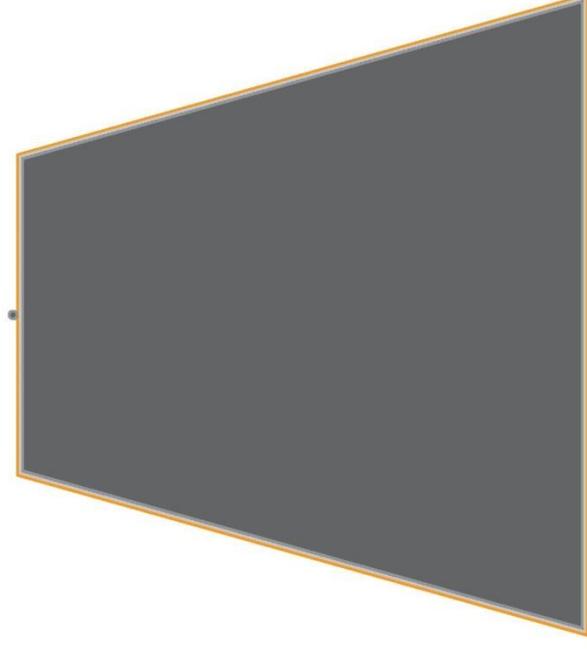
Flutuador da Estaca Telescópica Vista Inferior



# Corte A-A



# Corte B-B



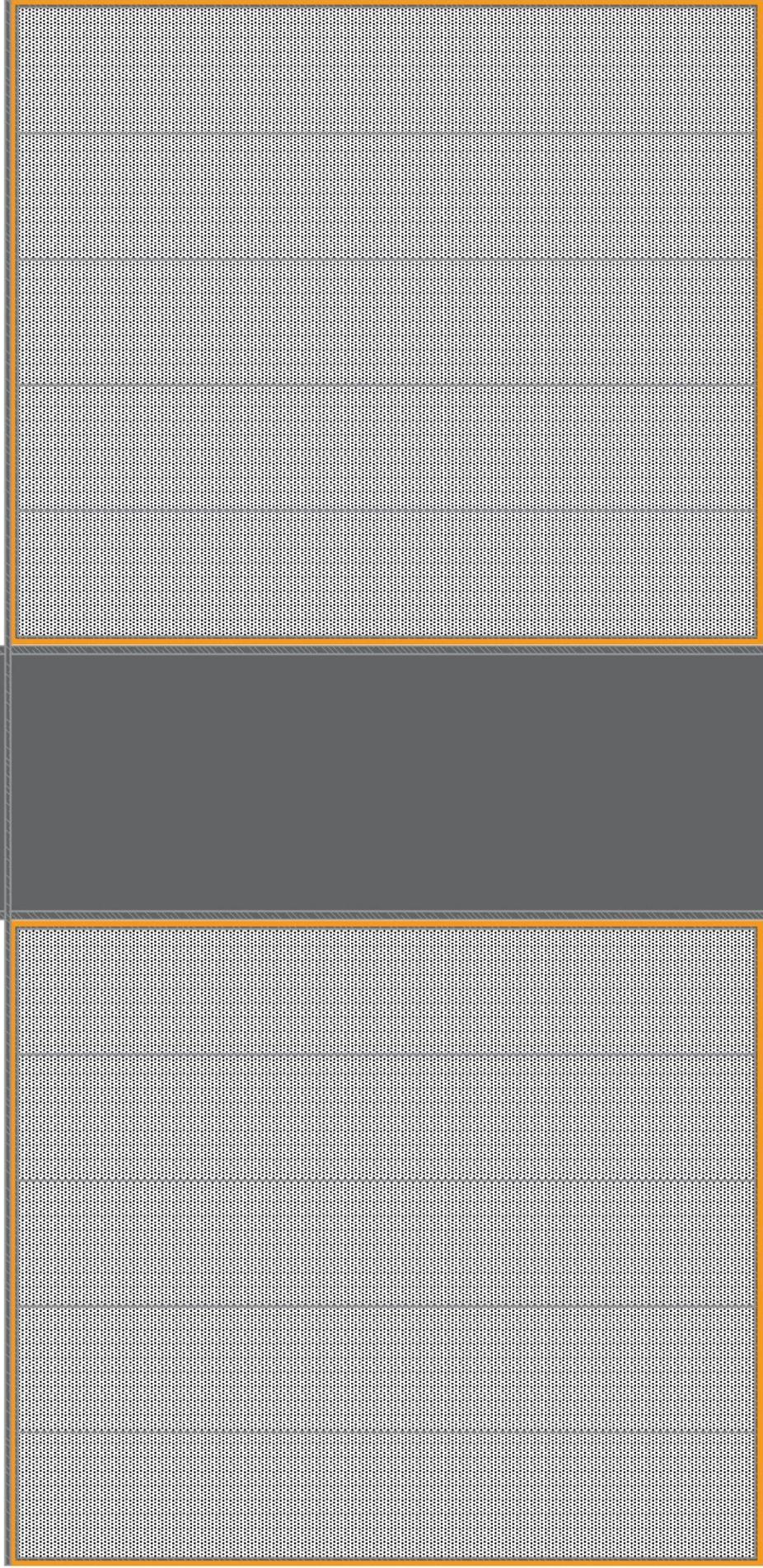
■ Poliuretano elastómero

■ Aço

■ Espuma de Polietileno de Célula Fechada

|  |              |
|--|--------------|
| Projeto de uma Ponte Pedonal Flutuante entre as Ribeiras do Porto e Gaia | Desenho nº 8 |
| Nome: Nuno Miguel Silva Costa  | Julho 2016   |
| Flutuador da Estaca Telescópica CorteS A-A e B-B                         | Escala: 1:40 |





■ Poliuretano elastómero

■ Aço

■ Espuma de Polietileno de Célula Fechada

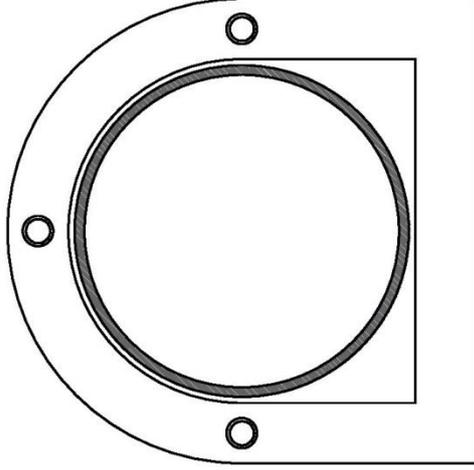
|  |              |
|--|--------------|
| Projeto de uma Ponte Pedonal Flutuante entre as Ribeiras do Porto e Gaia | Desenho nº 9 |
| Nome: Nuno Miguel Silva Costa  | Julho 2016   |
| Flutuador da Estaca Telescópica Corte C-C                                | Escala: 1:25 |



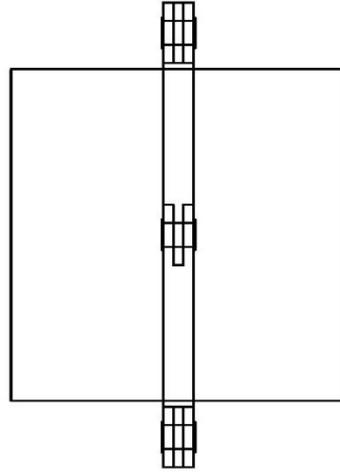
B4. Ligação entre a estaca telescópica e o tabuleiro



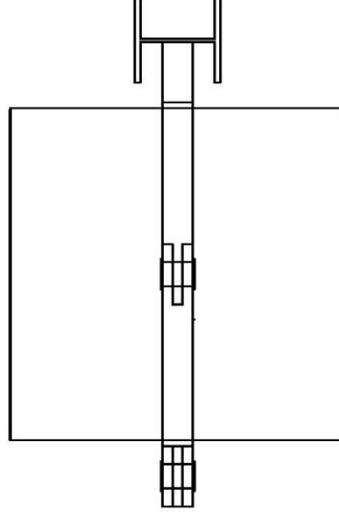
Vista Superior



Vista Frontal



Vista Lateral



Projeto de uma Ponte Pedonal Flutuante entre as Ribeiras do Porto e Gaia

Desenho nº 10

Nome: Nuno Miguel Silva Costa

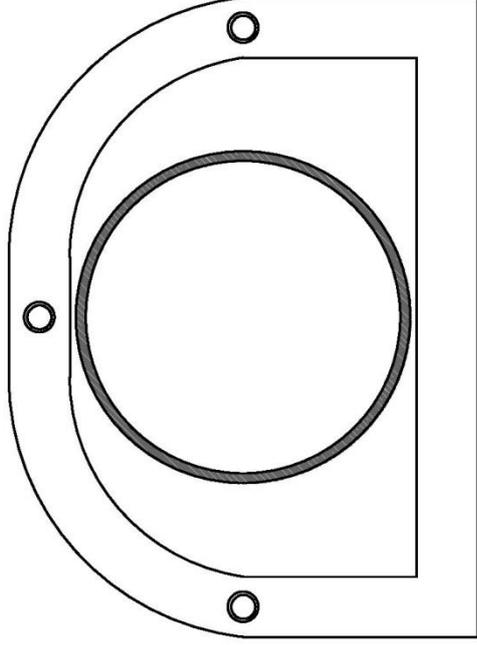
Julho 2016

Ligação Estaca Telescópica-Tabuleiro com dois deslocamentos restringidos

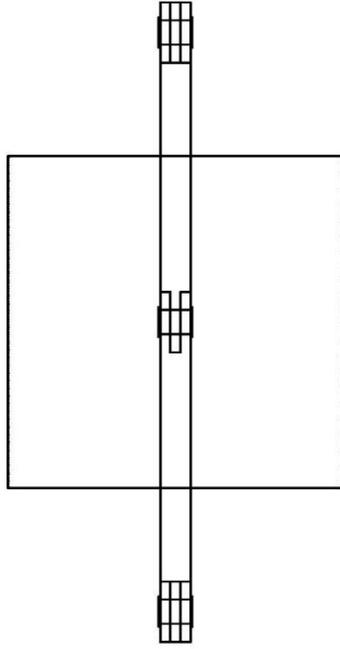
Escala: 1:25



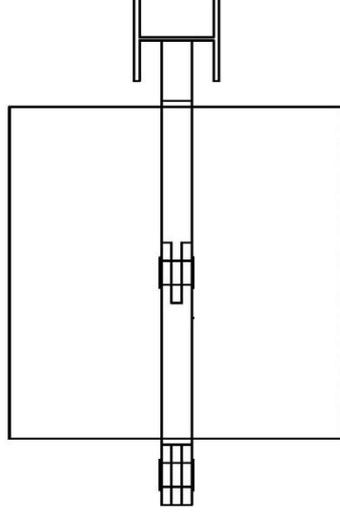
# Vista Superior



# Vista Frontal



# Vista Lateral

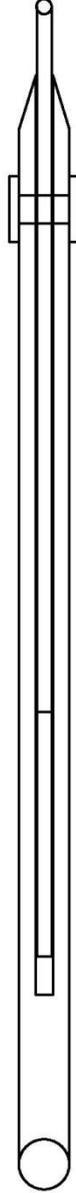
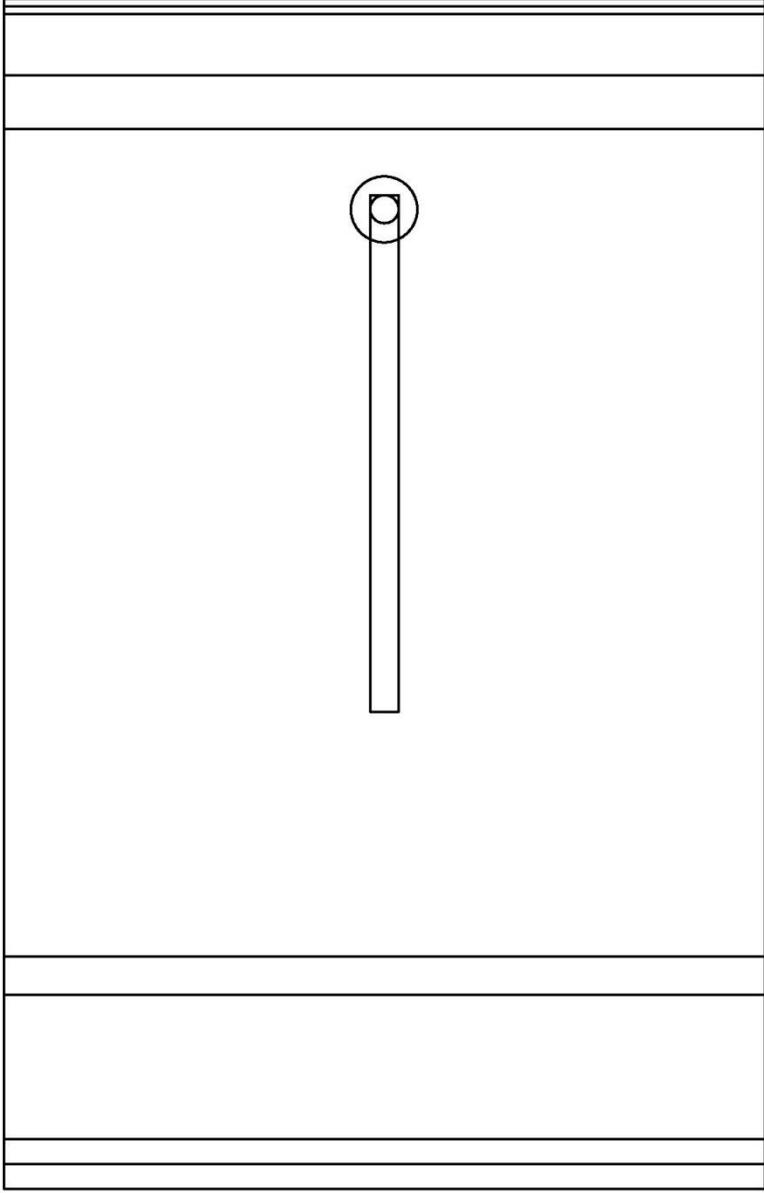


|  |               |
|--|---------------|
| Projeto de uma Ponte Pedonal Flutuante entre as Ribeiras do Porto e Gaia | Desenho nº 11 |
| Nome: Nuno Miguel Silva Costa  | Julho 2016    |
| Ligação Estaca Telescópica-Tabuleiro com um deslocamento restringido     | Escala: 1:25  |



