

## MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

### LOCALIZAÇÃO DA OBRA

Neste projecto é proposta a conexão entre a praça da Ribeira, no Porto, e a praça “Sandeman”, em Vila Nova de Gaia. Localizadas nas frentes ribeirinhas das respectivas cidades, estas praças constituem locais notáveis, repletos de história e beleza.



Fig.1 e 2 – Praça da Ribeira e praça Sandeman

A praça da Ribeira, também apelidada de “praça do Cubo” devido à escultura em forma de cubo que possui, além de ponto de atracção turística é também um importante espaço social, dispondo o local de variados espaços de animação nocturna.

A praça “Sandeman”, com o nome oficial de largo Miguel Bombarda, alberga o único museu ligado à história e produção de vinho do Porto do país. Intrinsecamente ligado ao vinho do Porto, este local de grande qualidade paisagística apresenta-se como um espaço privilegiado para contemplação da paisagem envolvente.

### CARACTERÍSTICAS E CONDICIONANTES DO LOCAL

A fim de manter a navegabilidade actual do rio Douro, pretende-se que a estrutura a projectar alcance a cota do tabuleiro inferior da Ponte Luís I e se mantenha com um valor não inferior a esta ao longo de uma distância considerável para permitir a passagem pelo local de embarcações de grande porte.

Os elementos topográficos obtidos indicam que o banzo inferior da Ponte Luís I se situa à cota 11,8m, enquanto que as marginais apresentam cotas de 4,5m e 3,9m, respectivamente referentes à praça da Ribeira e a à praça Sandeman. Estes valores permitem concluir que existe um desnível máximo a vencer de 7,9m.

A nível do subsolo, as informações obtidas confirmaram a existência do rio da Vila, um afluente canalizado do rio Douro, que desce a rua de S. João, atravessando a praça da Ribeira, o que condiciona consideravelmente qualquer construção que se pretenda fundar nas imediações do traçado do referido rio.

As informações recolhidas relativamente a sondagens realizadas na margem portuense indicam um cenário geológico composto por aterro até uma profundidade de 2,7m, granito medianamente alterado dos 2,7m até aos 9m de profundidade, e granito pouco alterado após os 9m de profundidade.

Relativamente ao canal de navegação do rio Douro, ao unir as duas praças por uma linha verifica-se que esta intersecta os limites do canal a 45m da margem Norte e a 145m da margem Sul, apresentando este uma largura de 60m. É também de realçar que ao longo da referida linha, à excepção das imediações das margens, não existem significativas variações de profundidade, sendo 8m a profundidade média.

Por último, perspectivando a função da ponte e o tipo e frequência de uso, interessa também conhecer os eventos sociais que habitualmente se realizam no local e avaliar o seu impacto funcional, podendo estes vir a influenciar os requisitos que a obra deve satisfazer. Embora nas duas margens do rio a densidade de pessoas no espaço público não seja significativa, existem certos eventos, em determinadas épocas festivas, que invertem completamente esta tendência, constatando-se uma superlotação do local. A título exemplificativo pode-se referir a afluência ao local na noite de S. João, que marca presença todos os anos de 23 para 24 de Junho e as mais recentes corridas aéreas, designadas de “Red Bull Air Race”.

### IMPLANTAÇÃO DA PONTE

Foi dada especial atenção à implantação a adoptar para a ponte, tendo em conta o seu impacto, quer em planta, quer em perfil.

No que respeita ao primeiro aspecto, uma vez que a inclinação máxima do tabuleiro é limitada pela regulamentação, e pretendendo-se que o tabuleiro alcance a cota do tabuleiro inferior da Ponte Luís I, a existência de rampas de acesso em ambas as margens é a solução mais aconselhável.

A área existente na praça da Ribeira revela-se insuficiente para colocar os cabos de amarração dos pilares, bem como um acesso ao tabuleiro da ponte. Para além desta escassez de área, existe ainda a problemática do rio canalizado que passa na praça da Ribeira, reduzindo bastante a qualidade do solo no local.

Nas duas margens existe ainda o problema de colocar uma estrutura de porte considerável a condicionar a vista que ambas as praças têm para o rio.

