

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

LOCALIZAÇÃO DA OBRA

Neste projecto é proposta a ligação entre o bloco de aulas da Faculdade de Engenharia do Porto (FEUP), e o novo edifício da Associação de Estudantes (AEFEUP). Apesar da Faculdade de Engenharia fazer parte do pólo universitário da Asprela desde 2000, a AEFEUP apenas passou a dispor de instalações próprias em 2008.

O edifício da AEFEUP dista apenas 150 metros do centro da faculdade, mas na realidade devido à existência da Via Estruturante os dois espaços encontram-se fisicamente desligados. Com efeito, o percurso da zona central do bloco de aulas (bloco B) até à Associação de Estudantes obriga a uma deslocação de cerca de 450 metros, dificultando a acessibilidade a este importante espaço social e de serviços à comunidade académica.

CARACTERÍSTICAS E CONDICIONANTES DO LOCAL

O presente projecto de ponte pedonal tem como objectivo facilitar a travessia de uma via municipal. Assim, a principal condicionante é o tráfego rodoviário nessa via que não deve, de forma alguma, ser perturbado pela estrutura a projectar. Com este propósito devem ser respeitadas as cotas livres acima do nível do pavimento impostas pela legislação, que no caso de estradas municipais são de 5 metros.

Para além do respeito pelo *gabarit* sobre a via, é ainda necessário verificar que as inclinações atingidas pelo tabuleiro respeitam as normas vigentes de acessibilidade e assim garantir que a ponte a construir se torna numa opção viável para todos os utilizadores. Com esse fim a inclinação do tabuleiro não deve ultrapassar os 6%.

Também o nível de serviço pretendido é condicionante. Uma vez que a ponte cria uma ligação rápida do centro da faculdade ao bar dos alunos e cantina, é de esperar uma grande afluência em determinadas horas do dia. Devido à leveza subjacente a este tipo de estrutura, são de esperar problemas de vibrações quando a estrutura for sujeita a solicitações críticas correspondentes a estes períodos de grande afluência.

A arquitectura é também condicionante neste projecto, uma vez que se pretende que a estrutura se insira harmoniosamente na envolvente ao mesmo tempo que desempenha a função para a qual foi pensada.

IMPLANTAÇÃO E DIMENSÕES PRINCIPAIS DA PONTE

O estudo da implantação da ponte assume uma importância fulcral na definição do projecto. Pretende-se ligar o bloco B e a Associação de Estudantes, sendo por isso natural que a obra a realizar ligue da forma mais directa possível estes dois espaços. Torna-se assim natural a escolha da zona central do bloco B para o lançamento da ponte a construir. Esta escolha permite ainda reabilitar o espaço do antigo bar dos alunos, tornando-o de novo num dos pontos nevrálgicos da faculdade. No extremo Sul a ponte deve atingir um ponto que permita um fácil acesso ao novo edifício da AE. Verifica-se que se a ponte for aproximadamente perpendicular à Via Estruturante esta condição é cumprida.

Na Figura 1 pode ver-se a representação do local de implantação da ponte.

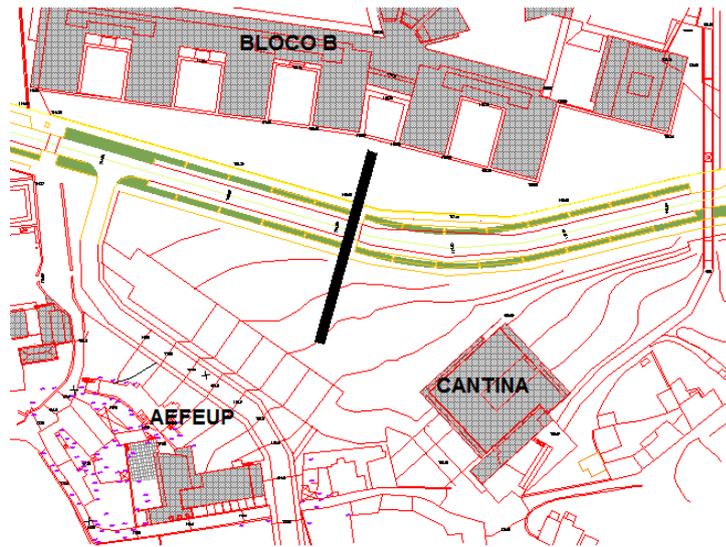


Figura 1 - Implantação da ponte

As imposições legais obrigam a um estudo cuidadoso da geometria do tabuleiro, de modo a conciliar a envolvente da Via Estruturante com as inclinações permitidas para as rampas.