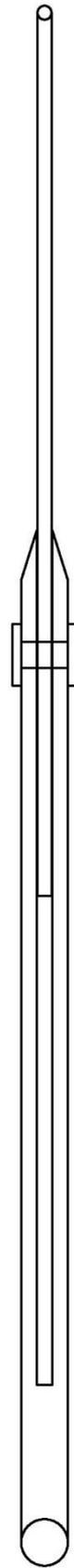
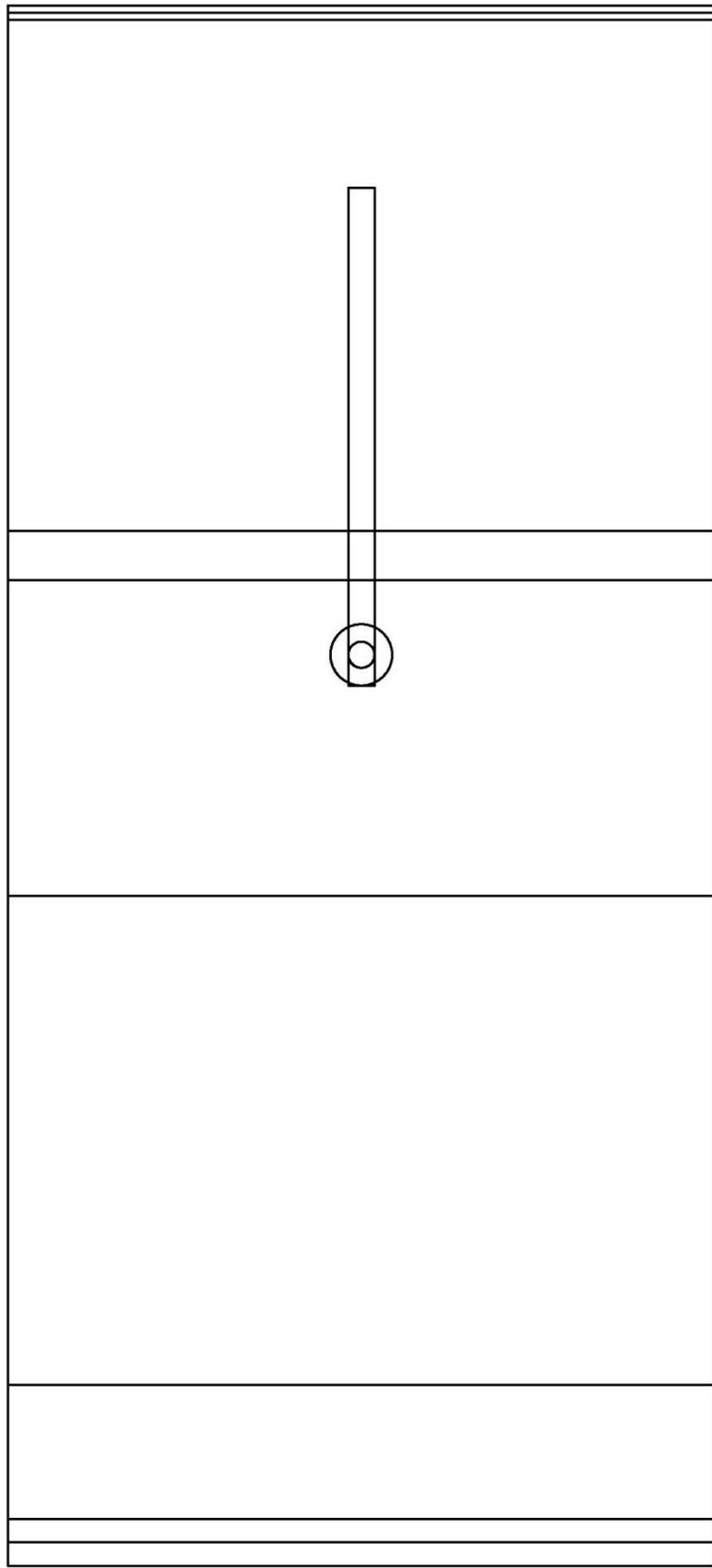
B5. Ponte de acesso





|  |               |
|--|---------------|
| Projeto de uma Ponte Pedonal Flutuante entre as Ribeiras do Porto e Gaia                       | Desenho nº 14 |
| Nome: Nuno Miguel Silva Costa  | Julho 2016    |
| Ligação entre Ponte Flutuante e Margem de Gaia/Paredão - Em planta e Alçado - Distância Mínima | Escala: 1:40  |





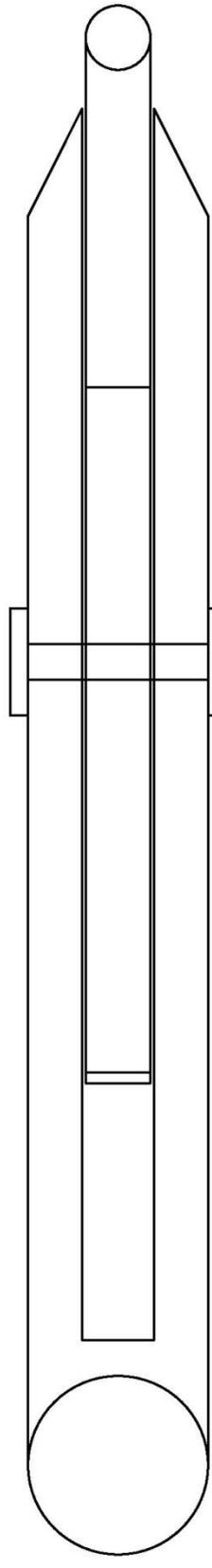
|  |               |
|--|---------------|
| Projeto de uma Ponte Pedonal Flutuante entre as Ribeiras do Porto e Gaia                       | Desenho nº 15 |
| Nome: Nuno Miguel Silva Costa  | Julho 2016    |
| Ligação entre Ponte Flutuante e Margem de Gaia/Paredão - Em planta e Alçado - Distância Máxima | Escala: 1:40  |



B6. Ligação entre células



$\Delta x$  Global

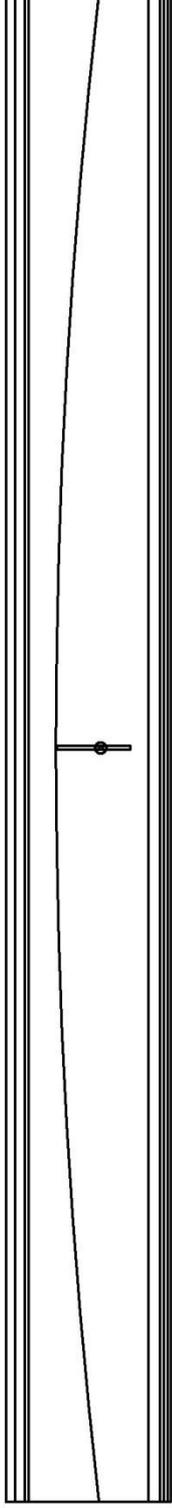


$\Delta x$  Temperatura

$\Delta x$  Temperatura

|  |               |
|--|---------------|
| Projeto de uma Ponte Pedonal Flutuante entre as Ribeiras do Porto e Gaia | Desenho nº 12 |
| Nome: Nuno Miguel Silva Costa  | Julho 2016    |
| Ligação entre Células em Alçado  | Escala: 1:2   |





Projeto de uma Ponte Pedonal Flutuante entre as Ribeiras do Porto e Gaia

Desenho nº 13

Nome: Nuno Miguel Silva Costa

Julho 2016

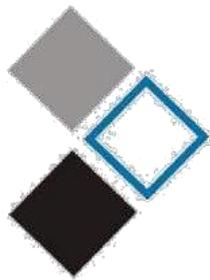
Ligação entre Células em Planta

Escala: 1:20



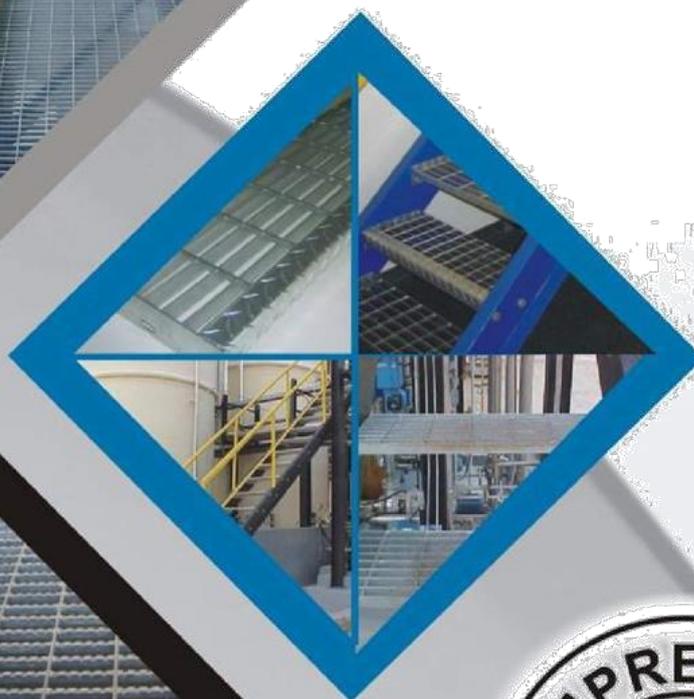
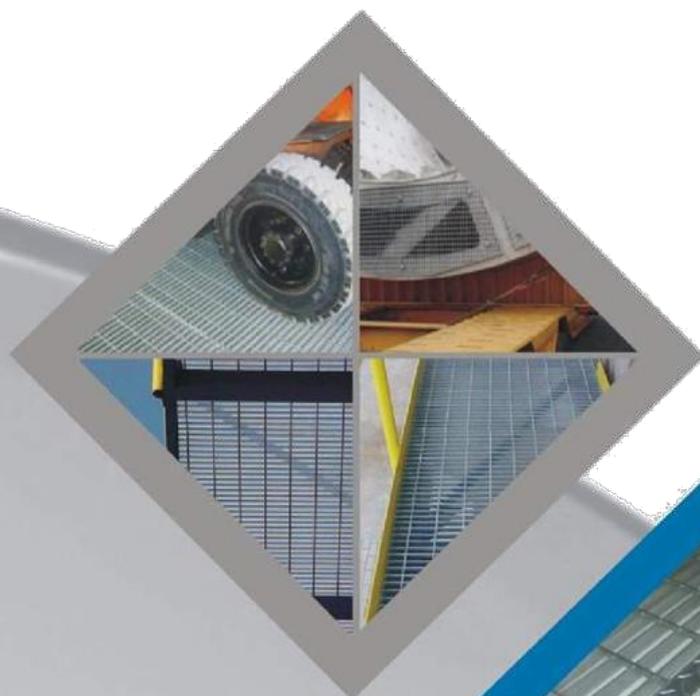
Grades de pavimento





# GRADETEC

**GRADES  
DE PISO E  
DEGRAUS**





TIPOS: GB50 (MALHA 25MM X 50MM) E GB100 (MALHA 25MM X 100MM)