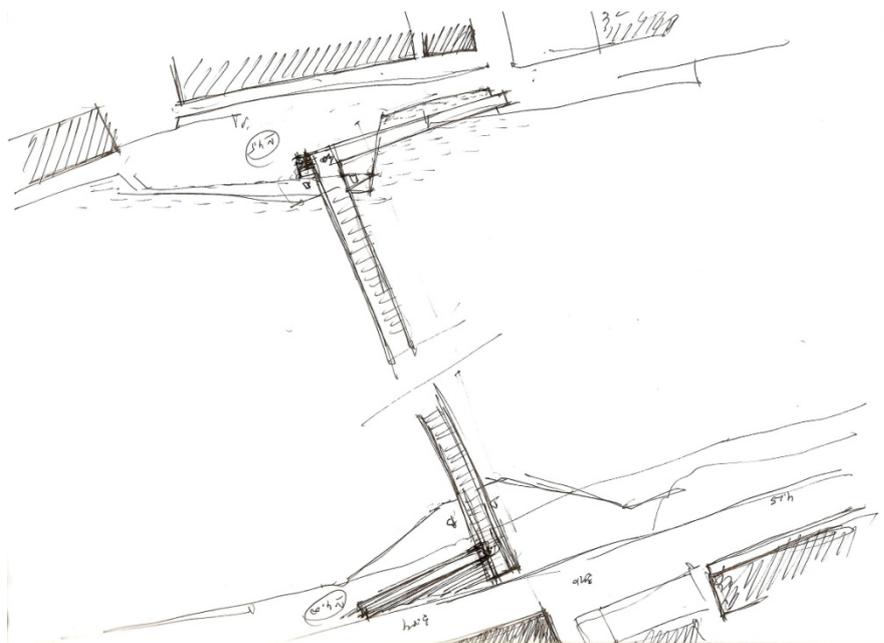


Fig.3 – Esquisto de estudo de implantação da ponte

Após serem equacionadas várias alternativas para o alinhamento da ponte, optou-se pelo traçado representado na figura 4.

Esta solução consiste em partir da praça da Ribeira com uma rampa de acesso que se prolonga por cerca de 65m até ao Cais da Estiva, através da qual se ganha a altura necessária para lançar o tabuleiro até à outra margem, tomando uma direcção praticamente paralela à da Ponte Luís I.



Fig.4 – Traçado sugerido para a ponte pedonal entre a praça da Ribeira (A) e a praça Sandeman (B)

O alinhamento proposto intersecta a margem do lado de Gaia ligeiramente a Poente da praça Sandeman, no enfiamento da rua Cândido dos Reis, de modo a não condicionar a panorâmica que se vislumbra desta praça para a cidade do Porto e para a Ponte Luís I.

Esta solução permite também utilizar o espaço do Cais da Estiva para as fundações dos pilares e ancoragens dos cabos da ponte, sem ser necessário recorrer a consideráveis tratamentos da margem portuense. Não obstante, esta solução apresenta um grande vão, 240m, intersectando o canal de navegação a cerca de 40m da margem do Porto e a cerca de 140m da margem de Gaia.

Tendo em conta o que foi referido relativamente ao canal de navegação e às profundidades do rio, considerou-se suficiente garantir um troço de 60m de tabuleiro, na parte central do rio, acima de uma cota de 12,5m (conferindo uma margem para os cabos inferiores). Pretendendo atingir tal valor, sem cometer excessos na altura total e respeitando a inclinação máxima legal de 6%, foi adoptada uma solução simétrica, recorrendo a um aterro do lado de V.N. de Gaia que, além de permitir a redução do vão a vencer, cria um espaço lúdico sobre o rio, como será posteriormente descrito. Nesta solução o

tabuleiro desenvolve-se do lado do Porto a partir da cota 8,3m (3,8m acima da cota da plataforma existente), subindo até à cota 12,5m com uma inclinação constante (ver a figura 5). Do outro lado do rio, o tabuleiro parte da cota 8,3m, mas agora 4,4m acima da plataforma a construir. A partir desta cota é lançado com inclinação constante de 6% até à cota 12,5m. A transição entre os dois segmentos rectos é garantida por um arco de 668m de raio.