De modo a não colidir visualmente com os edifícios existentes a ponte é implantada a 5 metros da linha exterior dos edifícios do bloco B e, como se pode observar na Figura 2, o tabuleiro vence uma distância de 75 metros, descrevendo um arco de raio 376,9 metros. De forma a respeitar as inclinações admissíveis e vencer os 5 metros necessários sobre a via, a cota inicial do arco a Norte é de 119,6 metros enquanto a cota no extremo Sul é de 119 metros. Esta elevação do tabuleiro em relação ao terreno obriga à adopção de medidas adicionais para garantir o acesso à ponte.

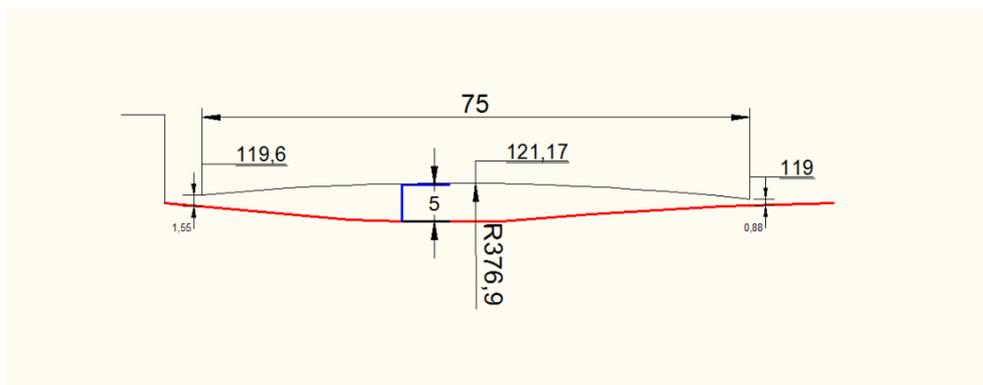


Figura 2 - Perfil longitudinal da ponte

A secção transversal adoptada segue o indicado na literatura especializada (Strasky, 2005). Assim, e como é expectável o uso da ponte também por ciclistas é adoptada uma largura do tabuleiro de 4 metros de modo a garantir uma travessia confortável aos peões que circulam nos dois sentidos.

CONCEPÇÃO DA ESTRUTURA

O sistema estrutural adoptado é o de ponte atirantada, estando o tabuleiro suspenso de dois pilares localizados no encontro Sul. Em comparação com as estruturas suspensas clássicas, as estruturas atirantadas apresentam uma rigidez significativamente superior. No caso de pontes pedonais, em que as acções dinâmicas tendem a condicionar as soluções encontradas, a opção por este tipo de estrutura permite a construção de pontes leves e esbeltas. A Figura 3 ilustra a solução estrutural estudada.



Figura 3 - Modelo tridimensional da estrutura

A assimetria na geometria da estrutura foi decidida de forma a libertar a zona próxima do bloco B de grandes elementos estruturais. Com efeito, a extremidade Sul da ponte está implantada num espaço verde sem edifícios próximos e assim, a presença dos pilares não colide em termos visuais com o edificado existente. Consegue-se, deste modo uma melhor integração da ponte na envolvente.

No modelo de cálculo é considerada a utilização de apoios que restringem o movimento vertical e transversal nas extremidades do tabuleiro, permitindo-se deslocamentos na direcção longitudinal para atender às deformações decorrentes da variação de temperatura.