| Código    | Altura (mm) | Malha (mm) | Peso (kg/m <sup>2</sup> ) | Vãos (mm) |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|-------------|------------|---------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|           |             |            |                           | 300       | 400   | 500   | 600   | 700   | 800  | 900  | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | 1600 | 1700 | 1800 | 1900 | 2000 |
| GB50-202  | 20          | 25x50      | 16,3                      | 6803      | 3827  | 2449  | 1701  | 1250  | 861  | 605  | 441  | 331  | 255  | 201  | 161  | 131  | 108  | 90   | 76   | 64   | 55   |
| GB50-203  |             |            | 22,0                      | 10204     | 5740  | 3674  | 2551  | 1874  | 1292 | 907  | 661  | 497  | 383  | 301  | 241  | 196  | 161  | 135  | 113  | 96   | 83   |
| GB50-205  |             |            | 31,0                      | 14659     | 8245  | 5277  | 3665  | 2638  | 1767 | 1241 | 905  | 680  | 524  | 412  | 330  | 268  | 221  | 184  | 155  | 132  | 113  |
| GB100-202 | 20          | 25x100     | 13,8                      | 6803      | 3827  | 2449  | 1701  | 1250  | 861  | 605  | 441  | 331  | 255  | 201  | 161  | 131  | 108  | 90   | 76   | 64   | 55   |
| GB100-203 |             |            | 19,5                      | 10204     | 5740  | 3674  | 2551  | 1874  | 1292 | 907  | 661  | 497  | 383  | 301  | 241  | 196  | 161  | 135  | 113  | 96   | 83   |
| GB100-205 |             |            | 27,8                      | 14659     | 8245  | 5277  | 3665  | 2638  | 1767 | 1241 | 905  | 680  | 524  | 412  | 330  | 268  | 221  | 184  | 155  | 132  | 113  |
| GB50-252  | 25          | 25x50      | 19,2                      | 10630     | 5979  | 3827  | 2657  | 1952  | 1495 | 1181 | 861  | 647  | 498  | 392  | 314  | 255  | 210  | 175  | 148  | 126  | 108  |
| GB50-253  |             |            | 26,4                      | 15944     | 8969  | 5740  | 3986  | 2929  | 2242 | 1772 | 1292 | 970  | 747  | 588  | 471  | 383  | 315  | 263  | 221  | 188  | 161  |
| GB50-255  |             |            | 38,8                      | 26060     | 14659 | 9381  | 6515  | 4786  | 3665 | 2896 | 2145 | 1611 | 1241 | 976  | 782  | 635  | 524  | 437  | 368  | 313  | 268  |
| GB100-252 | 25          | 25x100     | 16,7                      | 10630     | 5979  | 3827  | 2657  | 1952  | 1495 | 1181 | 861  | 647  | 498  | 392  | 314  | 255  | 210  | 175  | 148  | 126  | 108  |
| GB100-253 |             |            | 23,9                      | 15944     | 8969  | 5740  | 3986  | 2929  | 2242 | 1772 | 1292 | 970  | 747  | 588  | 471  | 383  | 315  | 263  | 221  | 188  | 161  |
| GB100-255 |             |            | 36,3                      | 26060     | 14659 | 9381  | 6515  | 4786  | 3665 | 2896 | 2145 | 1611 | 1241 | 976  | 782  | 635  | 524  | 437  | 368  | 313  | 268  |
| GB50-302  | 30          | 25x50      | 22,1                      | 15307     | 8610  | 5510  | 3827  | 2811  | 2153 | 1701 | 1378 | 1118 | 861  | 677  | 542  | 441  | 363  | 303  | 255  | 217  | 186  |
| GB50-303  |             |            | 30,7                      | 22960     | 12915 | 8266  | 5740  | 4217  | 3229 | 2551 | 2066 | 1677 | 1292 | 1016 | 813  | 661  | 545  | 454  | 383  | 325  | 279  |
| GB50-305  |             |            | 47,4                      | 40847     | 22976 | 14705 | 10212 | 7502  | 5744 | 4539 | 3676 | 3038 | 2435 | 1916 | 1534 | 1247 | 1027 | 857  | 722  | 614  | 526  |
| GB100-302 | 30          | 25x100     | 19,6                      | 15307     | 8610  | 5510  | 3827  | 2811  | 2153 | 1701 | 1378 | 1118 | 861  | 677  | 542  | 441  | 363  | 303  | 255  | 217  | 186  |
| GB100-303 |             |            | 28,2                      | 22960     | 12915 | 8266  | 5740  | 4217  | 3229 | 2551 | 2066 | 1677 | 1292 | 1016 | 813  | 661  | 545  | 454  | 383  | 325  | 279  |
| GB100-305 |             |            | 44,9                      | 40847     | 22976 | 14705 | 10212 | 7502  | 5744 | 4539 | 3676 | 3038 | 2435 | 1916 | 1534 | 1247 | 1027 | 857  | 722  | 614  | 526  |
| GB50-352  | 35          | 25x50      | 24,6                      | 20834     | 11719 | 7500  | 5209  | 3827  | 2930 | 2315 | 1875 | 1550 | 1302 | 1075 | 861  | 700  | 577  | 481  | 405  | 344  | 295  |
| GB50-353  |             |            | 35,2                      | 31251     | 17579 | 11250 | 7813  | 5740  | 4395 | 3472 | 2813 | 2324 | 1953 | 1613 | 1292 | 1050 | 865  | 721  | 608  | 517  | 443  |
| GB50-355  |             |            | 51,7                      | 49481     | 27833 | 17813 | 12370 | 9088  | 6958 | 5498 | 4453 | 3680 | 3093 | 2554 | 2045 | 1663 | 1370 | 1142 | 962  | 818  | 701  |
| GB100-352 | 35          | 25x100     | 22,6                      | 20834     | 11719 | 7500  | 5209  | 3827  | 2930 | 2315 | 1875 | 1550 | 1302 | 1075 | 861  | 700  | 577  | 481  | 405  | 344  | 295  |
| GB100-353 |             |            | 32,7                      | 31251     | 17579 | 11250 | 7813  | 5740  | 4395 | 3472 | 2813 | 2324 | 1953 | 1613 | 1292 | 1050 | 865  | 721  | 608  | 517  | 443  |
| GB100-355 |             |            | 49,2                      | 49481     | 27833 | 17813 | 12370 | 9088  | 6958 | 5498 | 4453 | 3680 | 3093 | 2554 | 2045 | 1663 | 1370 | 1142 | 962  | 818  | 701  |
| GB50-382  | 38          | 25x50      | 26,8                      | 24559     | 13814 | 8841  | 6140  | 4511  | 3454 | 2729 | 2210 | 1827 | 1535 | 1308 | 1102 | 896  | 738  | 615  | 518  | 441  | 378  |
| GB50-383  |             |            | 37,7                      | 36838     | 20721 | 13262 | 9210  | 6766  | 5180 | 4093 | 3315 | 2740 | 2302 | 1962 | 1653 | 1344 | 1107 | 923  | 778  | 661  | 567  |
| GB50-385  |             |            | 55,9                      | 58634     | 32982 | 21108 | 14659 | 10770 | 8245 | 6515 | 5277 | 4361 | 3665 | 3123 | 2638 | 2145 | 1767 | 1473 | 1241 | 1055 | 905  |
| GB100-382 | 38          | 25x100     | 24,2                      | 24559     | 13814 | 8841  | 6140  | 4511  | 3454 | 2729 | 2210 | 1827 | 1535 | 1308 | 1102 | 896  | 738  | 615  | 518  | 441  | 378  |
| GB100-383 |             |            | 35,2                      | 36838     | 20721 | 13262 | 9210  | 6766  | 5180 | 4093 | 3315 | 2740 | 2302 | 1962 | 1653 | 1344 | 1107 | 923  | 778  | 661  | 567  |
| GB100-385 |             |            | 53,4                      | 58634     | 32982 | 21108 | 14659 | 10770 | 8245 | 6515 | 5277 | 4361 | 3665 | 3123 | 2638 | 2145 | 1767 | 1473 | 1241 | 1055 | 905  |



C2. Verificações dos elementos em aço segundo o Eurocódigo 3



Autor:

Ficheiro: **Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -****Tesste\_BFinal2\_Versão Simplex.rtd**

Morada:

Projecto: Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -

Tesste\_BFinal2

| Membro     |  | Material | Lay   | Laz   | Relação | Caso | Proporçã           |      |
|------------|--|----------|-------|-------|---------|------|--------------------|------|
| 1 Viga_1   |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.25 | 119 ULS/45=2*1.35  | 0.01 |
| 2 Viga_2   |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.24 | 119 ULS/45=2*1.35  | 0.02 |
| 3 Viga_3   |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.38 | 79 ULS/5=2*1.35+3* | 0.01 |
| 4 Viga_4   |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.38 | 79 ULS/5=2*1.35+3* | 0.03 |
| 5 Viga_5   |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.37 | 83 ULS/9=2*1.35+3* | 0.01 |
| 6 Viga_6   |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.37 | 83 ULS/9=2*1.35+3* | 0.03 |
| 7 Viga_7   |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.36 | 28 COMB384_Raro    | 0.03 |
| 8 Viga_8   |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.40 | 28 COMB384_Raro    | 0.02 |
| 9 Viga_9   |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.40 | 28 COMB384_Raro    | 0.04 |
| 10 Viga_10 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.40 | 454 ULS/19532=2*1  | 0.02 |
| 11 Viga_11 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.41 | 454 ULS/19532=2*1  | 0.05 |
| 12 Viga_12 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.35 | 95 ULS/21=2*1.35+  | 0.01 |
| 13 Viga_13 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.37 | 99 ULS/25=2*1.35+  | 0.03 |
| 14 Viga_14 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.37 | 99 ULS/25=2*1.35+  | 0.02 |
| 15 Viga_15 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.38 | 103 ULS/29=2*1.35  | 0.03 |
| 16 Viga_16 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.38 | 103 ULS/29=2*1.35  | 0.01 |
| 17 Viga_17 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.19 | 103 ULS/29=2*1.35  | 0.01 |
| 18 Viga_18 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.18 | 103 ULS/29=2*1.35  | 0.01 |
| 19 Viga_19 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.28 | 119 ULS/45=2*1.35  | 0.01 |
| 20 Viga_20 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.31 | 119 ULS/45=2*1.35  | 0.02 |
| 21 Viga_21 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.42 | 79 ULS/5=2*1.35+3* | 0.01 |
| 22 Viga_22 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.45 | 79 ULS/5=2*1.35+3* | 0.03 |
| 23 Viga_23 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.40 | 83 ULS/9=2*1.35+3* | 0.01 |
| 24 Viga_24 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.44 | 83 ULS/9=2*1.35+3* | 0.03 |
| 25 Viga_25 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.40 | 87 ULS/13=2*1.35+  | 0.03 |
| 26 Viga_26 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.42 | 87 ULS/13=2*1.35+  | 0.02 |
| 27 Viga_27 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.41 | 91 ULS/17=2*1.35+  | 0.04 |
| 28 Viga_28 |  | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22   | 0.41 | 91 ULS/17=2*1.35+  | 0.02 |

|            |          |       |       |       |      |                    |      |
|------------|----------|-------|-------|-------|------|--------------------|------|
| 29 Viga_29 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.42 | 95 ULS/21=2*1.35+  | 0.05 |
| 30 Viga_30 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.40 | 95 ULS/21=2*1.35+  | 0.01 |
| 31 Viga_31 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.44 | 99 ULS/25=2*1.35+  | 0.03 |
| 32 Viga_32 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.41 | 99 ULS/25=2*1.35+  | 0.02 |
| 33 Viga_33 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.45 | 103 ULS/29=2*1.35  | 0.02 |
| 34 Viga_34 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.42 | 103 ULS/29=2*1.35  | 0.01 |
| 35 Viga_35 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.26 | 147 ULS/73=2*1.35  | 0.01 |
| 36 Viga_36 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.23 | 147 ULS/73=2*1.35  | 0.01 |
| 37 Viga_37 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.26 | 119 ULS/45=2*1.35  | 0.02 |
| 38 Viga_38 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.32 | 424 ULS/19502=2*1  | 0.02 |
| 39 Viga_39 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.44 | 79 ULS/5=2*1.35+3* | 0.01 |
| 40 Viga_40 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.53 | 384 ULS/19462=2*1  | 0.03 |
| 41 Viga_41 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.48 | 83 ULS/9=2*1.35+3* | 0.01 |
| 42 Viga_42 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.63 | 388 ULS/19466=2*1  | 0.03 |
| 43 Viga_43 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.58 | 392 ULS/19470=2*1  | 0.03 |
| 44 Viga_44 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.67 | 392 ULS/19470=2*1  | 0.02 |
| 45 Viga_45 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.65 | 396 ULS/19474=2*1  | 0.04 |
| 46 Viga_46 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.66 | 396 ULS/19474=2*1  | 0.02 |
| 47 Viga_47 | HE 280 B | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.67 | 400 ULS/19478=2*1  | 0.05 |

Data : 05/07/16

Página : 1

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014

Autor:

Ficheiro: **Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -**

**Tesste\_BFinal2\_Versão Simplex.rtd**

Morada:

Projecto: Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -

Tesste\_BFinal2

| Membro     | Seção    | Material | Lay   | Laz   | Relação | Caso              | Proporçã |
|------------|----------|----------|-------|-------|---------|-------------------|----------|
| 48 Viga_48 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.68    | 28 COMB384_Raro   | 0.01     |
| 49 Viga_49 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.71    | 28 COMB384_Raro   | 0.03     |
| 50 Viga_50 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.49    | 99 ULS/25=2*1.35+ | 0.02     |
| 51 Viga_51 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.54    | 408 ULS/19486=2*1 | 0.03     |
| 52 Viga_52 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.45    | 103 ULS/29=2*1.35 | 0.01     |
| 53 Viga_53 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.32    | 452 ULS/19530=2*1 | 0.02     |

|                   |            |       |       |       |      |                   |      |
|-------------------|------------|-------|-------|-------|------|-------------------|------|
| 54 Viga_54        | HE 280 B   | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.18 | 408 ULS/19486=2*1 | 0.01 |
| 55 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.43 | 318 ULS/14608=2*1 | -    |
| 56 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.46 | 318 ULS/14608=2*1 | -    |
| 57 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.11 | 29 COMB385_Raro   | -    |
| 58 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.12 | 29 COMB385_Raro   | -    |
| 59 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.43 | 326 ULS/14616=2*1 | -    |
| 60 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.46 | 326 ULS/14616=2*1 | -    |
| 61 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.11 | 418 ULS/19496=2*1 | -    |
| 62 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.11 | 418 ULS/19496=2*1 | -    |
| 63 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.43 | 330 ULS/14620=2*1 | -    |
| 64 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.45 | 330 ULS/14620=2*1 | -    |
| 65 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.08 | 422 ULS/19500=2*1 | -    |
| 66 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.07 | 423 ULS/19501=2*1 | -    |
| 67 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.43 | 334 ULS/14624=2*1 | -    |
| 68 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.45 | 334 ULS/14624=2*1 | -    |
| 69 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.06 | 90 ULS/16=2*1.35+ | -    |
| 70 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.05 | 90 ULS/16=2*1.35+ | -    |
| 71 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.43 | 306 ULS/14596=2*1 | -    |
| 72 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.45 | 306 ULS/14596=2*1 | -    |
| 73 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.10 | 26 COMB382_Raro   | -    |
| 74 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.10 | 28 COMB384_Raro   | -    |
| 75 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.43 | 350 ULS/14640=2*1 | -    |
| 76 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.45 | 338 ULS/14628=2*1 | -    |
| 77 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.11 | 342 ULS/14632=2*1 | -    |
| 78 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.14 | 342 ULS/14632=2*1 | -    |
| 79 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.43 | 354 ULS/14644=2*1 | -    |
| 80 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.46 | 354 ULS/14644=2*1 | -    |
| 81 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.11 | 28 COMB384_Raro   | -    |
| 82 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.10 | 41 Corrente_Raro  | -    |
| 83 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.43 | 358 ULS/14648=2*1 | -    |
| 84 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.45 | 358 ULS/14648=2*1 | -    |
| 85 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.11 | 418 ULS/19496=2*1 | -    |
| 86 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.10 | 41 Corrente_Raro  | -    |
| 87 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.43 | 362 ULS/14652=2*1 | -    |
| 88 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.46 | 362 ULS/14652=2*1 | -    |

|                   |            |       |       |       |      |                    |      |
|-------------------|------------|-------|-------|-------|------|--------------------|------|
| 89 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.11 | 29 COMB385_Raro    | -    |
| 90 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.11 | 29 COMB385_Raro    | -    |
| 91 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.43 | 370 ULS/14660=2*1  | -    |
| 92 Barra simples_ | RETÂNG_Tra | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.46 | 370 ULS/14660=2*1  | -    |
| 129 Viga_129      | HE 280 B   | S 355 | 18.16 | 31.05 | 0.08 | 78 ULS/4=2*1.35+3* | 0.01 |
| 130 Viga_130      | HE 280 B   | S 355 | 18.16 | 31.05 | 0.08 | 78 ULS/4=2*1.35+3* | 0.01 |

Data : 05/07/16

Página : 2

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014

Autor:

Ficheiro: **Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -**

**Tesste\_BFinal2\_Versão Simplex.rtd**

Morada:

Projecto: Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -

Tesste\_BFinal2

| Membro            | Seção      | Material | Lay   | Laz   | Relação | Caso               | Proporçã |
|-------------------|------------|----------|-------|-------|---------|--------------------|----------|
| 131 Viga_131      | HE 280 B   | S 355    | 18.16 | 31.05 | 0.12    | 77 ULS/3=2*1.35+3* | 0.00     |
| 132 Barra simples | RETÂNG_Tra | S 355    | 39.18 | 39.18 | 0.05    | 306 ULS/14596=2*1  | -        |
| 133 Barra simples | RETÂNG_Tra | S 355    | 39.18 | 39.18 | 0.05    | 306 ULS/14596=2*1  | -        |
| 136 Viga_136      | HE 280 B   | S 355    | 18.16 | 31.05 | 0.08    | 150 ULS/76=2*1.35  | 0.01     |
| 137 Viga_137      | HE 280 B   | S 355    | 18.16 | 31.05 | 0.12    | 109 ULS/35=2*1.35  | 0.00     |
| 138 Viga_138      | HE 280 B   | S 355    | 18.16 | 31.05 | 0.08    | 114 ULS/40=2*1.35  | 0.01     |
| 141 Barra simples | RETÂNG_Tra | S 355    | 39.18 | 39.18 | 0.05    | 338 ULS/14628=2*1  | -        |
| 142 Barra simples | RETÂNG_Tra | S 355    | 39.18 | 39.18 | 0.05    | 338 ULS/14628=2*1  | -        |
| 143 Barra simples | TUBUL_1    | S 355    | 65.76 | 65.76 | 0.05    | 306 ULS/14596=2*1  | -        |
| 144 Barra simples | TUBUL_1    | S 355    | 93.02 | 93.02 | 0.09    | 28 COMB384_Raro    | -        |
| 145 Barra simples | TUBUL_1    | S 355    | 93.02 | 93.02 | 0.30    | 29 COMB385_Raro    | -        |
| 146 Barra simples | TUBUL_1    | S 355    | 93.02 | 93.02 | 0.47    | 386 ULS/19464=2*1  | -        |
| 147 Barra simples | TUBUL_1    | S 355    | 93.02 | 93.02 | 0.21    | 29 COMB385_Raro    | -        |
| 148 Barra simples | TUBUL_1    | S 355    | 93.02 | 93.02 | 0.35    | 390 ULS/19468=2*1  | -        |
| 149 Barra simples | TUBUL_1    | S 355    | 93.02 | 93.02 | 0.13    | 395 ULS/19473=2*1  | -        |
| 150 Barra simples | TUBUL_1    | S 355    | 93.02 | 93.02 | 0.23    | 426 ULS/19504=2*1  | -        |
| 151 Barra simples | TUBUL_1    | S 355    | 93.02 | 93.02 | 0.07    | 399 ULS/19477=2*1  | -        |
| 152 Barra simples | TUBUL_1    | S 355    | 93.02 | 93.02 | 0.12    | 91 ULS/17=2*1.35+  | -        |
| 153 Barra simples | TUBUL_1    | S 355    | 93.02 | 93.02 | 0.20    | 28 COMB384_Raro    | -        |

|                   |         |       |       |       |      |                   |   |
|-------------------|---------|-------|-------|-------|------|-------------------|---|
| 154 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.08 | 29 COMB385_Raro   | - |
| 155 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.38 | 27 COMB383_Raro   | - |
| 156 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.13 | 402 ULS/19480=2*1 | - |
| 157 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.39 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 158 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.19 | 406 ULS/19484=2*1 | - |
| 159 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.52 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 160 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.28 | 29 COMB385_Raro   | - |
| 161 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.09 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 162 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 65.76 | 65.76 | 0.04 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 163 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 65.76 | 65.76 | 0.05 | 334 ULS/14624=2*1 | - |
| 164 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.16 | 26 COMB382_Raro   | - |
| 165 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.57 | 29 COMB385_Raro   | - |
| 166 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.21 | 415 ULS/19493=2*1 | - |
| 167 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.51 | 29 COMB385_Raro   | - |
| 168 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.14 | 408 ULS/19486=2*1 | - |
| 169 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.38 | 27 COMB383_Raro   | - |
| 170 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.16 | 330 ULS/14620=2*1 | - |
| 171 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.35 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 172 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.10 | 129 ULS/55=2*1.35 | - |
| 173 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.13 | 41 Corrente_Raro  | - |
| 174 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.20 | 430 ULS/19508=2*1 | - |
| 175 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.10 | 419 ULS/19497=2*1 | - |
| 176 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.34 | 426 ULS/19504=2*1 | - |
| 177 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.15 | 423 ULS/19501=2*1 | - |
| 178 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.48 | 386 ULS/19464=2*1 | - |
| 179 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.22 | 26 COMB382_Raro   | - |
| 180 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.56 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 181 Barra simples | TUBUL_1 | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.14 | 26 COMB382_Raro   | - |

Data : 05/07/16

Página : 3

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014

Autor:

Ficheiro: **Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -**

**Tesste\_BFinal2\_Versão Simplex.rtd**

Morada:

Projecto: Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -

| Membro            | Seção        | Material | Lay   | Laz   | Relação | Caso              | Proporçã |
|-------------------|--------------|----------|-------|-------|---------|-------------------|----------|
| 182 Barra simples | TUBUL_1      | S 355    | 65.76 | 65.76 | 0.04    | 310 ULS/14600=2*1 | -        |
| 248 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.07    | 426 ULS/19504=2*1 | -        |
| 249 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.00    | 121 ULS/47=2*1.35 | -        |
| 250 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 40.73 | 40.73 | 0.10    | 350 ULS/14640=2*1 | -        |
| 251 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.00    | 121 ULS/47=2*1.35 | -        |
| 252 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.68 | 23.68 | 0.03    | 121 ULS/47=2*1.35 | -        |
| 253 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.68 | 23.68 | 0.03    | 121 ULS/47=2*1.35 | -        |
| 254 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 20.99 | 20.99 | 0.01    | 121 ULS/47=2*1.35 | -        |
| 255 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.04    | 121 ULS/47=2*1.35 | -        |
| 256 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.00    | 121 ULS/47=2*1.35 | -        |
| 257 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.04    | 121 ULS/47=2*1.35 | -        |
| 258 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.00    | 121 ULS/47=2*1.35 | -        |
| 259 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.68 | 23.68 | 0.05    | 426 ULS/19504=2*1 | -        |
| 260 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.68 | 23.68 | 0.06    | 426 ULS/19504=2*1 | -        |
| 261 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 20.99 | 20.99 | 0.01    | 121 ULS/47=2*1.35 | -        |
| 262 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 78.71 | 78.71 | 0.14    | 350 ULS/14640=2*1 | -        |
| 263 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 78.71 | 78.71 | 0.14    | 350 ULS/14640=2*1 | -        |
| 264 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 40.73 | 40.73 | 0.10    | 350 ULS/14640=2*1 | -        |
| 265 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 40.73 | 40.73 | 0.10    | 350 ULS/14640=2*1 | -        |
| 266 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 40.73 | 40.73 | 0.10    | 350 ULS/14640=2*1 | -        |
| 267 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.07    | 426 ULS/19504=2*1 | -        |
| 268 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.19    | 426 ULS/19504=2*1 | -        |
| 269 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.13    | 121 ULS/47=2*1.35 | -        |
| 270 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.14    | 121 ULS/47=2*1.35 | -        |
| 271 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.20    | 426 ULS/19504=2*1 | -        |
| 277 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.09 | 23.09 | 0.32    | 122 ULS/48=2*1.35 | -        |
| 290 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.07    | 434 ULS/19512=2*1 | -        |
| 291 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.00    | 129 ULS/55=2*1.35 | -        |
| 292 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 40.73 | 40.73 | 0.10    | 358 ULS/14648=2*1 | -        |
| 293 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.00    | 129 ULS/55=2*1.35 | -        |
| 294 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.68 | 23.68 | 0.03    | 129 ULS/55=2*1.35 | -        |
| 295 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.68 | 23.68 | 0.03    | 129 ULS/55=2*1.35 | -        |

|                   |              |       |       |       |      |                   |   |
|-------------------|--------------|-------|-------|-------|------|-------------------|---|
| 296 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.01 | 129 ULS/55=2*1.35 | - |
| 297 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.05 | 129 ULS/55=2*1.35 | - |
| 298 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | 129 ULS/55=2*1.35 | - |
| 299 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.05 | 129 ULS/55=2*1.35 | - |
| 300 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | 129 ULS/55=2*1.35 | - |
| 301 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.06 | 434 ULS/19512=2*1 | - |
| 302 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.06 | 434 ULS/19512=2*1 | - |
| 303 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.01 | 129 ULS/55=2*1.35 | - |
| 304 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.14 | 358 ULS/14648=2*1 | - |
| 305 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.14 | 358 ULS/14648=2*1 | - |
| 306 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 358 ULS/14648=2*1 | - |
| 307 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 358 ULS/14648=2*1 | - |
| 308 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 358 ULS/14648=2*1 | - |
| 309 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.07 | 434 ULS/19512=2*1 | - |
| 310 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.20 | 434 ULS/19512=2*1 | - |

Data : 05/07/16

Página : 4

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014

Autor:

Ficheiro: **Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -**

**Tesste\_BFinal2\_Versão Simplex.rtd**

Morada:

Projecto: Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -

Tesste\_BFinal2

| Membro            | Seção        | Material | Lay   | Laz   | Relação | Caso              | Proporçã |
|-------------------|--------------|----------|-------|-------|---------|-------------------|----------|
| 311 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.14    | 129 ULS/55=2*1.35 | -        |
| 312 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.15    | 129 ULS/55=2*1.35 | -        |
| 313 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.21    | 434 ULS/19512=2*1 | -        |
| 319 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.09 | 23.09 | 0.35    | 130 ULS/56=2*1.35 | -        |
| 332 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.07    | 438 ULS/19516=2*1 | -        |
| 333 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.00    | 133 ULS/59=2*1.35 | -        |
| 334 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 40.73 | 40.73 | 0.10    | 362 ULS/14652=2*1 | -        |
| 335 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.00    | 133 ULS/59=2*1.35 | -        |
| 336 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.68 | 23.68 | 0.04    | 133 ULS/59=2*1.35 | -        |
| 337 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.68 | 23.68 | 0.04    | 133 ULS/59=2*1.35 | -        |

|                   |              |       |       |       |      |                   |   |
|-------------------|--------------|-------|-------|-------|------|-------------------|---|
| 338 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.01 | 133 ULS/59=2*1.35 | - |
| 339 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.05 | 133 ULS/59=2*1.35 | - |
| 340 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | 133 ULS/59=2*1.35 | - |
| 341 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.05 | 133 ULS/59=2*1.35 | - |
| 342 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | 133 ULS/59=2*1.35 | - |
| 343 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.06 | 438 ULS/19516=2*1 | - |
| 344 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.06 | 438 ULS/19516=2*1 | - |
| 345 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.01 | 133 ULS/59=2*1.35 | - |
| 346 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.14 | 362 ULS/14652=2*1 | - |
| 347 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.14 | 362 ULS/14652=2*1 | - |
| 348 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 362 ULS/14652=2*1 | - |
| 349 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 362 ULS/14652=2*1 | - |
| 350 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 362 ULS/14652=2*1 | - |
| 351 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.07 | 438 ULS/19516=2*1 | - |
| 352 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.21 | 438 ULS/19516=2*1 | - |
| 353 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.15 | 133 ULS/59=2*1.35 | - |
| 354 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.16 | 133 ULS/59=2*1.35 | - |
| 355 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.22 | 438 ULS/19516=2*1 | - |
| 361 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.09 | 23.09 | 0.37 | 134 ULS/60=2*1.35 | - |
| 374 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.07 | 442 ULS/19520=2*1 | - |
| 375 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | 137 ULS/63=2*1.35 | - |
| 376 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 366 ULS/14656=2*1 | - |
| 377 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | 137 ULS/63=2*1.35 | - |
| 378 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.04 | 137 ULS/63=2*1.35 | - |
| 379 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.04 | 41 Corrente_Raro  | - |
| 380 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.01 | 137 ULS/63=2*1.35 | - |
| 381 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.05 | 137 ULS/63=2*1.35 | - |
| 382 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | 137 ULS/63=2*1.35 | - |
| 383 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.05 | 137 ULS/63=2*1.35 | - |
| 384 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | 137 ULS/63=2*1.35 | - |
| 385 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.06 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 386 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.06 | 442 ULS/19520=2*1 | - |
| 387 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.01 | 137 ULS/63=2*1.35 | - |
| 388 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.14 | 366 ULS/14656=2*1 | - |
| 389 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.14 | 366 ULS/14656=2*1 | - |

|                   |              |       |       |       |      |                   |   |
|-------------------|--------------|-------|-------|-------|------|-------------------|---|
| 390 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 366 ULS/14656=2*1 | - |
| 391 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 366 ULS/14656=2*1 | - |

Data : 05/07/16

Página : 5

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014

Autor:

Ficheiro: **Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -**

**Tesste\_BFinal2\_Versão Simplex.rtd**

Morada:

Projecto: Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -

Tesste\_BFinal2

| Membro            | Seção        | Material | Lay   | Laz   | Relação | Caso              | Proporçã |
|-------------------|--------------|----------|-------|-------|---------|-------------------|----------|
| 392 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 40.73 | 40.73 | 0.10    | 366 ULS/14656=2*1 | -        |
| 393 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.07    | 442 ULS/19520=2*1 | -        |
| 394 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.21    | 442 ULS/19520=2*1 | -        |
| 395 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.15    | 137 ULS/63=2*1.35 | -        |
| 396 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.16    | 137 ULS/63=2*1.35 | -        |
| 397 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.22    | 442 ULS/19520=2*1 | -        |
| 403 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.09 | 23.09 | 0.37    | 138 ULS/64=2*1.35 | -        |
| 416 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.07    | 446 ULS/19524=2*1 | -        |
| 417 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.00    | 141 ULS/67=2*1.35 | -        |
| 418 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 40.73 | 40.73 | 0.10    | 370 ULS/14660=2*1 | -        |
| 419 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.00    | 141 ULS/67=2*1.35 | -        |
| 420 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.68 | 23.68 | 0.04    | 141 ULS/67=2*1.35 | -        |
| 421 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.68 | 23.68 | 0.05    | 41 Corrente_Raro  | -        |
| 422 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 20.99 | 20.99 | 0.01    | 141 ULS/67=2*1.35 | -        |
| 423 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.05    | 141 ULS/67=2*1.35 | -        |
| 424 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.01    | 141 ULS/67=2*1.35 | -        |
| 425 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.05    | 141 ULS/67=2*1.35 | -        |
| 426 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.01    | 141 ULS/67=2*1.35 | -        |
| 427 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.68 | 23.68 | 0.08    | 28 COMB384_Raro   | -        |
| 428 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.68 | 23.68 | 0.06    | 446 ULS/19524=2*1 | -        |
| 429 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 20.99 | 20.99 | 0.01    | 141 ULS/67=2*1.35 | -        |
| 430 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 78.71 | 78.71 | 0.14    | 370 ULS/14660=2*1 | -        |
| 431 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 78.71 | 78.71 | 0.14    | 370 ULS/14660=2*1 | -        |

|                   |              |       |       |       |      |                   |   |
|-------------------|--------------|-------|-------|-------|------|-------------------|---|
| 432 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 370 ULS/14660=2*1 | - |
| 433 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 370 ULS/14660=2*1 | - |
| 434 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.11 | 370 ULS/14660=2*1 | - |
| 435 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.07 | 446 ULS/19524=2*1 | - |
| 436 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.21 | 446 ULS/19524=2*1 | - |
| 437 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.15 | 141 ULS/67=2*1.35 | - |
| 438 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.16 | 141 ULS/67=2*1.35 | - |
| 439 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.22 | 446 ULS/19524=2*1 | - |
| 445 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.09 | 23.09 | 0.37 | 142 ULS/68=2*1.35 | - |
| 458 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.07 | 450 ULS/19528=2*1 | - |
| 459 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 460 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 374 ULS/14664=2*1 | - |
| 461 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | 145 ULS/71=2*1.35 | - |
| 462 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.05 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 463 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.06 | 41 Corrente_Raro  | - |
| 464 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.01 | 145 ULS/71=2*1.35 | - |
| 465 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.05 | 145 ULS/71=2*1.35 | - |
| 466 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | 145 ULS/71=2*1.35 | - |
| 467 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.05 | 145 ULS/71=2*1.35 | - |
| 468 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 469 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.09 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 470 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.06 | 450 ULS/19528=2*1 | - |
| 471 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.01 | 145 ULS/71=2*1.35 | - |
| 472 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.13 | 374 ULS/14664=2*1 | - |