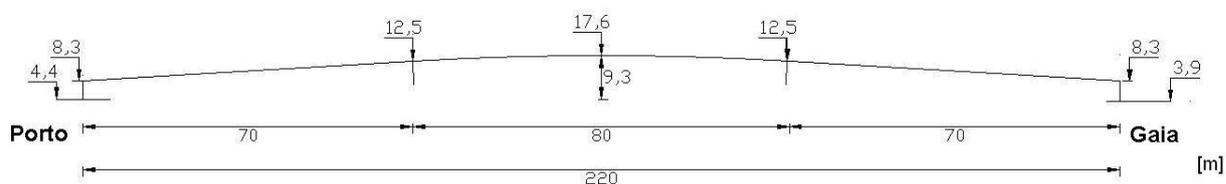


Fig.5 – Esquema do tabuleiro em alçado

### CONCEPÇÃO DA ESTRUTURA

O sistema estrutural adoptado dispõe não só de cabos superiores a suportar o tabuleiro, à semelhança da generalidade das pontes suspensas, como também possui cabos inferiores que formam parábolas de sentido oposto às formadas pelos cabos superiores. Desta configuração resulta um sistema em que os cabos trabalham em sentidos opostos, traccionando toda a estrutura. Esta adquire assim uma rigidez considerável, melhorando o seu comportamento dinâmico à medida que o nível de pré-esforço aumenta, permitindo a adopção de espessuras reduzidas para o tabuleiro.

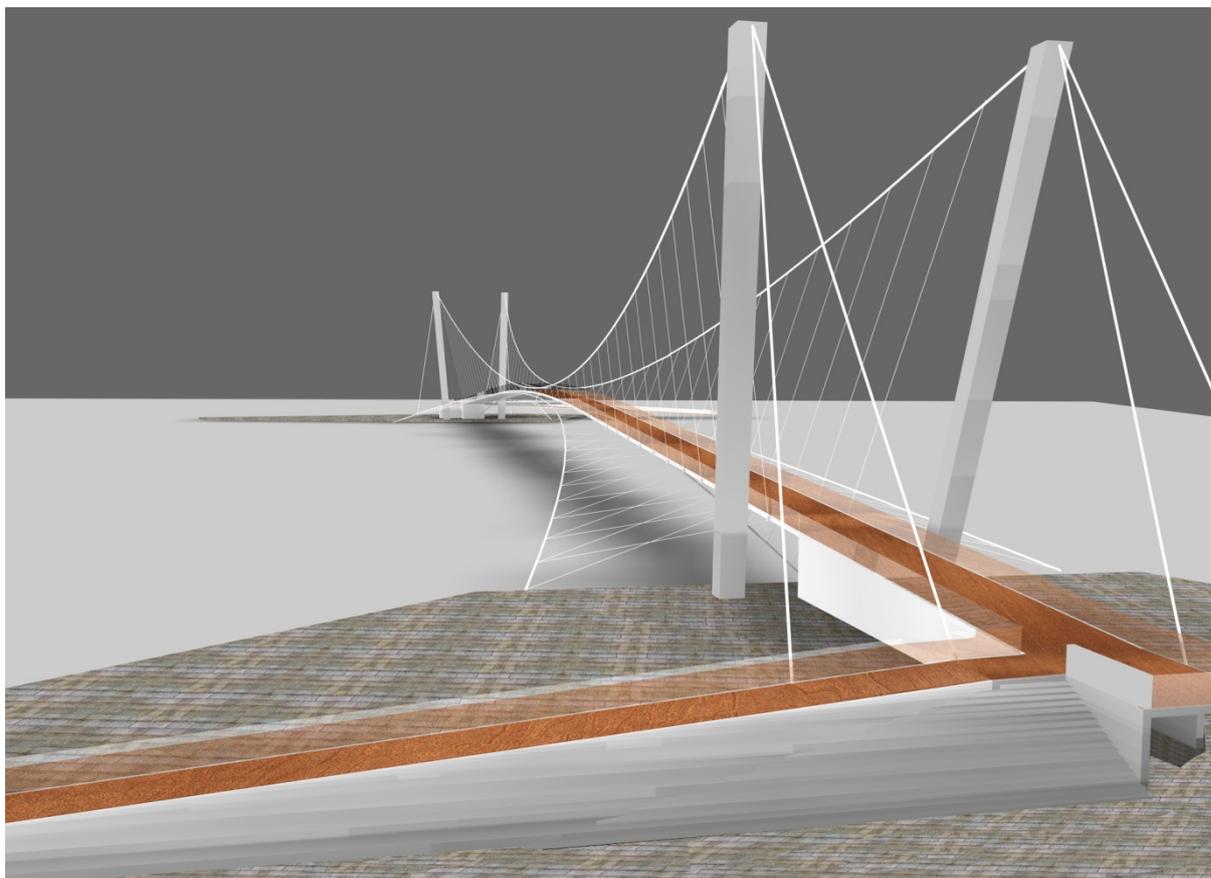


Fig.6 – Imagem do modelo tridimensional

Quanto à funcionalidade do tabuleiro da ponte pedonal, este deve apresentar uma largura suficiente para possibilitar uma travessia confortável aos peões que o utilizam nos dois sentidos. Tendo em conta o local de implantação, foi considerado suficiente uma estrutura em grelha metálica que conferisse uma largura útil ao tabuleiro de 4m a meio vão e de 5m nas extremidades. O tabuleiro apresenta uma extensão considerável, 220m.

