

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

CONCEPÇÃO DE SOLUÇÕES DE ATRAVESSAMENTO

Neste trabalho é proposto o atravessamento do rio Douro pelo metro ligeiro do Porto utilizando a existente Ponte da Arrábida. Nesse sentido, são analisadas diversas soluções com recurso a vias de circulação do metro sobre o tabuleiro existente ou em nova estrutura inferior a acrescentar à ponte. Na ponderação de ambas as soluções são tidos em conta critérios de funcionalidade, custo, exequibilidade, impacto visual na envolvente e respeito pelo património actual da ponte. O método de comparação entre soluções é o seu desenho rigoroso, tanto a nível global utilizando modelos virtuais tridimensionais, como ao nível da secção transversal.

1. Circulação do metro sobre o tabuleiro existente:

Para esta solução o factor determinante é a largura disponível para colocação das vias de metro. Actualmente, a Ponte da Arrábida possui um perfil com 2x3 vias de trânsito rodoviário com 3m de largura cada, um separador central com 1m de largura e dois passeios para peões com 2,60m, perfazendo um total de 25m (ver Peças Desenhadas). A restante largura está ocupada com as vigas de bordadura dos passeios e guarda-corpos. As soluções analisadas pressupõem a manutenção da largura actual do tabuleiro no sentido de minimizar as alterações na estrutura existente. Relativamente à circulação rodoviária, impõe-se como requisito manter a largura mínima por via de 3m, colocando-se como hipóteses de traçado 2x3 ou 2x2 vias de trânsito.

Atendendo às rígidas restrições ao nível de largura para trânsito rodoviário e de metro ligeiro, além dos parâmetros referidos anteriormente, consideram-se apenas as seguintes soluções como viáveis:

- 2 vias de metro ligeiro + 2x2 vias rodoviárias (ver Peças Desenhadas)
- 1 via reversível de metro ligeiro + 2x3 vias rodoviárias (figura 1)

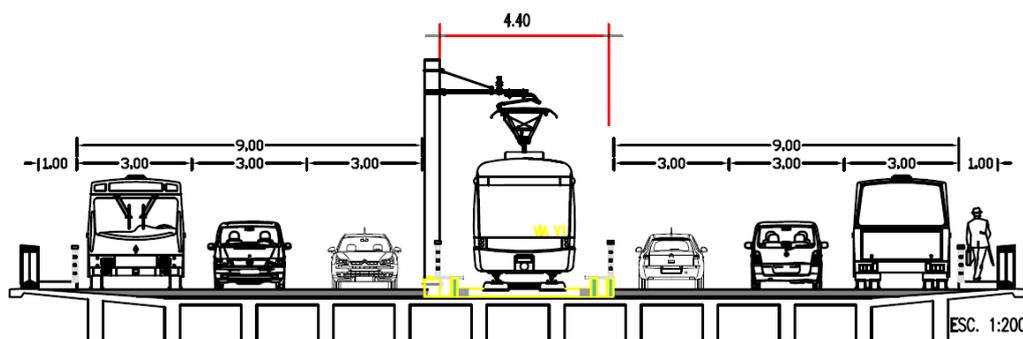


Fig.1 – Secção transversal do tabuleiro com 1 via de metro reversível + 2x3 vias rodoviárias (solução não adoptada)

De um modo geral, qualquer solução de circulação do metro sobre o tabuleiro existente apresenta como principais inconvenientes a colocação das vias de metro demasiado próximas de uma via rodoviária com perfil de auto-estrada, a necessidade de construção de um túnel, após o trajecto em ponte, numa extensão demasiado reduzida e sob a Via de Cintura Interna, e o impacto visual associado à infra-estrutura de apoio ao metro. Além destas desvantagens, realça-se também o aumento da solicitação sobre uma estrutura praticamente com 50 anos. Como vantagens destacam-se o baixo custo e a manutenção quase total da imagem actual da Ponte da Arrábida.