Data : 05/07/16

Página : 6

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014

Autor:

Ficheiro: **Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -**

**Tesste\_BFinal2\_Versão Simplex.rtd**

Morada:

Projecto: Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -

Tesste\_BFinal2

| Membro            | Seção        | Material | Lay   | Laz   | Relação | Caso              | Proporçã |
|-------------------|--------------|----------|-------|-------|---------|-------------------|----------|
| 473 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 78.71 | 78.71 | 0.15    | 374 ULS/14664=2*1 | -        |

|                   |              |       |       |       |      |                   |   |
|-------------------|--------------|-------|-------|-------|------|-------------------|---|
| 474 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 374 ULS/14664=2*1 | - |
| 475 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 374 ULS/14664=2*1 | - |
| 476 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.12 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 477 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.07 | 450 ULS/19528=2*1 | - |
| 478 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.21 | 450 ULS/19528=2*1 | - |
| 479 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.15 | 145 ULS/71=2*1.35 | - |
| 480 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.16 | 145 ULS/71=2*1.35 | - |
| 481 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.22 | 450 ULS/19528=2*1 | - |
| 487 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.09 | 23.09 | 0.37 | 146 ULS/72=2*1.35 | - |
| 500 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.07 | 450 ULS/19528=2*1 | - |
| 501 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 502 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.09 | 378 ULS/14668=2*1 | - |
| 503 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 504 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.04 | 41 Corrente_Raro  | - |
| 505 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.04 | 41 Corrente_Raro  | - |
| 506 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.01 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 507 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.05 | 145 ULS/71=2*1.35 | - |
| 508 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 509 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.05 | 145 ULS/71=2*1.35 | - |
| 510 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 511 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.07 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 512 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.07 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 513 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.01 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 514 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.12 | 374 ULS/14664=2*1 | - |
| 515 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.16 | 378 ULS/14668=2*1 | - |
| 516 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.11 | 374 ULS/14664=2*1 | - |
| 517 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.09 | 378 ULS/14668=2*1 | - |
| 518 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.12 | 374 ULS/14664=2*1 | - |
| 519 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.07 | 450 ULS/19528=2*1 | - |
| 520 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.21 | 450 ULS/19528=2*1 | - |
| 521 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.15 | 145 ULS/71=2*1.35 | - |
| 522 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.16 | 145 ULS/71=2*1.35 | - |
| 523 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.22 | 450 ULS/19528=2*1 | - |
| 529 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.09 | 23.09 | 0.36 | 150 ULS/76=2*1.35 | - |
| 542 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.07 | 454 ULS/19532=2*1 | - |

|                   |              |       |       |       |      |                   |   |
|-------------------|--------------|-------|-------|-------|------|-------------------|---|
| 543 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 544 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.11 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 545 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 546 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.06 | 41 Corrente_Raro  | - |
| 547 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.04 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 548 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.01 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 549 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.05 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 550 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 551 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.05 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 552 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 553 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.06 | 454 ULS/19532=2*1 | - |

Data : 05/07/16

Página : 7

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014

Autor:

Ficheiro: **Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -**

**Tesste\_BFinal2\_Versão Simplex.rtd**

Morada:

Projecto: Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -

Tesste\_BFinal2

| Membro            | Seção        | Material | Lay   | Laz   | Relação | Caso              | Proporçã |
|-------------------|--------------|----------|-------|-------|---------|-------------------|----------|
| 554 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.68 | 23.68 | 0.09    | 28 COMB384_Raro   | -        |
| 555 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 20.99 | 20.99 | 0.01    | 149 ULS/75=2*1.35 | -        |
| 556 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 78.71 | 78.71 | 0.14    | 378 ULS/14668=2*1 | -        |
| 557 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 78.71 | 78.71 | 0.14    | 378 ULS/14668=2*1 | -        |
| 558 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 40.73 | 40.73 | 0.10    | 378 ULS/14668=2*1 | -        |
| 559 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 40.73 | 40.73 | 0.10    | 378 ULS/14668=2*1 | -        |
| 560 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 40.73 | 40.73 | 0.11    | 378 ULS/14668=2*1 | -        |
| 561 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.07    | 454 ULS/19532=2*1 | -        |
| 562 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.21    | 454 ULS/19532=2*1 | -        |
| 563 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.15    | 149 ULS/75=2*1.35 | -        |
| 564 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.15    | 149 ULS/75=2*1.35 | -        |
| 565 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.21    | 454 ULS/19532=2*1 | -        |
| 571 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.09 | 23.09 | 0.36    | 150 ULS/76=2*1.35 | -        |
| 584 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.07    | 454 ULS/19532=2*1 | -        |

|                   |              |       |       |       |      |                   |   |
|-------------------|--------------|-------|-------|-------|------|-------------------|---|
| 585 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 586 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 378 ULS/14668=2*1 | - |
| 587 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 588 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.05 | 41 Corrente_Raro  | - |
| 589 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.03 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 590 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.01 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 591 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.04 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 592 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 593 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.04 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 594 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 595 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.06 | 454 ULS/19532=2*1 | - |
| 596 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.07 | 28 COMB384_Raro   | - |
| 597 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.01 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 598 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.14 | 378 ULS/14668=2*1 | - |
| 599 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.14 | 378 ULS/14668=2*1 | - |
| 600 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 378 ULS/14668=2*1 | - |
| 601 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 378 ULS/14668=2*1 | - |
| 602 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 378 ULS/14668=2*1 | - |
| 603 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.07 | 454 ULS/19532=2*1 | - |
| 604 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.20 | 454 ULS/19532=2*1 | - |
| 605 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.14 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 606 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.14 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 607 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.21 | 454 ULS/19532=2*1 | - |
| 613 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.09 | 23.09 | 0.34 | 150 ULS/76=2*1.35 | - |
| 626 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.07 | 454 ULS/19532=2*1 | - |
| 627 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 628 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.10 | 378 ULS/14668=2*1 | - |
| 629 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 630 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.04 | 41 Corrente_Raro  | - |
| 631 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.03 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 632 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.01 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 633 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.04 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |
| 634 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | 149 ULS/75=2*1.35 | - |

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014

Autor:

Ficheiro: **Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -****Tesste\_BFinal2\_Versão Simplex.rtd**

Morada:

Projecto: Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -

Tesste\_BFinal2

| Membro            | Seção        | Material | Lay   | Laz   | Relação | Caso              | Proporçã |
|-------------------|--------------|----------|-------|-------|---------|-------------------|----------|
| 635 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.04    | 149 ULS/75=2*1.35 | -        |
| 636 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.00    | 149 ULS/75=2*1.35 | -        |
| 637 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.68 | 23.68 | 0.06    | 454 ULS/19532=2*1 | -        |
| 638 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.68 | 23.68 | 0.06    | 28 COMB384_Raro   | -        |
| 639 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 20.99 | 20.99 | 0.01    | 149 ULS/75=2*1.35 | -        |
| 640 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 78.71 | 78.71 | 0.14    | 378 ULS/14668=2*1 | -        |
| 641 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 78.71 | 78.71 | 0.14    | 378 ULS/14668=2*1 | -        |
| 642 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 40.73 | 40.73 | 0.09    | 378 ULS/14668=2*1 | -        |
| 643 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 40.73 | 40.73 | 0.10    | 378 ULS/14668=2*1 | -        |
| 644 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 40.73 | 40.73 | 0.10    | 378 ULS/14668=2*1 | -        |
| 645 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 15.82 | 15.82 | 0.07    | 454 ULS/19532=2*1 | -        |
| 646 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.19    | 454 ULS/19532=2*1 | -        |
| 647 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.12    | 149 ULS/75=2*1.35 | -        |
| 648 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.13    | 149 ULS/75=2*1.35 | -        |
| 649 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 43.54 | 43.54 | 0.20    | 454 ULS/19532=2*1 | -        |
| 655 Barra simples | TUBUL_Treliç | S 275    | 23.09 | 23.09 | 0.30    | 150 ULS/76=2*1.35 | -        |

| Caso (uy)         | Proporçã | Caso (uz) |
|-------------------|----------|-----------|
| 41 Corrente_Raro  | 0.06     | 18 LM4-12 |
| 41 Corrente_Raro  | 0.11     | 18 LM4-12 |
| 41 Corrente_Raro  | 0.19     | 7 LM4-2   |
| 41 Corrente_Raro  | 0.18     | 7 LM4-2   |
| 41 Corrente_Raro  | 0.18     | 8 LM4-3   |
| 41 Corrente_Raro  | 0.17     | 8 LM4-3   |
| 41 Corrente_Raro  | 0.17     | 9 LM4-4   |
| 44 Ondas_forca_em | 0.17     | 9 LM4-4   |
| 41 Corrente_Raro  | 0.17     | 10 LM4-5  |

|                   |      |                     |
|-------------------|------|---------------------|
| 44 Ondas_forca_em | 0.17 | 10 LM4-5            |
| 41 Corrente_Raro  | 0.17 | 11 LM4-6            |
| 44 Ondas_forca_em | 0.19 | 41 Corrente_Raro    |
| 41 Corrente_Raro  | 0.19 | 41 Corrente_Raro    |
| 41 Corrente_Raro  | 0.18 | 12 LM4-7            |
| 44 Ondas_forca_em | 0.18 | 13 LM4-8            |
| 44 Ondas_forca_em | 0.19 | 13 LM4-8            |
| 44 Ondas_forca_em | 0.09 | 13 LM4-8            |
| 44 Ondas_forca_em | 0.06 | 42 Temperatura_Dife |
| 41 Corrente_Raro  | 0.07 | 18 LM4-12           |
| 41 Corrente_Raro  | 0.11 | 18 LM4-12           |
| 41 Corrente_Raro  | 0.19 | 7 LM4-2             |
| 41 Corrente_Raro  | 0.19 | 7 LM4-2             |
| 41 Corrente_Raro  | 0.19 | 8 LM4-3             |
| 41 Corrente_Raro  | 0.18 | 8 LM4-3             |
| 41 Corrente_Raro  | 0.18 | 9 LM4-4             |
| 44 Ondas_forca_em | 0.18 | 9 LM4-4             |
| 41 Corrente_Raro  | 0.18 | 10 LM4-5            |
| 44 Ondas_forca_em | 0.18 | 10 LM4-5            |
| 41 Corrente_Raro  | 0.18 | 11 LM4-6            |

Data : 05/07/16

Página : 9

Autor:

Ficheiro: **Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -**

**Tesste\_BFinal2\_Versão Simplex.rtd**

Morada:

Projecto: Estrutura 7.4por7.4 de 71metros -

Tesste\_BFinal2

| Caso (uy)         | Proporçã | Caso (uz) |
|-------------------|----------|-----------|
| 44 Ondas_forca_em | 0.18     | 11 LM4-6  |
| 41 Corrente_Raro  | 0.18     | 12 LM4-7  |
| 41 Corrente_Raro  | 0.19     | 12 LM4-7  |
| 44 Ondas_forca_em | 0.19     | 13 LM4-8  |
| 41 Corrente_Raro  | 0.19     | 13 LM4-8  |
| 44 Ondas_forca_em | 0.09     | 13 LM4-8  |



|   |   |   |
|---|---|---|
| - | - | - |
| - | - | - |
| - | - | - |
| - | - | - |
| - | - | - |
| - | - | - |

Data : 05/07/16

Página : 10

| Membro     | Seção    | Material | Lay   | Laz   | Relação | Caso         |
|------------|----------|----------|-------|-------|---------|--------------|
| 1 Viga_1   | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 2 Viga_2   | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 3 Viga_3   | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 4 Viga_4   | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 5 Viga_5   | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 6 Viga_6   | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 7 Viga_7   | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 8 Viga_8   | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 9 Viga_9   | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 10 Viga_10 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 11 Viga_11 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 12 Viga_12 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 13 Viga_13 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 14 Viga_14 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 15 Viga_15 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 16 Viga_16 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 17 Viga_17 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 18 Viga_18 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 19 Viga_19 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 20 Viga_20 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 21 Viga_21 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 22 Viga_22 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 23 Viga_23 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 24 Viga_24 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 25 Viga_25 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 26 Viga_26 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 27 Viga_27 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 28 Viga_28 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 29 Viga_29 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 30 Viga_30 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 31 Viga_31 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 32 Viga_32 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 33 Viga_33 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 34 Viga_34 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 35 Viga_35 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 36 Viga_36 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 37 Viga_37 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 38 Viga_38 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 39 Viga_39 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 40 Viga_40 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 41 Viga_41 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 42 Viga_42 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 43 Viga_43 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 44 Viga_44 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |
| 45 Viga_45 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.02    | Comb.Constr. |
| 46 Viga_46 | HE 280 B | S 355    | 30.55 | 52.22 | 0.03    | Comb.Constr. |

|    |                  |               |       |       |       |      |              |
|----|------------------|---------------|-------|-------|-------|------|--------------|
| 47 | Viga_47          | HE 280 B      | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 48 | Viga_48          | HE 280 B      | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.03 | Comb.Constr. |
| 49 | Viga_49          | HE 280 B      | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 50 | Viga_50          | HE 280 B      | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.03 | Comb.Constr. |
| 51 | Viga_51          | HE 280 B      | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 52 | Viga_52          | HE 280 B      | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.03 | Comb.Constr. |
| 53 | Viga_53          | HE 280 B      | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 54 | Viga_54          | HE 280 B      | S 355 | 30.55 | 52.22 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 55 | Barra simples_55 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 56 | Barra simples_56 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 57 | Barra simples_57 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 58 | Barra simples_58 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 59 | Barra simples_59 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 60 | Barra simples_60 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 61 | Barra simples_61 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 62 | Barra simples_62 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 63 | Barra simples_63 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 64 | Barra simples_64 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 65 | Barra simples_65 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 66 | Barra simples_66 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 67 | Barra simples_67 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 68 | Barra simples_68 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 69 | Barra simples_69 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 70 | Barra simples_70 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 71 | Barra simples_71 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 72 | Barra simples_72 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 73 | Barra simples_73 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 74 | Barra simples_74 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 75 | Barra simples_75 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 76 | Barra simples_76 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 77 | Barra simples_77 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 78 | Barra simples_78 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 79 | Barra simples_79 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 80 | Barra simples_80 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 81 | Barra simples_81 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 82 | Barra simples_82 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 83 | Barra simples_83 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 84 | Barra simples_84 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |

|                       |               |       |       |       |      |              |
|-----------------------|---------------|-------|-------|-------|------|--------------|
| 85 Barra simples_85   | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 86 Barra simples_86   | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 87 Barra simples_87   | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 88 Barra simples_88   | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 89 Barra simples_89   | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 90 Barra simples_90   | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 91 Barra simples_91   | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 92 Barra simples_92   | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 129 Viga_129          | HE 280 B      | S 355 | 18.16 | 31.05 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 130 Viga_130          | HE 280 B      | S 355 | 18.16 | 31.05 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 131 Viga_131          | HE 280 B      | S 355 | 18.16 | 31.05 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 132 Barra simples_132 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 133 Barra simples_133 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 136 Viga_136          | HE 280 B      | S 355 | 18.16 | 31.05 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 137 Viga_137          | HE 280 B      | S 355 | 18.16 | 31.05 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 138 Viga_138          | HE 280 B      | S 355 | 18.16 | 31.05 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 141 Barra simples_141 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 142 Barra simples_142 | RETÂNG_Transv | S 355 | 39.18 | 39.18 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 143 Barra simples_143 | TUBUL_1       | S 355 | 65.76 | 65.76 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 144 Barra simples_144 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 145 Barra simples_145 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 146 Barra simples_146 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 147 Barra simples_147 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 148 Barra simples_148 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 149 Barra simples_149 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 150 Barra simples_150 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 151 Barra simples_151 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 152 Barra simples_152 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 153 Barra simples_153 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 154 Barra simples_154 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 155 Barra simples_155 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 156 Barra simples_156 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 157 Barra simples_157 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 158 Barra simples_158 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 159 Barra simples_159 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 160 Barra simples_160 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 161 Barra simples_161 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.01 | Comb.Constr. |

|                       |               |       |       |       |      |              |
|-----------------------|---------------|-------|-------|-------|------|--------------|
| 162 Barra simples_162 | TUBUL_1       | S 355 | 65.76 | 65.76 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 163 Barra simples_163 | TUBUL_1       | S 355 | 65.76 | 65.76 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 164 Barra simples_164 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 165 Barra simples_165 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 166 Barra simples_166 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 167 Barra simples_167 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 168 Barra simples_168 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 169 Barra simples_169 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 170 Barra simples_170 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 171 Barra simples_171 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 172 Barra simples_172 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 173 Barra simples_173 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 174 Barra simples_174 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 175 Barra simples_175 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 176 Barra simples_176 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 177 Barra simples_177 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 178 Barra simples_178 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 179 Barra simples_179 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 180 Barra simples_180 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 181 Barra simples_181 | TUBUL_1       | S 355 | 93.02 | 93.02 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 182 Barra simples_182 | TUBUL_1       | S 355 | 65.76 | 65.76 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 248 Barra simples_248 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 249 Barra simples_249 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 250 Barra simples_250 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 251 Barra simples_251 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 252 Barra simples_252 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 253 Barra simples_253 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 254 Barra simples_254 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 255 Barra simples_255 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 256 Barra simples_256 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 257 Barra simples_257 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 258 Barra simples_258 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 259 Barra simples_259 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 260 Barra simples_260 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |

|                       |               |       |       |       |      |              |
|-----------------------|---------------|-------|-------|-------|------|--------------|
| 261 Barra simples_261 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 262 Barra simples_262 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 263 Barra simples_263 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 264 Barra simples_264 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 265 Barra simples_265 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 266 Barra simples_266 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 267 Barra simples_267 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 268 Barra simples_268 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.03 | Comb.Constr. |
| 269 Barra simples_269 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.03 | Comb.Constr. |
| 270 Barra simples_270 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.03 | Comb.Constr. |
| 271 Barra simples_271 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.03 | Comb.Constr. |
| 277 Barra simples_277 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.09 | 23.09 | 0.77 | Comb.Constr. |
| 290 Barra simples_290 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 291 Barra simples_291 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 292 Barra simples_292 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 293 Barra simples_293 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 294 Barra simples_294 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 295 Barra simples_295 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 296 Barra simples_296 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 297 Barra simples_297 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 298 Barra simples_298 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 299 Barra simples_299 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 300 Barra simples_300 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 301 Barra simples_301 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 302 Barra simples_302 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 303 Barra simples_303 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 304 Barra simples_304 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 305 Barra simples_305 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 306 Barra simples_306 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 307 Barra simples_307 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 308 Barra simples_308 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 309 Barra simples_309 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 310 Barra simples_310 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 311 Barra simples_311 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 312 Barra simples_312 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |

|                       |               |       |       |       |      |              |
|-----------------------|---------------|-------|-------|-------|------|--------------|
| 313 Barra simples_313 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 319 Barra simples_319 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.09 | 23.09 | 0.78 | Comb.Constr. |
| 332 Barra simples_332 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 333 Barra simples_333 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 334 Barra simples_334 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 335 Barra simples_335 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 336 Barra simples_336 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 337 Barra simples_337 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 338 Barra simples_338 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 339 Barra simples_339 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 340 Barra simples_340 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 341 Barra simples_341 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 342 Barra simples_342 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 343 Barra simples_343 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 344 Barra simples_344 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 345 Barra simples_345 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 346 Barra simples_346 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 347 Barra simples_347 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 348 Barra simples_348 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 349 Barra simples_349 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 350 Barra simples_350 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 351 Barra simples_351 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 352 Barra simples_352 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 353 Barra simples_353 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 354 Barra simples_354 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 355 Barra simples_355 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 361 Barra simples_361 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.09 | 23.09 | 0.78 | Comb.Constr. |
| 374 Barra simples_374 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 375 Barra simples_375 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 376 Barra simples_376 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 377 Barra simples_377 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 378 Barra simples_378 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 379 Barra simples_379 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 380 Barra simples_380 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |

|                       |               |       |       |       |      |              |
|-----------------------|---------------|-------|-------|-------|------|--------------|
| 381 Barra simples_381 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 382 Barra simples_382 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 383 Barra simples_383 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 384 Barra simples_384 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 385 Barra simples_385 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 386 Barra simples_386 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 387 Barra simples_387 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 388 Barra simples_388 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 389 Barra simples_389 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 390 Barra simples_390 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 391 Barra simples_391 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 392 Barra simples_392 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 393 Barra simples_393 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 394 Barra simples_394 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 395 Barra simples_395 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 396 Barra simples_396 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 397 Barra simples_397 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 403 Barra simples_403 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.09 | 23.09 | 0.78 | Comb.Constr. |
| 416 Barra simples_416 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 417 Barra simples_417 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 418 Barra simples_418 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 419 Barra simples_419 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 420 Barra simples_420 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 421 Barra simples_421 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 422 Barra simples_422 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 423 Barra simples_423 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 424 Barra simples_424 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 425 Barra simples_425 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 426 Barra simples_426 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 427 Barra simples_427 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 428 Barra simples_428 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 429 Barra simples_429 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 430 Barra simples_430 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 431 Barra simples_431 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 432 Barra simples_432 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |

|                       |               |       |       |       |      |              |
|-----------------------|---------------|-------|-------|-------|------|--------------|
| 433 Barra simples_433 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 434 Barra simples_434 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 435 Barra simples_435 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 436 Barra simples_436 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 437 Barra simples_437 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 438 Barra simples_438 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 439 Barra simples_439 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 445 Barra simples_445 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.09 | 23.09 | 0.78 | Comb.Constr. |
| 458 Barra simples_458 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 459 Barra simples_459 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 460 Barra simples_460 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 461 Barra simples_461 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 462 Barra simples_462 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 463 Barra simples_463 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 464 Barra simples_464 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 465 Barra simples_465 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 466 Barra simples_466 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 467 Barra simples_467 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 468 Barra simples_468 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 469 Barra simples_469 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 470 Barra simples_470 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 471 Barra simples_471 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 472 Barra simples_472 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 473 Barra simples_473 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 474 Barra simples_474 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 475 Barra simples_475 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 476 Barra simples_476 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 477 Barra simples_477 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 478 Barra simples_478 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 479 Barra simples_479 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 480 Barra simples_480 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 481 Barra simples_481 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 487 Barra simples_487 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.09 | 23.09 | 0.78 | Comb.Constr. |
| 500 Barra simples_500 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |

|                       |               |       |       |       |      |              |
|-----------------------|---------------|-------|-------|-------|------|--------------|
| 501 Barra simples_501 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 502 Barra simples_502 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 503 Barra simples_503 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 504 Barra simples_504 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 505 Barra simples_505 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 506 Barra simples_506 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 507 Barra simples_507 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 508 Barra simples_508 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 509 Barra simples_509 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 510 Barra simples_510 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 511 Barra simples_511 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 512 Barra simples_512 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 513 Barra simples_513 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 514 Barra simples_514 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 515 Barra simples_515 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 516 Barra simples_516 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 517 Barra simples_517 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 518 Barra simples_518 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 519 Barra simples_519 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 520 Barra simples_520 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 521 Barra simples_521 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 522 Barra simples_522 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 523 Barra simples_523 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 529 Barra simples_529 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.09 | 23.09 | 0.78 | Comb.Constr. |
| 542 Barra simples_542 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 543 Barra simples_543 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 544 Barra simples_544 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 545 Barra simples_545 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 546 Barra simples_546 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 547 Barra simples_547 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 548 Barra simples_548 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 549 Barra simples_549 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 550 Barra simples_550 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 551 Barra simples_551 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 552 Barra simples_552 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |

|                       |               |       |       |       |      |              |
|-----------------------|---------------|-------|-------|-------|------|--------------|
| 553 Barra simples_553 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 554 Barra simples_554 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 555 Barra simples_555 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 556 Barra simples_556 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 557 Barra simples_557 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 558 Barra simples_558 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 559 Barra simples_559 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 560 Barra simples_560 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 561 Barra simples_561 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 562 Barra simples_562 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 563 Barra simples_563 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 564 Barra simples_564 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 565 Barra simples_565 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 571 Barra simples_571 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.09 | 23.09 | 0.78 | Comb.Constr. |
| 584 Barra simples_584 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 585 Barra simples_585 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 586 Barra simples_586 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 587 Barra simples_587 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 588 Barra simples_588 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 589 Barra simples_589 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 590 Barra simples_590 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 591 Barra simples_591 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 592 Barra simples_592 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 593 Barra simples_593 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 594 Barra simples_594 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 595 Barra simples_595 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 596 Barra simples_596 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 597 Barra simples_597 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 598 Barra simples_598 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 599 Barra simples_599 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.02 | Comb.Constr. |
| 600 Barra simples_600 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 601 Barra simples_601 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 602 Barra simples_602 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 603 Barra simples_603 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |

|                       |               |       |       |       |      |              |
|-----------------------|---------------|-------|-------|-------|------|--------------|
| 604 Barra simples_604 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 605 Barra simples_605 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 606 Barra simples_606 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 607 Barra simples_607 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 613 Barra simples_613 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.09 | 23.09 | 0.78 | Comb.Constr. |
| 626 Barra simples_626 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 627 Barra simples_627 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 628 Barra simples_628 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 629 Barra simples_629 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 630 Barra simples_630 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 631 Barra simples_631 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 632 Barra simples_632 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 633 Barra simples_633 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 634 Barra simples_634 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 635 Barra simples_635 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 636 Barra simples_636 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 637 Barra simples_637 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 638 Barra simples_638 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.68 | 23.68 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 639 Barra simples_639 | TUBUL_Treliça | S 275 | 20.99 | 20.99 | 0.00 | Comb.Constr. |
| 640 Barra simples_640 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 641 Barra simples_641 | TUBUL_Treliça | S 275 | 78.71 | 78.71 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 642 Barra simples_642 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 643 Barra simples_643 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 644 Barra simples_644 | TUBUL_Treliça | S 275 | 40.73 | 40.73 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 645 Barra simples_645 | TUBUL_Treliça | S 275 | 15.82 | 15.82 | 0.01 | Comb.Constr. |
| 646 Barra simples_646 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.03 | Comb.Constr. |
| 647 Barra simples_647 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.03 | Comb.Constr. |
| 648 Barra simples_648 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 649 Barra simples_649 | TUBUL_Treliça | S 275 | 43.54 | 43.54 | 0.04 | Comb.Constr. |
| 655 Barra simples_655 | TUBUL_Treliça | S 275 | 23.09 | 23.09 | 0.77 | Comb.Constr. |