A ponderação dos efeitos da variação de temperatura e conseqüentes tensões induzidas por esta conduziu à utilização de apoios que restringem as extremidades do tabuleiro nas direcções vertical e transversal. A fim de contrariar os possíveis deslocamentos longitudinais instantâneos devido a forças impulsivas, consideraram-se amortecedores a óleo nas extremidades do tabuleiro, que apenas lhe permitem deslocamentos diferidos na direcção longitudinal.

Os apoios dos pilares foram considerados de três graus de liberdade, sendo restringidas apenas as translações. Os esforços elevados nos cabos superiores desencorajam a consideração de pilares encastrados na base. Para contrariar estes esforços recorre-se a cabos exteriores, que ligam o topo dos pilares à margem. A utilização destes cabos revela-se vantajosa quando se permite rotações na base dos pilares, pois praticamente anula os momentos a transmitir às fundações.

A acessibilidade ao tabuleiro é outro aspecto importante a considerar. A funcionalidade e localização dos acessos ao tabuleiro foram estudadas cuidadosamente. A principal questão concepcional concerne à necessidade de enquadrar nos locais de implantação rampas de acesso com uma dimensão necessária para vencer alturas de 4,4m, na margem do Porto, e 3,9m, na margem de Gaia, sem recorrer a inclinações superiores a 6%.

Sendo o espaço envolvente da praça da Ribeira reduzido, a solução mais viável para o acesso ao tabuleiro foi a colocação de uma rampa saindo do cais da Ribeira para o cais da Estiva, sem restringir o acesso ao rio, ver figura 7. Por motivos funcionais foi considerado ainda um acesso em escada em pleno cais da Estiva. Este acesso, para além de servir os peões provenientes da praça da Ribeira, serve também os provenientes do largo do Terreiro, evitando que estes se desloquem ao cais da Ribeira.

