

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

LOCALIZAÇÃO DA OBRA

A obra localiza-se no Porto, sobre a Via de Cintura Interna, e providencia uma ligação do Jardim Botânico ao Estado Universitário, através de uma passagem pedonal. Foram inicialmente consideradas duas opções, representadas a vermelho e a verde na Figura 1, com acessos respetivamente pela Travessa Entrecampos e pelo Jardim Botânico.



Figura 1 - Opções de localização da ponte.

A opção a vermelho, com vista ao aproveitamento da Travessa Entrecampos, apresenta os inconvenientes de utilizar um acesso partilhado com viaturas, e implicar uma ponte de maior comprimento, enquanto que a opção a verde tem as vantagens de implicar uma ponte de menor comprimento, e utilizar um caminho pedonal existente no interior do jardim, proporcionando um acesso bem mais aprazível. Este acesso, a partir do Jardim Botânico, necessita posteriormente de uma maior atenção, por se tratar de um espaço natural, de elevado valor patrimonial.

IMPLANTAÇÃO E DIMENSÕES PRINCIPAIS DA PONTE

Para a definição do traçado longitudinal é realizado um estudo das cotas do terreno da zona de implantação, sendo de referir que se está perante uma passagem superior sobre uma via de comunicação já existente, e que o terreno em ambos os acessos se encontra sensivelmente à mesma cota.

Tendo a Via de Cintura Interna uma largura de cerca de 40.0 m, verifica-se que a ponte tem que vencer a distância aproximada de 56.0 m, optando-se assim por um traçado definido por três concordâncias, que são descritas a partir de quatro traneis (ver a Figura 2).

O acesso à ponte é feito a partir de escadas, sendo os extremos do tabuleiro definidos por retas com 9.43 m de comprimento e 0.625 de declive.

Por forma a garantir a continuidade com os troços retilíneos, os traneis t1 e t4 apresentam também um declive de 0.625, e os traneis t2 e t3 possuem um declive de 0.4 (ver a Figura 2).

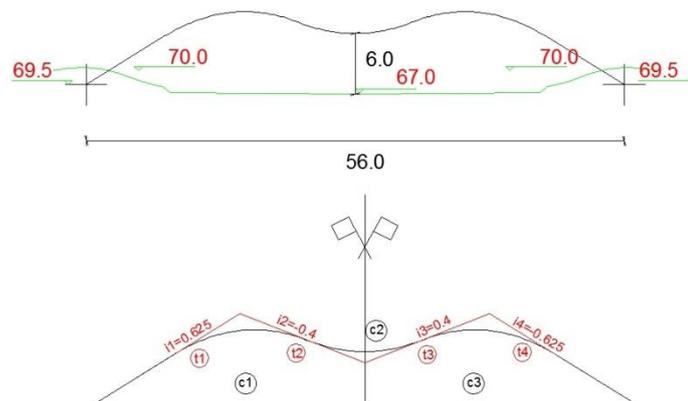


Figura 2 - Esquema da definição geométrica do perfil longitudinal.

Assim, a ponte apresenta um vão livre de 56 m e um *gabarit* de 6 m, valor superior ao mínimo que se deve admitir segundo o Art. 57º. do Regulamento Geral de Estradas e Caminhos Municipais.

O facto de o perfil longitudinal ser definido por três concordâncias faz com que a escolha da secção do tabuleiro não seja fácil nem intuitiva, visto que não se pretende um arco constituído por vários troços retos. Por forma a facilitar a execução das concordâncias, este tabuleiro é constituído por duas chapas e por um conjunto de tubos de aço dobrados, unidos através de uma cola, mais especificamente, através de uma resina epóxico.

Os tubos, com um diâmetro externo de 76.1 mm, estão dispostos conforme representado na Figura 3, confinados por duas chapas de aço coladas nas partes superior e inferior do tabuleiro. Este tabuleiro baseia-se num sistema similar aos painéis *sandwich*, utilizados correntemente. No entanto, o chamado núcleo central tem características resistentes em termos estruturais.