### C3. Dimensionamento das estacas telescópicas



|                       |           |                           |          |                 |
|-----------------------|-----------|---------------------------|----------|-----------------|
| B(m)=                 | 17,5      | Elemento Deslizante       |          |                 |
| Med (kN.m)            | 15691,49  | Dext =                    | 1100     | mm              |
| Fed (kN)= Ved (kN)    | 946,85    | Dint =                    | 1035     | mm              |
| Elemento Deslizante 1 |           | Área =                    | 0,108994 | m <sup>2</sup>  |
|                       |           | Inércia =                 | 0,01554  | m <sup>4</sup>  |
|                       |           | Fy =                      | 450      | MPa             |
|                       |           | Classe a Flexão           |          |                 |
|                       |           | d/t =                     | 33,84615 | Classe 2        |
|                       |           | Características Mecânicas |          |                 |
|                       |           | Wpl =                     | 37047,02 | cm <sup>3</sup> |
|                       |           | Mrd =                     | 16671,16 | kN.m            |
|                       |           | Vrd =                     | 28317,38 | kN              |
|                       |           | Verificações              |          |                 |
|                       |           | Ved/Vrd =                 | 3,343701 | %               |
|                       | Med/Mrd = | 94,12357                  | %        |                 |

|                    |           |                           |          |                 |
|--------------------|-----------|---------------------------|----------|-----------------|
| Med (kN.m)         | 16004,15  | Elemento Cravado          |          |                 |
| Fed (kN)= Ved (kN) | 2022,55   | Dext =                    | 1190     | mm              |
| Elemento Cravado 1 |           | Dint =                    | 1120     | mm              |
|                    |           | Área =                    | 0,126999 | m <sup>2</sup>  |
|                    |           | Inércia =                 | 0,021197 | m <sup>4</sup>  |
|                    |           | Fy =                      | 450      | MPa             |
|                    |           | Classe a Flexão           |          |                 |
|                    |           | d/t =                     | 32       | Classe 2        |
|                    |           | Características Mecânicas |          |                 |
|                    |           | Wpl =                     | 46705,17 | cm <sup>3</sup> |
|                    |           | Mrd =                     | 21017,33 | kN.m            |
|                    |           | Vrd =                     | 32995,28 | kN              |
|                    |           | Verificações              |          |                 |
|                    | Ved/Vrd = | 6,12981                   | %        |                 |
|                    | Med/Mrd = | 76,14742                  | %        |                 |

|                       |          |                           |          |                 |  |
|-----------------------|----------|---------------------------|----------|-----------------|--|
| B(m)=                 | 17,7     | Elemento Deslizante       |          |                 |  |
| Med (kN.m)            | 15881,09 | Dext =                    | 1100     | mm              |  |
| Fed (kN)= Ved (kN)    | 949,19   | Dint =                    | 1035     | mm              |  |
| Elemento Deslizante 2 |          | Área =                    | 0,108994 | m <sup>2</sup>  |  |
|                       |          | Inércia =                 | 0,01554  | m <sup>4</sup>  |  |
|                       |          | Fy =                      | 450      | MPa             |  |
|                       |          | Classe a Flexão           |          |                 |  |
|                       |          | d/t =                     | 33,84615 | Classe 2        |  |
|                       |          | Características Mecânicas |          |                 |  |
|                       |          | Wpl =                     | 37047,02 | cm <sup>3</sup> |  |
|                       |          | Mrd =                     | 16671,16 | kN.m            |  |
|                       |          | Vrd =                     | 28317,38 | kN              |  |
|                       |          | Verificações              |          |                 |  |
|                       |          | Ved/Vrd =                 | 3,351972 | %               |  |
|                       |          | Med/Mrd =                 | 95,26089 | %               |  |

|                    |          |                           |          |                 |  |
|--------------------|----------|---------------------------|----------|-----------------|--|
| Med (kN.m)         | 16191,99 | Elemento Cravado          |          |                 |  |
| Fed (kN)= Ved (kN) | 2045,70  | Dext =                    | 1190     | mm              |  |
| Elemento Cravado 2 |          | Dint =                    | 1120     | mm              |  |
|                    |          | Área =                    | 0,126999 | m <sup>2</sup>  |  |
|                    |          | Inércia =                 | 0,021197 | m <sup>4</sup>  |  |
|                    |          | Fy =                      | 450      | MPa             |  |
|                    |          | Classe a Flexão           |          |                 |  |
|                    |          | d/t =                     | 32       | Classe 2        |  |
|                    |          | Características Mecânicas |          |                 |  |
|                    |          | Wpl =                     | 46705,17 | cm <sup>3</sup> |  |
|                    |          | Mrd =                     | 21017,33 | kN.m            |  |
|                    |          | Vrd =                     | 32995,28 | kN              |  |
|                    |          | Verificações              |          |                 |  |
|                    |          | Ved/Vrd =                 | 6,199971 | %               |  |
|                    |          | Med/Mrd =                 | 77,04115 | %               |  |

|                       |          |                           |          |                 |
|-----------------------|----------|---------------------------|----------|-----------------|
| B(m)=                 | 17,6     | Elemento Deslizante       |          |                 |
| Med (kN.m)            | 15786,23 | Dext =                    | 1100     | mm              |
| Fed (kN)= Ved (kN)    | 948,02   | Dint =                    | 1035     | mm              |
| Elemento Deslizante 3 |          | Área =                    | 0,108994 | m <sup>2</sup>  |
|                       |          | Inércia =                 | 0,01554  | m <sup>4</sup>  |
|                       |          | Fy =                      | 450      | MPa             |
|                       |          | Classe a Flexão           |          |                 |
|                       |          | d/t =                     | 33,84615 | Classe 2        |
|                       |          | Características Mecânicas |          |                 |
|                       |          | Wpl =                     | 37047,02 | cm <sup>3</sup> |
|                       |          | Mrd =                     | 16671,16 | kN.m            |
|                       |          | Vrd =                     | 28317,38 | kN              |
|                       |          | Verificações              |          |                 |
|                       |          | Ved/Vrd =                 | 3,347836 | %               |
|                       |          | Med/Mrd =                 | 94,69188 | %               |

|                    |           |                           |          |                 |
|--------------------|-----------|---------------------------|----------|-----------------|
| Med (kN.m)         | 16098,01  | Elemento Cravado          |          |                 |
| Fed (kN)= Ved (kN) | 2034,12   | Dext =                    | 1190     | mm              |
| Elemento Cravado 3 |           | Dint =                    | 1120     | mm              |
|                    |           | Área =                    | 0,126999 | m <sup>2</sup>  |
|                    |           | Inércia =                 | 0,021197 | m <sup>4</sup>  |
|                    |           | Fy =                      | 450      | MPa             |
|                    |           | Classe a Flexão           |          |                 |
|                    |           | d/t =                     | 32       | Classe 2        |
|                    |           | Características Mecânicas |          |                 |
|                    |           | Wpl =                     | 46705,17 | cm <sup>3</sup> |
|                    |           | Mrd =                     | 21017,33 | kN.m            |
|                    |           | Vrd =                     | 32995,28 | kN              |
|                    |           | Verificações              |          |                 |
|                    |           | Ved/Vrd =                 | 6,164869 | %               |
|                    | Med/Mrd = | 76,59401                  | %        |                 |

|                       |          |                           |          |                 |
|-----------------------|----------|---------------------------|----------|-----------------|
| B(m)=                 | 18,2     | Elemento Deslizante       |          |                 |
| Med (kN.m)            | 16357,15 | Dext =                    | 1100     | mm              |
| Fed (kN)= Ved (kN)    | 955,05   | Dint =                    | 1035     | mm              |
| Elemento Deslizante 4 |          | Área =                    | 0,108994 | m <sup>2</sup>  |
|                       |          | Inércia =                 | 0,01554  | m <sup>4</sup>  |
|                       |          | Fy =                      | 450      | MPa             |
|                       |          | Classe a Flexão           |          |                 |
|                       |          | d/t =                     | 33,84615 | Classe 2        |
|                       |          | Características Mecânicas |          |                 |
|                       |          | Wpl =                     | 37047,02 | cm <sup>3</sup> |
|                       |          | Mrd =                     | 16671,16 | kN.m            |
|                       |          | Vrd =                     | 28317,38 | kN              |
|                       |          | Verificações              |          |                 |
|                       |          | Ved/Vrd =                 | 3,372652 | %               |
|                       |          | Med/Mrd =                 | 98,11647 | %               |

|                    |           |                           |          |                 |
|--------------------|-----------|---------------------------|----------|-----------------|
| Med (kN.m)         | 16663,60  | Elemento Cravado          |          |                 |
| Fed (kN)= Ved (kN) | 2103,82   | Dext =                    | 1190     | mm              |
| Elemento Cravado 4 |           | Dint =                    | 1120     | mm              |
|                    |           | Área =                    | 0,126999 | m <sup>2</sup>  |
|                    |           | Inércia =                 | 0,021197 | m <sup>4</sup>  |
|                    |           | Fy =                      | 450      | MPa             |
|                    |           | Classe a Flexão           |          |                 |
|                    |           | d/t =                     | 32       | Classe 2        |
|                    |           | Características Mecânicas |          |                 |
|                    |           | Wpl =                     | 46705,17 | cm <sup>3</sup> |
|                    |           | Mrd =                     | 21017,33 | kN.m            |
|                    |           | Vrd =                     | 32995,28 | kN              |
|                    |           | Verificações              |          |                 |
|                    |           | Ved/Vrd =                 | 6,37612  | %               |
|                    | Med/Mrd = | 79,28507                  | %        |                 |

|                       |          |                           |          |                 |  |
|-----------------------|----------|---------------------------|----------|-----------------|--|
| B(m)=                 | 18,5     | Elemento Deslizante       |          |                 |  |
| Med (kN.m)            | 16644,19 | Dext =                    | 1100     | mm              |  |
| Fed (kN)= Ved (kN)    | 958,56   | Dint =                    | 1035     | mm              |  |
| Elemento Deslizante 5 |          | Área =                    | 0,108994 | m <sup>2</sup>  |  |
|                       |          | Inércia =                 | 0,01554  | m <sup>4</sup>  |  |
|                       |          | Fy =                      | 450      | MPa             |  |
|                       |          | Classe a Flexão           |          |                 |  |
|                       |          | d/t =                     | 33,84615 | Classe 2        |  |
|                       |          | Características Mecânicas |          |                 |  |
|                       |          | Wpl =                     | 37047,02 | cm <sup>3</sup> |  |
|                       |          | Mrd =                     | 16671,16 | kN.m            |  |
|                       |          | Vrd =                     | 28317,38 | kN              |  |
|                       |          | Verificações              |          |                 |  |
|                       |          | Ved/Vrd =                 | 3,385059 | %               |  |
|                       |          | Med/Mrd =                 | 99,83825 | %               |  |

|                    |          |                           |          |                 |  |
|--------------------|----------|---------------------------|----------|-----------------|--|
| Med (kN.m)         | 16947,95 | Elemento Cravado          |          |                 |  |
| Fed (kN)= Ved (kN) | 2139,00  | Dext =                    | 1190     | mm              |  |
| Elemento Cravado 5 |          | Dint =                    | 1120     | mm              |  |
|                    |          | Área =                    | 0,126999 | m <sup>2</sup>  |  |
|                    |          | Inércia =                 | 0,021197 | m <sup>4</sup>  |  |
|                    |          | Fy =                      | 450      | MPa             |  |
|                    |          | Classe a Flexão           |          |                 |  |
|                    |          | d/t =                     | 32       | Classe 2        |  |
|                    |          | Características Mecânicas |          |                 |  |
|                    |          | Wpl =                     | 46705,17 | cm <sup>3</sup> |  |
|                    |          | Mrd =                     | 21017,33 | kN.m            |  |
|                    |          | Vrd =                     | 32995,28 | kN              |  |
|                    |          | Verificações              |          |                 |  |
|                    |          | Ved/Vrd =                 | 6,482744 | %               |  |
|                    |          | Med/Mrd =                 | 87,12074 | %               |  |

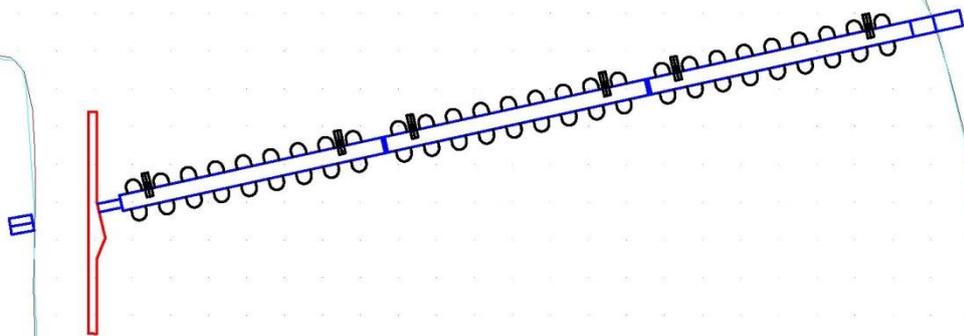
|                       |           |                           |          |                 |
|-----------------------|-----------|---------------------------|----------|-----------------|
| B(m)=                 | 15,4      | Elemento Deslizante       |          |                 |
| Med (kN.m)            | 13728,93  | Dext =                    | 1100     | mm              |
| Fed (kN)= Ved (kN)    | 922,25    | Dint =                    | 1035     | mm              |
| Elemento Deslizante 6 |           | Área =                    | 0,108994 | m <sup>2</sup>  |
|                       |           | Inércia =                 | 0,01554  | m <sup>4</sup>  |
|                       |           | Fy =                      | 450      | MPa             |
|                       |           | Classe a Flexão           |          |                 |
|                       |           | d/t =                     | 33,84615 | Classe 2        |
|                       |           | Características Mecânicas |          |                 |
|                       |           | Wpl =                     | 37047,02 | cm <sup>3</sup> |
|                       |           | Mrd =                     | 16671,16 | kN.m            |
|                       |           | Vrd =                     | 28317,38 | kN              |
|                       |           | Verificações              |          |                 |
|                       |           | Ved/Vrd =                 | 3,256847 | %               |
|                       | Med/Mrd = | 82,3514                   | %        |                 |

|                    |           |                           |          |                 |
|--------------------|-----------|---------------------------|----------|-----------------|
| Med (kN.m)         | 14060,20  | Elemento Cravado          |          |                 |
| Fed (kN)= Ved (kN) | 1783,75   | Dext =                    | 1190     | mm              |
| Elemento Cravado 6 |           | Dint =                    | 1120     | mm              |
|                    |           | Área =                    | 0,126999 | m <sup>2</sup>  |
|                    |           | Inércia =                 | 0,021197 | m <sup>4</sup>  |
|                    |           | Fy =                      | 450      | MPa             |
|                    |           | Classe a Flexão           |          |                 |
|                    |           | d/t =                     | 32       | Classe 2        |
|                    |           | Características Mecânicas |          |                 |
|                    |           | Wpl =                     | 46705,17 | cm <sup>3</sup> |
|                    |           | Mrd =                     | 21017,33 | kN.m            |
|                    |           | Vrd =                     | 32995,28 | kN              |
|                    |           | Verificações              |          |                 |
|                    | Ved/Vrd = | 5,406078                  | %        |                 |
|                    | Med/Mrd = | 66,89812                  | %        |                 |