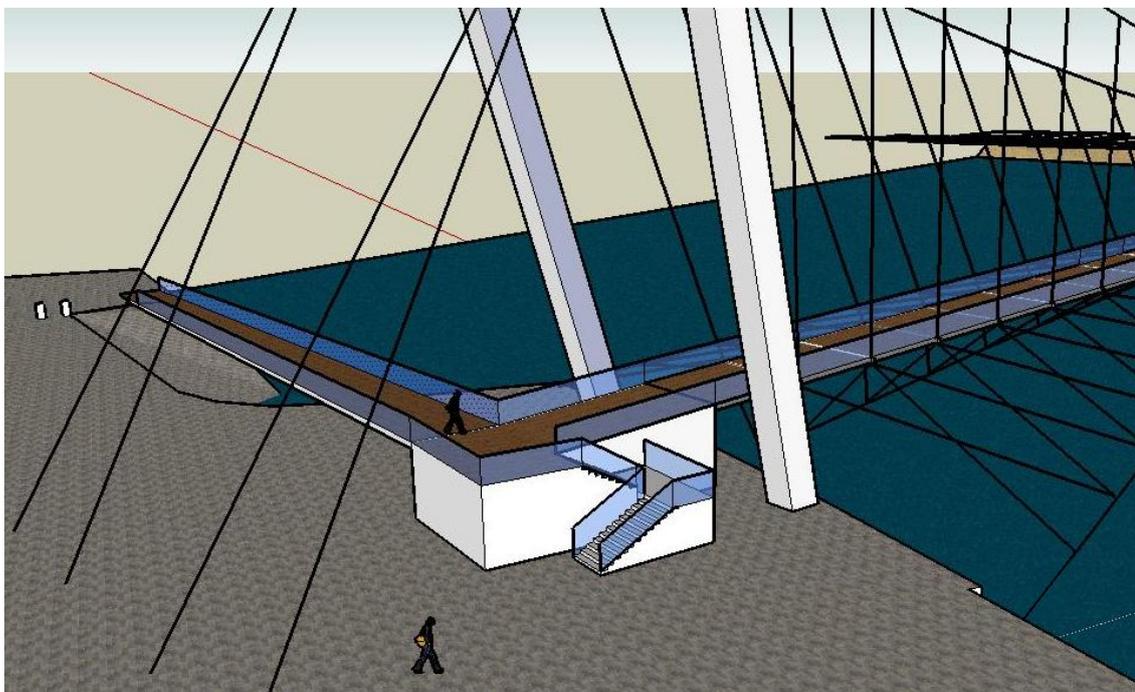


Fig.7 – Acesso ao tabuleiro do lado do Porto

Na margem Sul o espaço não se apresenta tão condicionado devido à larga esplanada que existe entre a rua de Leote do Rego e o rio. Este espaço torna-se ainda maior ao considerar um ligeiro aterro sobre o rio, como é proposto. Tendo em conta a localização da Ponte Luís I para montante, assim como a maior animação existente na zona do cais de Gaia, considerou-se que a rampa deveria ser orientada para jusante. O facto de toda a estrutura de acesso se desenvolver sobre solo firme permite desenhar uma rampa com alguma desenvoltura e associar uma escadaria cujos degraus, para além de permitirem o acesso directo ao tabuleiro, configuram um espaço público de lazer.

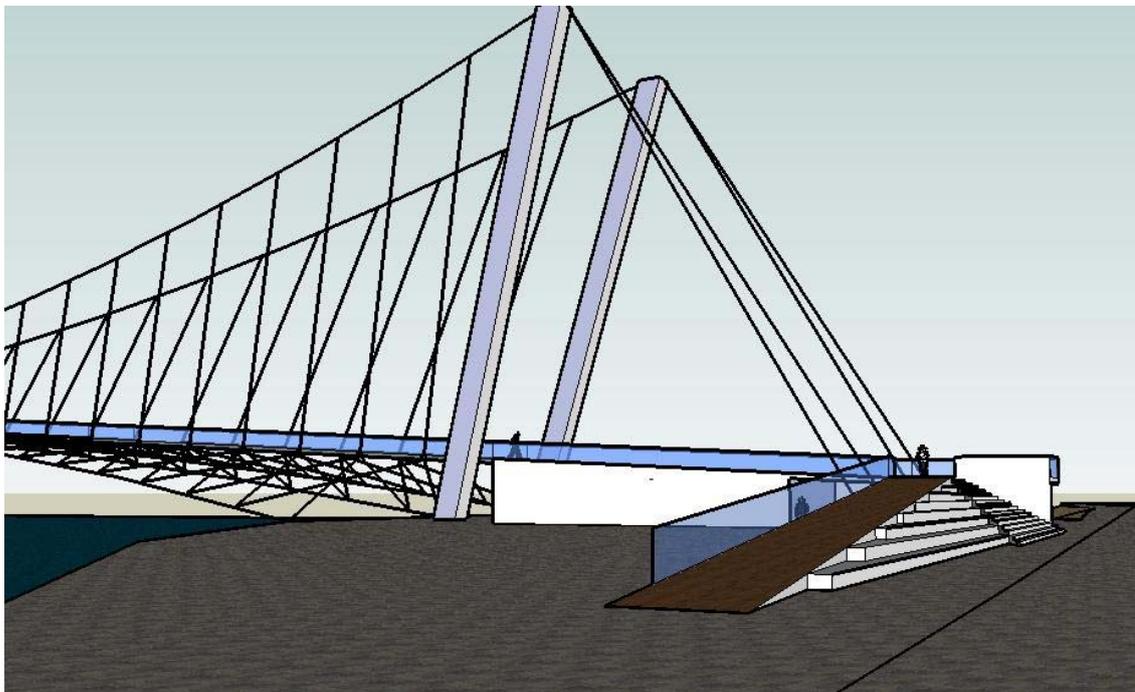


Fig.8 – Acesso ao tabuleiro do lado de Vila Nova de Gaia

A criação do aterro proporciona também um novo espaço, junto à ponte, como se pode observar na figura 8.

A concepção final da estrutura constituiu um processo iterativo, levando à conjugação quer da sua estética, quer dos seus comportamentos estático e dinâmico.

Relativamente ao pré-esforço a utilizar nos cabos, as soluções avaliadas consistiram em configurações em que este não ultrapassava 45% do valor mínimo da tensão resistente dos cordões dos cabos na combinação permanente, a fim de evitar problemas devidos à fadiga.

A procura de frequências próprias de vibração superiores a 1Hz, com o intuito de evitar valores mais problemáticos relativamente à acção do vento, originou uma configuração composta por:

- pilares de 30m de altura, afastados de 16,4m no topo e de 12,7m na base;
- 3 cabos inferiores, afastados de 17,5m na zona de ancoragem;
- pendurais laterais enviesados;
- cabos principais, exteriores e pendurais com diâmetros de 158mm, 122mm e 32mm, respectivamente;
- pré-esforço de 8MN nos cabos principais.