No aspecto operacional, estas duas soluções apresentam limitações incontornáveis. A solução a) implica a supressão de uma via de trânsito em cada sentido, o que, na conjuntura actual, não apresenta argumentos a favor, contribuindo para agravar os constantes problemas de fluidez de tráfego automóvel desta ligação entre os dois concelhos. A solução b) apresenta os problemas operacionais associados à circulação do metro em via simples reversível. A frequência de circulação encontrar-se-ia limitada pelas manobras de cruzamento e tempo de atravessamento da ponte, existiria a possibilidade de bloqueio total da linha em caso de avaria do veículo ou da própria linha, e o risco inerente a uma colisão frontal dos veículos. Outro aspecto importante é o agravamento da situação actual dos passeios para peões, de largura reduzida, que não transmitem ao utilizador a segurança necessária. Atendendo a que esta solução oferece uma largura de 1m em cada passeio, representaria uma utilização indicada apenas para situações de emergência.

2. Circulação em passagem inferior (figura 2):

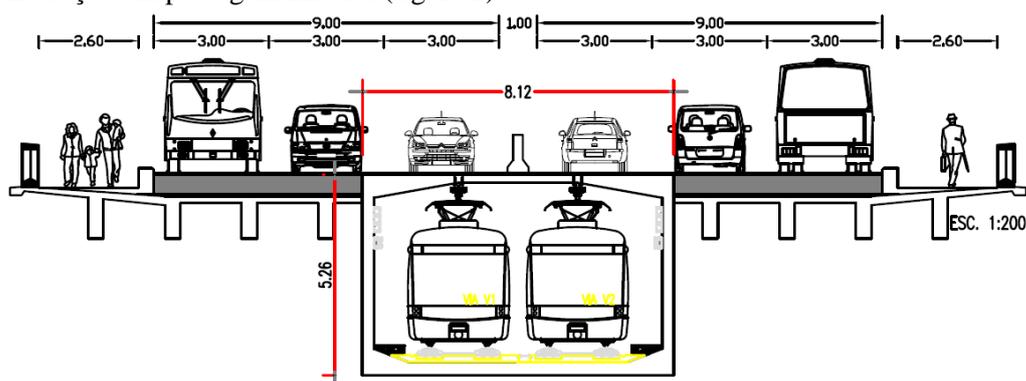


Fig.2 – Secção transversal do tabuleiro com 2 vias de metro + 2x3 vias rodoviárias (solução adoptada)

Esta opção permite a criação de duas vias de circulação de metro ligeiro completamente segregadas do tráfego rodoviário, apresentando assim vantagens operacionais e de segurança. Viabiliza também acessos mais eficazes do metro, no sentido em que é possível desviar a sua via antes dos actuais encontros da ponte, evitando a construção de túneis. O actual perfil rodoviário e pedonal da ponte é mantido, existindo a flexibilidade para no futuro se proceder a uma supressão de vias de trânsito rodoviário para reconstrução das vias para ciclistas e alargamento dos passeios pedonais existentes, devolvendo à cidade o cariz urbano e original da Ponte da Arrábida. Como desvantagens, realçam-se as alterações estruturais ostensíveis de impacto visual significativo, o custo inerente à construção do novo tabuleiro inferior e restantes alterações estruturais, incluindo novos pilares e fundações, adaptação do arco, pilastras e pórticos das pilastras.

Apesar dos inconvenientes referidos, a opção por um tabuleiro inferior é considerada a mais indicada. Não apresenta qualquer limitação operacional, não aumenta as solicitações sobre a estrutura existente, e permite obter uma solução de impacto visual moderado. No que concerne aos custos, a curto prazo é mais exigente que a opção de utilização do tabuleiro existente, mas as vantagens logísticas e de solicitação à estrutura existente superam, a longo prazo, este impacto negativo.

Para a nova estrutura inferior ao tabuleiro existente foram equacionadas no total cinco soluções, nomeadamente uma opção com um novo tabuleiro totalmente em laje vigada, duas opções mistas com viga caixão e laje vigada e, por último, duas soluções totalmente em viga caixão. No sentido de confundir-se o tabuleiro existente com um novo para circulação do metro ligeiro, opta-se pela utilização em toda a extensão longitudinal de uma viga caixão estruturalmente muito rígida, paralela

ao actual tabuleiro e parcialmente envolvida no mesmo (ver figuras 5 e 6). Tal escolha envolve a demolição de uma faixa central do tabuleiro existente praticamente em toda a extensão da ponte, afastando-se as vias de metro da implantação actual da ponte após o cruzamento das pilastras. Consequentemente, é mantida uma uniformidade visual na parcela nobre da ponte, permitindo-se alterações visualmente menos harmoniosas nas zonas em viaduto.