Os elevados esforços nos cabos que são depois transmitidos ao topo dos pilares levam à utilização de pilares com libertação de momentos na base. Esta solução obriga ao recurso a espigas que ligam o topo dos pilares a um dos encontros, contrariando os esforços existentes e anulando os momentos a transmitir às fundações.

Outro aspecto fundamental a considerar é a acessibilidade ao tabuleiro. Tal como ilustrado na Figura 2, as limitações regulamentares (inclinações e *gabarit* a respeitar) levam à existência de desníveis em ambos os encontros. No encontro Norte este desnível atinge os 1,55 metros, ficando-se pelos 0,88 metros no encontro Sul.

No encontro Norte, devido ao espaço reduzido para a implantação de rampas de grande extensão opta-se pela construção de um lanço de escadas com desenvolvimento em *U* tal como ilustrado na Figura 4.

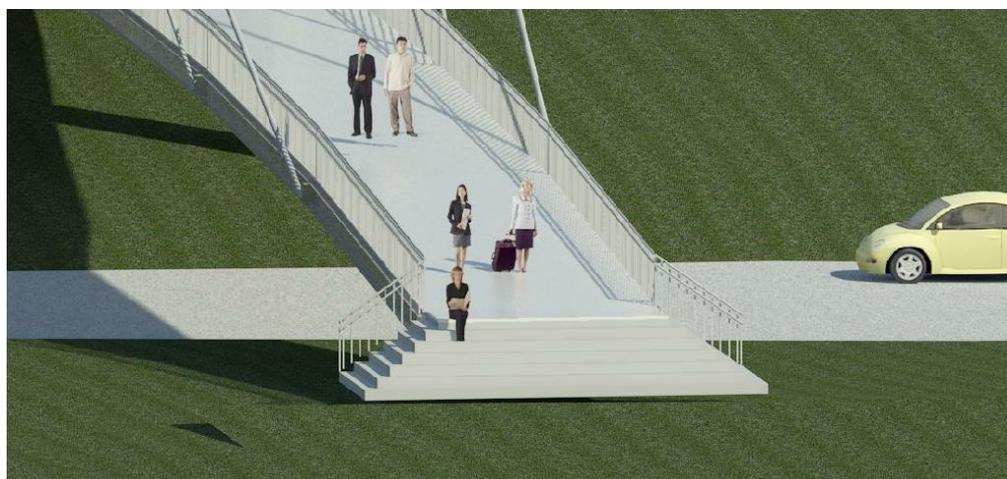


Figura 4 - Ilustração do encontro Norte

Esta solução não respeita as normas de acessibilidade devendo ser complementada com a colocação de um elevador de escada. Refira-se que este tipo de sistema é composto por uma plataforma elevatória retráctil acoplada ao corrimão e, quando correctamente instalada, soluciona os problemas de acessibilidade sem afectar o enquadramento visual da estrutura.

No encontro Sul o desnível a vencer é menor e o espaço disponível é superior, tendo-se optado por fazer o acesso através de uma rampa de inclinação semelhante à do último tramo da ponte (Figura 5).



Figura 5 - Ilustração do encontro Sul

A determinação das dimensões e características dos diferentes elementos constituintes da estrutura parte de um processo iterativo, iniciado por um pré-dimensionamento e conducente à solução final, com boas características de comportamento estático e dinâmico. A solução final é ainda marcada pela sua esbelteza, ficando assim assegurada a boa integração estética na envolvente.

Os principais elementos constituintes da estrutura são:

- dois pilares de secção rectangular variável e inclinados em relação à vertical (aço S355);
- cinco pares de cabos de diâmetros 44 mm no primeiro par de cabos e 40 mm nos restantes;
- grelha estrutural do tabuleiro constituída por perfis IPE 450, IPE 360 e IPE 240 (aço S275);
- pavimento materializado com placas de *glass fibre reinforced plastic* (GFRP).

MODELAÇÃO

A estrutura em estudo, apesar de se marcar pela simplicidade da sua geometria, apresenta especificidades que obrigam a determinados cuidados na sua análise. Com efeito, trata-se de uma estrutura atirantada e, assim, os cabos (e as suas características) assumem um papel preponderante.