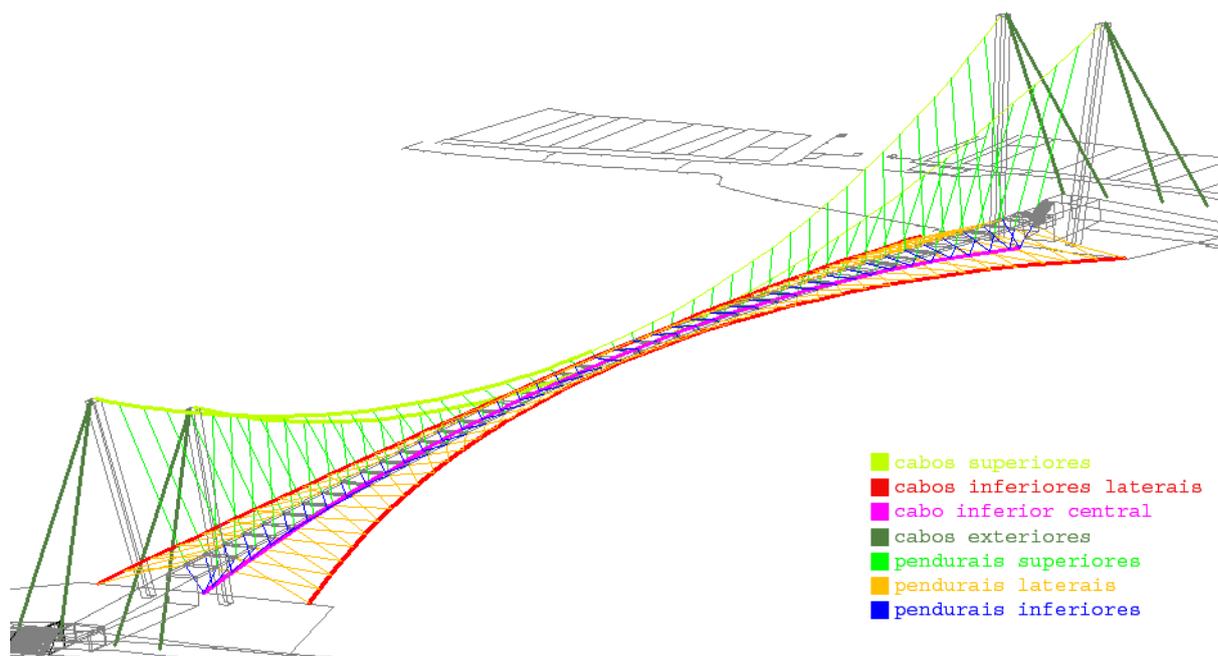


Fig.9 – Configuração final da ponte

## MATERIAIS

Tratando-se de um contexto de grande sensibilidade paisagística, pretende-se conceber uma estrutura consideravelmente esbelta, de modo a garantir à obra de arte um bom enquadramento estético-funcional.

Para conseguir este objectivo adoptaram-se os seguintes materiais:

- aço S355 para pilares, elementos estruturais que compõem o tabuleiro e guardas;
- betão C30/37 e aço A500 para o betão armado a usar nos acessos ao tabuleiro e nas fundações da ponte;
- cabos de aço Macalloy;
- madeira maciça anti-derrapante e adequada para pavimentos exteriores ou ambientes húmidos para o pavimento, quer no tabuleiro, quer nos acessos a este;
- vidro laminado de segurança SGG STADIP PROTECT para as guardas da ponte.

## MODELAÇÃO

O elemento estrutural cabo é extremamente sensível a transformações geométricas, verificando-se a alteração da rigidez da estrutura à medida que os cabos se deslocam. Por isso é necessário adoptar um programa de cálculo automático com capacidade de efectuar uma análise tridimensional não linear geométrica.

Os programas considerados para o estudo da estrutura foram:

- SAP 2000 Advanced 11.0.0, para o cálculo integral da estrutura;
- ROBOT Millennium 20.0.0.2488, para a verificação do modelo de cálculo.