Com o intuito de aligeirar algumas zonas do tabuleiro, definem-se dois tipos de secção – uma constituída por tubos com espessura de parede de 5 mm e outra definida com tubos com espessura de parede de apenas 3 mm. Contudo, apesar de a espessura da parede dos tubos variar, o seu diâmetro externo mantém-se constante.

A Figura 3 representa a secção do tabuleiro com os guarda-corpos.

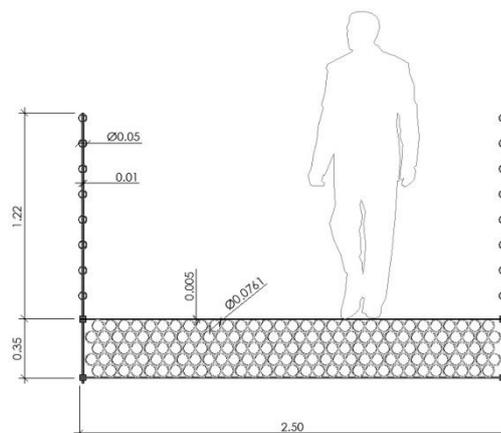


Figura 3 - Secção transversal do tabuleiro.

Assim, a estrutura do tabuleiro é constituída por duas chapas de aço com 5 mm de espessura e cinco camadas de tubos de 5 e 3 mm de espessura com diâmetro exterior de 76.1 mm, formando um tabuleiro com 2.5 m de largura e 0.35 m de altura total.

CONCEÇÃO DA ESTRUTURA

O sistema estrutural adotado para esta obra é o de uma ponte atirantada, onde o tabuleiro é suportado por quinze cabos amarrados em três mastros, como se pode verificar no esquema da Figura 4.

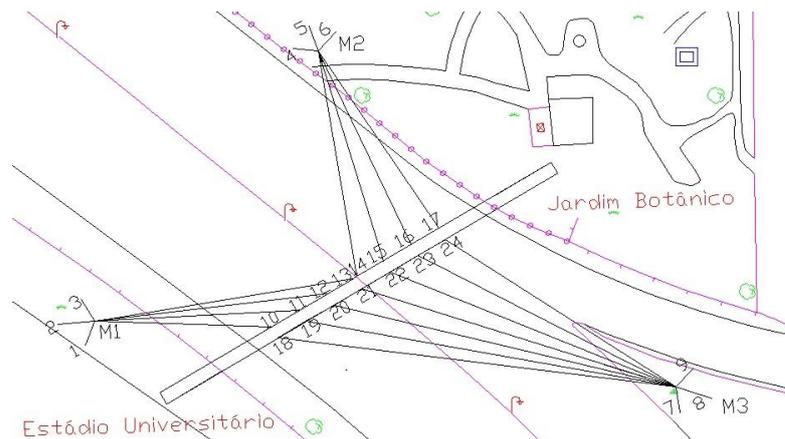


Figura 4 - Esquema da ponte em planta.

Os mastros M1 e M2 encontram-se implantados no Estádio Universitário e no Jardim Botânico, respetivamente. O mastro M3 está localizado numa zona de separação de faixas, terreno pertencente à Universidade do Porto. Relativamente às suas características, cada mastro apresenta um comprimento de 16 m, uma inclinação de 5° na direção da ponte e três cabos auxiliares fixos ao solo.

Esta estrutura possui guarda-corpos não estruturais, ou seja, os elementos resistentes considerados são o tabuleiro, os cabos que o suportam e os respetivos mastros.

Pode-se verificar uma simulação do enquadramento da ponte sobre a Via de Cintura Interna (sentido Norte-Sul) através do modelo tridimensional apresentado na Figura 5.



Figura 5 - Modelo em três dimensões da ponte pedonal (vista no sentido Norte-Sul). A representação tridimensional da zona dos acessos encontra-se na Figura 6.



Figura 6 – Modelo tridimensional da zona de acesso.

A definição das secções dos elementos estruturais foi realizada através de um processo iterativo até se alcançarem as soluções apresentadas, tendo em conta não só uma análise estática da estrutura, como também as conclusões retiradas de um ensaio realizado em laboratório e de resultados retirados de um modelo de micromecânica.