As estruturas de cabos são definidas pelas seguintes características:

- Cada elemento só desenvolve esforços quando solicitado à tracção;
- A rigidez da estrutura aumenta à medida que o esforço de tracção nos cabos aumenta;
- A elevada flexibilidade da estrutura não permite a consideração da hipótese de pequenos deslocamentos.

Devido a estas características torna-se necessário assegurar que o cálculo da estrutura respeita estas condições. A primeira condição impõe que no modelo de cálculo nunca sejam admitidos esforços de compressão nos elementos que representam cabos. Da segunda e da terceira condição decorre que a análise a efectuar é não linear, ou seja, que os efeitos de segunda ordem são considerados no cálculo.

Como consequência, verifica-se a necessidade de ser criterioso na modelação da estrutura para assim elevar o grau de confiança nos resultados do cálculo automático. Devido às alterações da rigidez da estrutura com os deslocamentos, é fundamental adoptar um programa de cálculo que contemple a possibilidade de efectuar uma análise não linear. É também importante que a modelação, o cálculo e a análise de resultados sejam feitos de forma intuitiva e *user-friendly* de modo a facilmente se detectar possíveis erros.

No âmbito deste estudo foram considerados dois programas de cálculo:

- ROBOT Structural Analysis Professional 2011 (versão 24.0.1.3481) da Autodesk;
- STAAD.Pro 2007 (versão 2007-01) da Bentley.

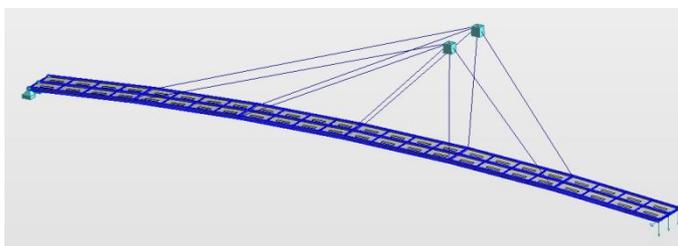


Figura 6 - Modelo utilizado para a verificação da estrutura no programa ROBOT

Os elementos da grelha do tabuleiro, bem como as condições de apoio da ponte, podem ser modelados directamente nos programas de cálculo, sem que haja necessidade de cuidados para além dos essenciais para a correcta representação numérica da estrutura. Por outro lado, os elementos de cabo, devido às características anteriormente elencadas, obrigam a determinados cuidados na modelação, podendo levantar problemas de cálculo devido ao seu comportamento não linear. Para precaver estes problemas são estudadas três possibilidades de representação dos cabos tendo-se optado pela aplicação da propriedade “Cabo” nativa dos programas de cálculo.

A modelação é feita para a geometria pretendida para a estrutura quando carregada pelo peso próprio e não a inicial sem cargas. Isto obriga a uma atenção particular na limitação de deformações, de modo a que em condições de serviço não haja uma alteração substancial da geometria em relação à inicialmente definida.

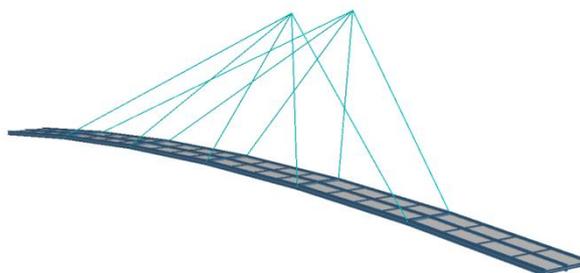


Figura 7 - Modelo utilizado para a verificação da estrutura no programa STAAD.Pro

É ainda de salientar que para o estudo do comportamento global da estrutura se separa a estrutura principal dos pilares que a suportam. Esta simplificação do modelo obriga a que no dimensionamento dos pilares se tenha especial atenção aos deslocamentos que estes apresentam, sendo necessário limitá-los de forma a não afectar o desempenho da estrutura como um todo.