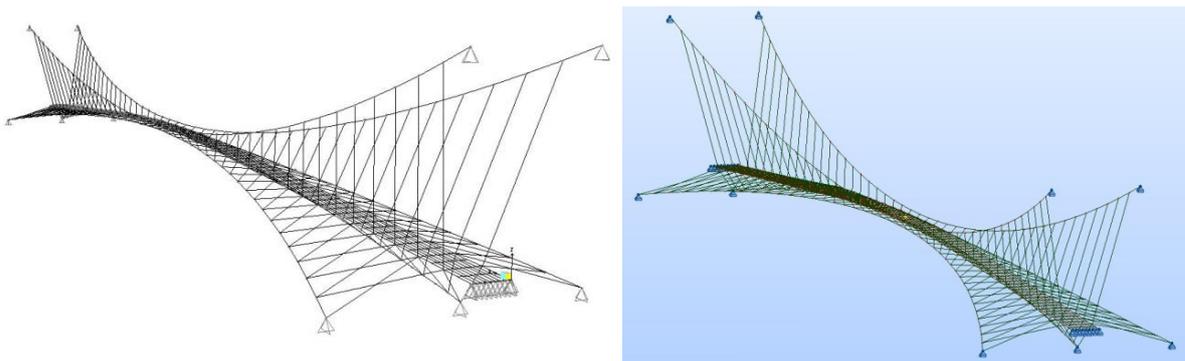


Fig.10 e Fig.11 – Modelos utilizados para a verificação nos programas SAP e Robot

A modelação do elemento cabo foi efectuada recorrendo à aproximação dos cabos a barras cilíndricas bi-articuladas, impedindo a transmissão de momentos entre elementos.

A inércia de um cabo é dada pela soma das inércias dos cordões em relação a um eixo que passa pelo centro do cabo, sendo inferior à inércia de uma barra de secção circular de igual diâmetro. A fim de ultrapassar esta condição foi realizada uma aproximação de forma generalizadora, com base em alguns exemplos simplificados, após os quais se decidiu tomar um coeficiente de redução de inércia de uma barra cilíndrica de 0,7.

Ao longo das diversas fases de cálculo foi verificado, para todas as combinações, que os cabos se mantinham sempre submetidos a esforços de tracção.

Para o estudo do comportamento global da estrutura separou-se inicialmente a estrutura de cabos dos pilares que a suportam. Este procedimento apenas tem validade caso os pilares a dimensionar posteriormente não apresentem deslocamentos consideráveis. Para este efeito, após toda a análise estática e dinâmica inicial, completou-se o modelo de cálculo, incluindo e dimensionando-se os pilares e os cabos exteriores de modo a não alterar significativamente o comportamento estático e dinâmico da estrutura.

A aplicação do pré-esforço nos cabos foi considerada através de variações de temperatura.

A utilização de amortecedores a óleo, que impedem deslocamentos devido às forças impulsivas, nas extremidades do tabuleiro implicou a consideração de dois modelos: um modelo estático, onde o tabuleiro não está restringido longitudinalmente, simulando assim a existência de juntas para o estudo estático; e um modelo dinâmico, onde o tabuleiro possui apoios tridimensionais nas extremidades, para simulação das restrições impostas pelos amortecedores às acções imediatas.

## PROCESSO CONSTRUTIVO

Equacionando as características específicas do local e da estrutura, o processo construtivo sugerido consiste nas seguintes fases:

- 1. Construção do aterro na margem esquerda do rio;
- 2. Remoção do estabelecimento existente e ligeiro alargamento do cais da Estiva. Regularização dos terrenos de ambas as margens;
- 3. Execução das ancoragens e fundações;
- 4. Montagem de torres auxiliares provisórias para suporte dos pilares pré-fabricados e colocação destes com o auxílio de guias;
- 5. Construção dos encontros do tabuleiro;
- 6. Colocação dos cabos exteriores, prendendo-os nas extremidades dos pilares e nos maciços de ancoragem, sem aplicação de pré-esforço;
- 7. Colocação dos cabos superiores, partindo da margem esquerda com o auxílio de um cabo guia para os transportar até à outra margem, recorrendo a barcaças;
- 8. Colocação dos pendurais superiores;
- 9. Montagem sequencial da grelha metálica do tabuleiro;
- 10. Colocação dos pendurais inferiores e laterais;
- 11. Colocação dos cabos inferiores, por suspensão dos pendurais inferiores e laterais;
- 12. Aplicação de pré-esforço nos cabos principais exteriores e superiores;
- 13. Remoção das torres auxiliares;
- 14. Aplicação faseada do pré-esforço das ancoragens e dos cabos principais inferiores;
- 15. Construção dos acessos em betão armado;
- 16. Colocação de chapas metálicas sob a grelha do tabuleiro para cobrir elementos estruturais, e colocação do pavimento em madeira;
- 17. Verificação da qualidade da estrutura através da realização de ensaios de carga na supra-estrutura;
- 18. Colocação de guardas, iluminação e restantes acabamentos;
- 19. Execução de testes de comportamento dinâmico, para averiguar a necessidade de aplicação de medidas de controlo de vibrações e, se necessário, posterior aplicação das mesmas.