Assim, os principais elementos constituintes da estrutura são:

- tabuleiro constituído por tubos e chapas de aço S235 H;
- mastros definidos por perfis circulares tubulares em aço S235, com diâmetro externo e espessura de parede de 45.0 cm e 3.5 cm, respetivamente;
- guarda-corpos em tubos de aço inox não estruturais;
- pavimento em madeira;
- nove cabos com diâmetro de 52 mm e os restantes com 40 mm, do tipo *Full locked Coil Strands*.

MODELAÇÃO

A solução da secção do tabuleiro, apresentada anteriormente, é uma solução fora do corrente, logo um estudo baseado em casos já existentes não é possível. Na realidade, esta secção não é só constituída por um conjunto de tubos de aço entre duas chapas, mas também pelo material que os faz funcionar como um só na resistência às ações atuantes – resina epóxico. Assim, a modelação deste tabuleiro em programas de cálculo apropriados estaria incorreta se, na caracterização da geometria e material da secção, apenas fossem considerados os tubos e as chapas de aço funcionando solidariamente.

Pode-se então concluir que é necessário estudar a influência da resina epóxico na rigidez da estrutura. Em primeiro lugar é realizado um ensaio experimental com o objetivo de não só determinar a contribuição da resina epóxico para o comportamento do tabuleiro, como também, de proporcionar fiabilidade ao modelo de barras tridimensional realizado para a análise estática da ponte.

Assim, os resultados provenientes do ensaio são tidos em consideração e influenciam diretamente o modelo de barras tridimensional utilizado na análise estática da estrutura.

Relativamente ao programa escolhido para a realização do modelo de cálculo, é necessário dar especial atenção ao facto de o tabuleiro ser suportado por cabos. Devido à presença destes elementos é necessária a realização de uma análise não-linear da estrutura.

Opta-se pela execução do modelo de cálculo no programa *Robot Structural Analysis Professional 2012*, onde é aplicada a propriedade “cabo”, presente no programa, a todos os elementos representativos dos cabos.

A determinação da contra flecha para efeitos de pré-esforço é realizada tendo em conta apenas o peso próprio da estrutura. Assim, o processo iterativo da escolha do pré-esforço atuante nos cabos é realizado considerando as limitações impostas para as deformações e a ocorrência de fenómenos de fadiga.

O modelo de cálculo engloba todos os elementos da estrutura e respetivos apoios, considerando os materiais, as respetivas características geométricas, e as combinações de ações para uma análise estática (ver a Figura 7).

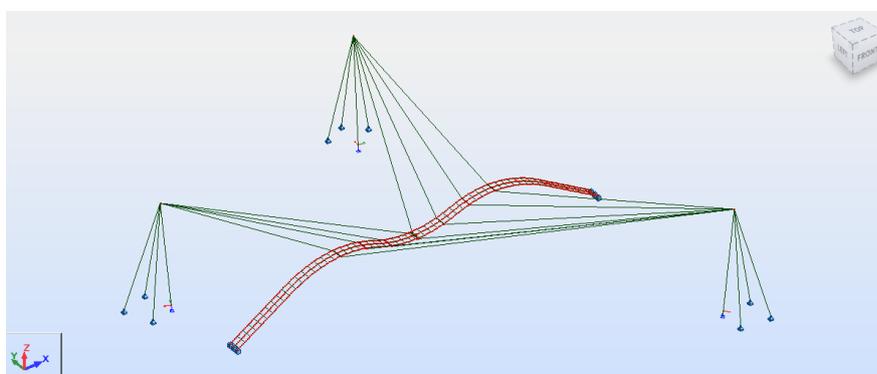


Figura 7 - Modelo global da estrutura incluindo tabuleiro, mastros e cabos.

PROCESSO CONSTRUTIVO

O processo construtivo de uma ponte é um aspeto fundamental que deve ser cuidadosamente estudado durante a fase de conceção da obra. Este processo é planeado não só para que seja simples e eficaz, mas também económico através de uma boa gestão de recursos.