C4. Ponte pedonal flutuante em 3D/Integração paisagística



# Ponte de D. Luiz



Projeto de uma Ponte Pedonal Flutuante entre as Ribeiras do Porto e Gaia

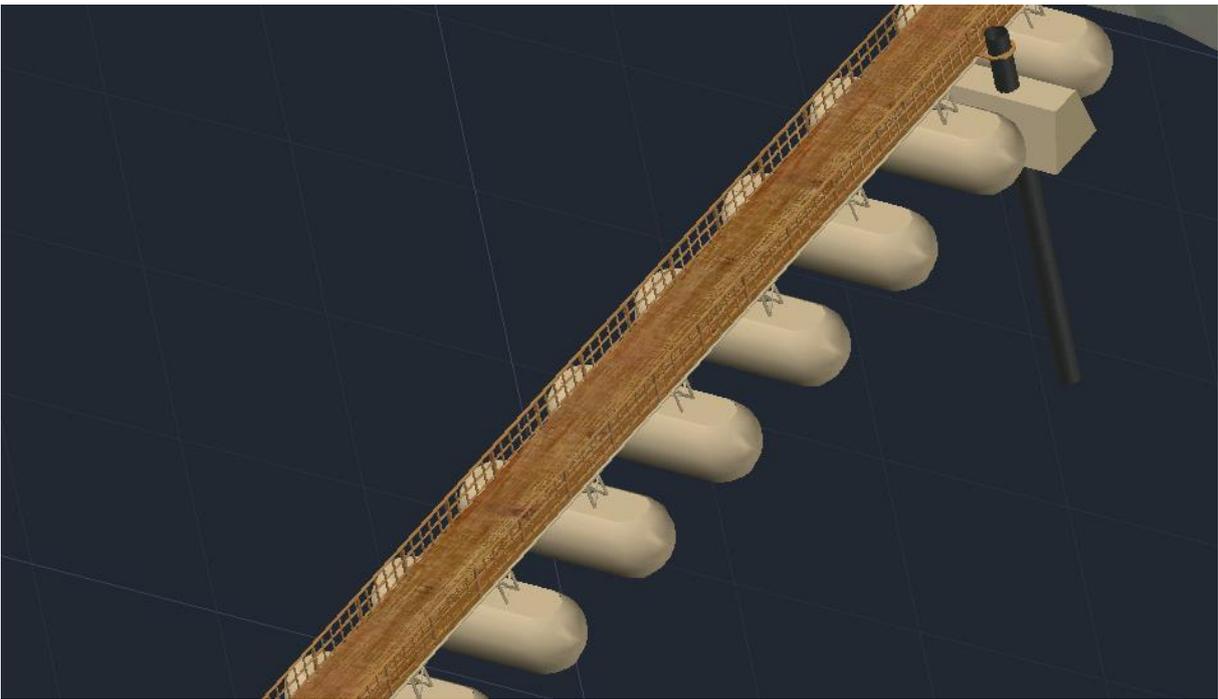
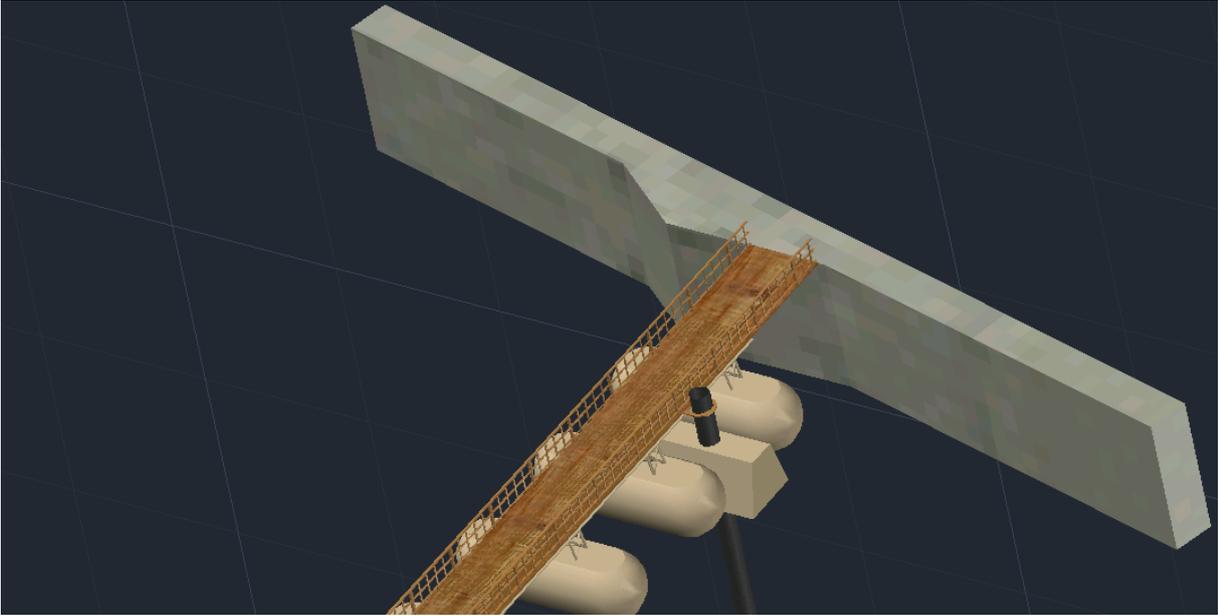
Desenho nº 16

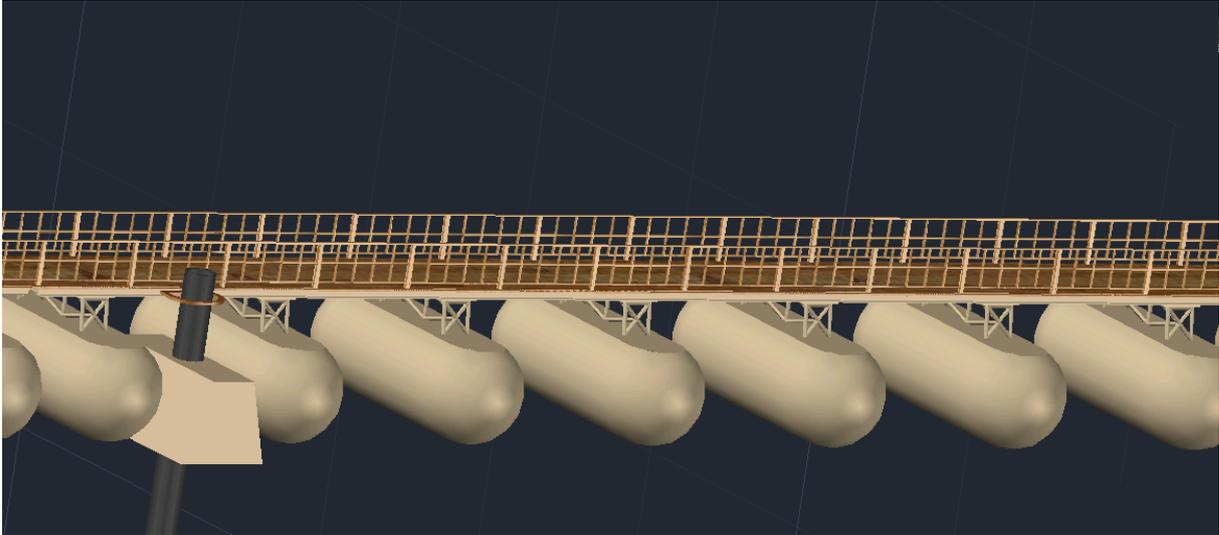
Nome: Nuno Miguel Silva Costa

Julho 2016

Ponte Pedonal em Planta

Escala: 1:2000

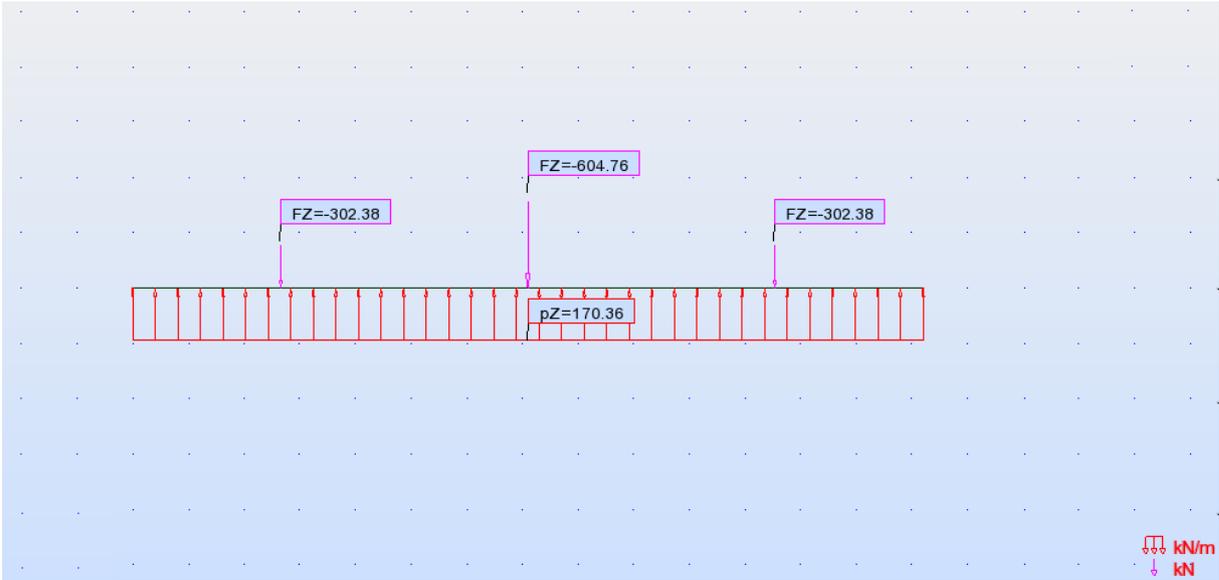






C5. Verificação estrutural do flutuador do tabuleiro





Cargas Aplicadas no Flutuador do Tabuleiro (Análise 2D)

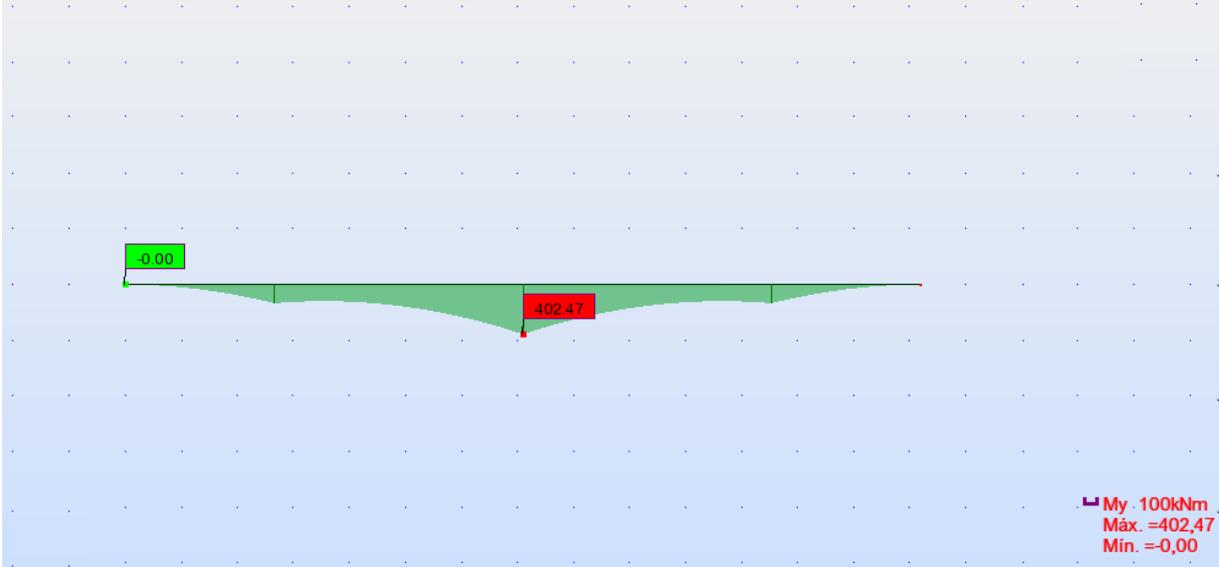


Diagrama de Momentos no Flutuador do Tabuleiro (Análise 2D)

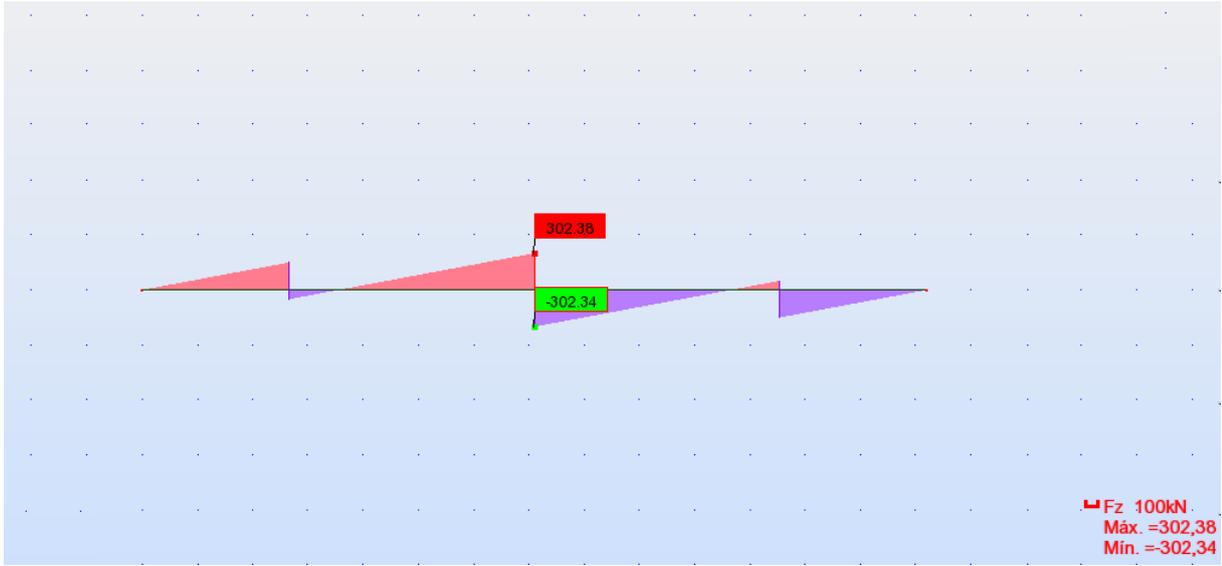


Diagrama do Esforço Transverso no Flutuador do Tabuleiro (Análise 2D)

| Seções    | Fy (Mpa) | Classe a Flexão | Med (kN.m) | Ved (kN) | Av (m <sup>2</sup> ) | Wply (m <sup>3</sup> ) | Mrd (kN.m) | Vrd (kN)  | Med/Mrd (%) | Ved/Vrd (%) |
|-----------|----------|-----------------|------------|----------|----------------------|------------------------|------------|-----------|-------------|-------------|
| Corte B-B | 355      | 2               | 402,470    | 302,280  | 0,352                | 0,164                  | 58382,273  | 72166,186 | 0,689       | 0,419       |
| Corte A-A | 355      | 2               | 402,470    | 302,280  | 0,130                | 0,061                  | 21520,801  | 26644,715 | 1,870       | 1,134       |
| Corte C-C | 355      | 2               | 402,470    | 302,280  | 0,087                | 0,040                  | 14368,625  | 17763,143 | 2,801       | 1,702       |

As seções estão de acordo com o Anexo B2 (Desenho nº2) e a verificação estrutural do flutuador tem apenas em conta a resistência do aço, sendo desprezadas as contribuições dos restantes materiais. O cálculo das resistências das secções (Ved e Mrd) e a verificação da sua resistência (Ved<Vrd e Med<Mrd) seguem o mesmo princípio usado no Capítulo 5 na verificação da resistência das estacas telescópicas.