O aterro na margem Sul e a alteração do cais da Estiva deverão ser executados com recurso a elementos pré-fabricados e vazados, assentes sobre uma camada de enrocamento. Este enrocamento será devidamente colocado, ao longo do perímetro de aterro, com recurso a mergulhadores. Os elementos pré-fabricados serão preenchidos com betão e o volume interior será posteriormente preenchido com material de aterro devidamente seleccionado e compactado para garantir as características necessárias para as fundações. Após a construção dos acessos ao tabuleiro da ponte, a superfície do aterro será revestida por uma camada de betão, com cerca 30cm de espessura, ligeiramente armado.

Os cabos principais são compostos por 7 sub-cabos para facilitar o seu transporte e colocação. O seu transporte será efectuado sob a forma de bobina, sendo posteriormente colocados de forma faseada, com o auxílio de um cabo guia. Após a colocação dos 7 elementos é-lhes aplicada uma manga de protecção.

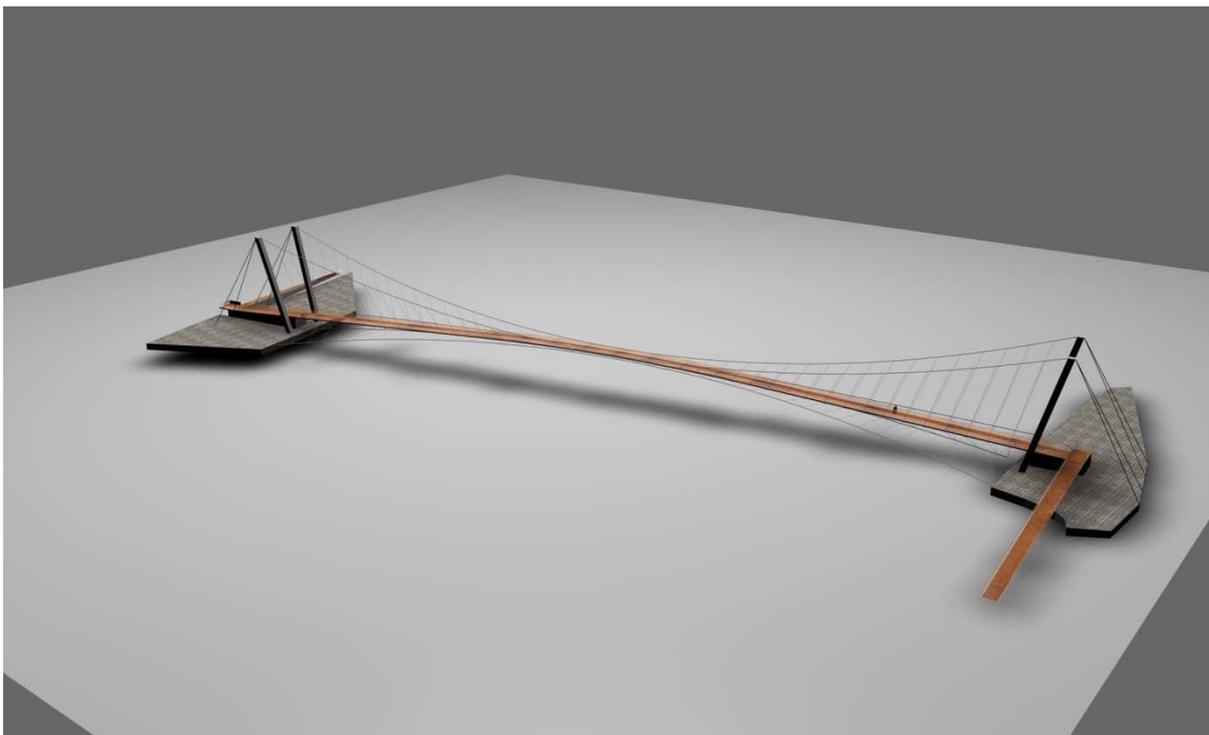


Fig.12 – Maquete virtual da Ponte da Ribeira



Fig.13 – Fotomontagem da Ponte da Ribeira

### ESTIMATIVA ORÇAMENTAL

O custo global da obra é estimado em 5.300.000 €. Este valor corresponde à soma dos itens representados no seguinte gráfico.