No caso em estudo, o processo construtivo é pensado desde o início da conceção da estrutura. O processo de aplicação da resina epóxido é simples, rápido e necessita de reduzida mão-de-obra. Também o processo de dobragem dos tubos de aço é simplificado, visto que é realizado através de equipamentos computadorizados com base nos dados do traçado das concordâncias.

Por forma a não interferir com a normal circulação rodoviária na Via de Cintura Interna, e minimizar a utilização de cimbres, como se pode verificar na Figura 8 e na Figura 9, o processo construtivo baseia-se na preparação do tabuleiro invertido, apoiado em cimbres, por fases, onde inicialmente se realiza a colagem das cinco camadas de tubos e chapas. Como o tempo de cura da cola é de aproximadamente 15 horas a uma temperatura de 20°C (quanto maior a temperatura, menor o tempo necessário de cura) cada camada construída fica em repouso de um dia para o outro.

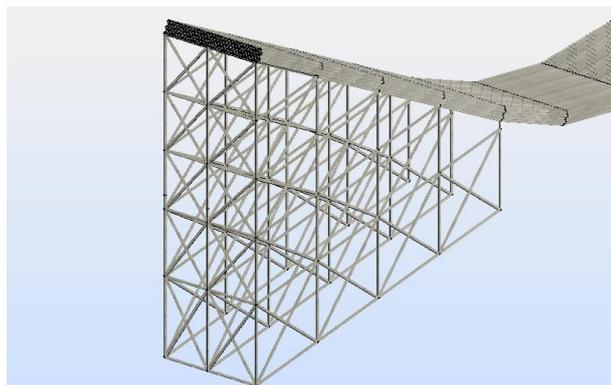


Figura 8 – Esquema da zona de acesso à ponte apoiada num cimbra.

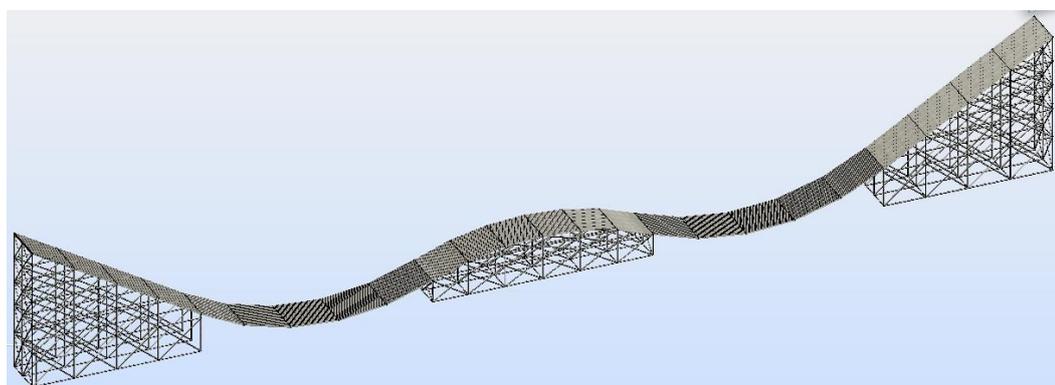


Figura 9 – Esquema do tabuleiro apoiado sobre cimbras.

Depois de concluído, o tabuleiro é colocado sobre as sapatas de betão através de gruas.

Os mastros pré-fabricados são executados durante o decorrer deste processo.

Finalmente procede-se à fixação dos cabos e aplicação do pré-esforço.

O passo final é a colocação dos guarda-corpos e restantes acabamentos.

ESTIMATIVA ORÇAMENTAL

O custo de construção da obra em estudo é estimado com base nos custos diretos relativos às quantidades de materiais. Assim, conclui-se que a estimativa do custo da obra é de aproximadamente 624 000 € (seiscentos e vinte e quatro mil euros), valor que será acrescido do IVA¹ à taxa legal em vigor.

Relativamente ao custo da ponte por m² obtém-se um valor de aproximadamente 2300 €/m².

¹ Imposto sobre o Valor Acrescentado.