PROCESSO CONSTRUTIVO

O processo construtivo é condicionado pela sua exequibilidade, pela segurança na execução da obra, pelo tempo de execução previsto e pela economia de recursos e materiais. Tratando-se o presente estudo de uma ponte pedonal suspensa, opta-se pela construção por avanços sucessivos. Por se tratar de uma estrutura leve, não são necessários grandes elementos de suporte e escoramento, e ao recorrer a avanços sucessivos é possível garantir que a estrutura suporte o seu próprio peso durante as principais fases da construção. A construção por avanços sucessivos permite ainda minimizar os períodos de interrupção de trânsito na Via Estruturante.

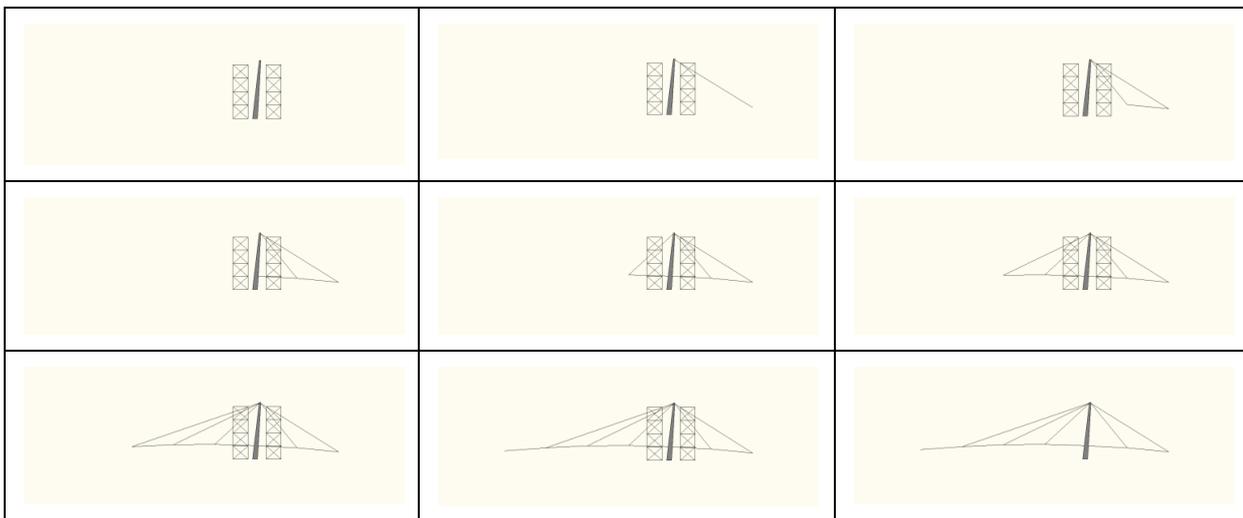


Figura 8 - Processo construtivo

A construção da ponte inicia-se com a regularização do terreno em ambos os encontros, seguindo-se a execução das ancoragens e das fundações. De seguida, os pilares podem ser posicionados com o auxílio de gruas, devendo ser devidamente escorados para garantir a sua estabilidade. Após a instalação dos pilares é possível fazer a ligação destes às ancoragens através dos cabos especificados. São então executados os encontros do tabuleiro e de seguida é possível avançar com a colocação dos módulos da grelha do tabuleiro iniciando pelo extremo Sul até se atingir o extremo Norte.

Dependendo da capacidade de alocação de recursos para a construção, certas etapas podem ocorrer simultaneamente com a montagem da estrutura ou podem suceder-lhe. É o caso da construção dos acessos à ponte e da colocação do pavimento. Com a colocação de guardas e restantes acabamentos dá-se por terminada a construção da estrutura.

ESTIMATIVA ORÇAMENTAL

O custo de construção da estrutura em estudo pode ser estimado com base nos custos directos associados às quantidades de materiais. O custo global é estimado em aproximadamente 357 000 € (trezentos e cinquenta e sete mil euros), cerca de 1 190 € / m².

BIBLIOGRAFIA

Strasky, Jiri. 2005. Stress Ribbon and Cable-Supported Pedestrian Bridges. *London: Thomas Telford Ltd, 2005.*