A viga caixão do novo tabuleiro possui algum relevo inferiormente ao tabuleiro existente. Isto conduz a um aumento aparente da rigidez da ponte, perdendo-se alguma da sua esbelteza característica. Contudo, contrapondo este aumento às dimensões totais da ponte, a dimensão transversal reduzida da viga caixão e a maior importância do arco como elemento definidor desta ponte, considera-se que este impacto não é muito significativo. Como medida mitigadora propõe-se a utilização de uma coloração ligeiramente mais escura para a nova estrutura, em tom cinzento, tornando menos visíveis as alterações implementadas ao nível do tabuleiro.

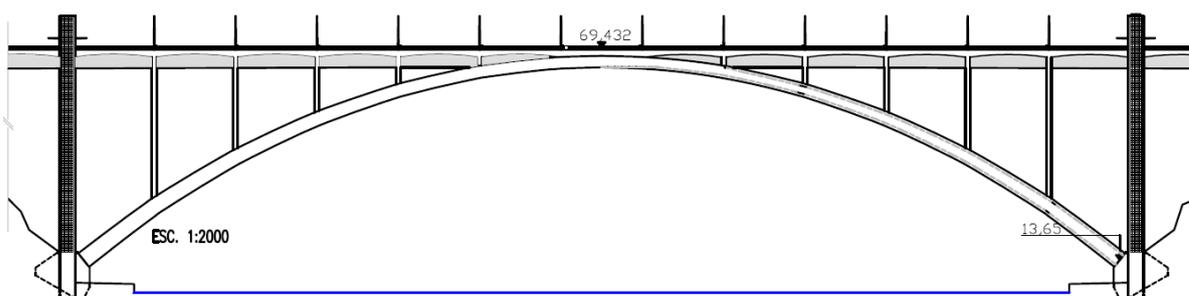


Fig.5 – Alçado da solução em viga caixão (solução adoptada)

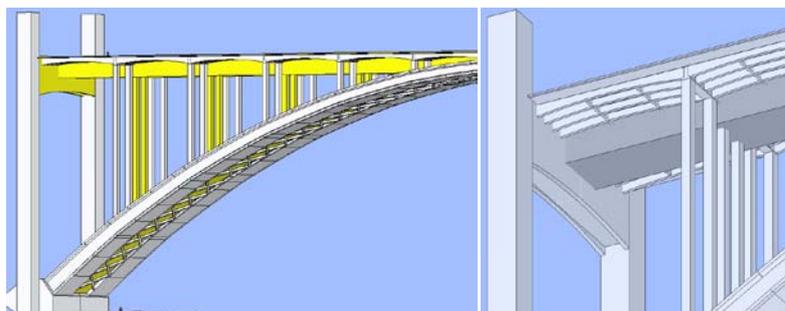


Fig.6 – Vistas da solução em viga caixão (solução adoptada)

Escolhida a solução para o novo tabuleiro em viga caixão é necessário compatibilizar a restante estrutura. O incremento de carga inviabiliza a utilização do arco existente, sem reforço, para suporte dos novos elementos. Atendendo à dificuldade de execução de um reforço por métodos convencionais, a opção recai pelo reforço aparente, ou seja, é proposta a construção de um novo arco em betão armado (figura 7), entre contraventamentos longitudinais, de altura reduzida, desligado visualmente do arco existente. Isto permite a manutenção dos actuais contraventamentos longitudinais, em cruz de Santo André. O impacto visual mais desfavorável resulta da opacidade criada na zona de central, entre “costelas”. Considera-se, no entanto, que este impacto não é muito significativo, uma vez que não é visível para quem se encontre ligeiramente afastado da ponte. Como medida mitigadora é sugerida a utilização de uma coloração mais escura, em tom cinzento, para que o novo arco se assemelhe a uma sombra da restante estrutura. De realçar o facto de o mesmo método ter sido proposto para a viga caixão, mantendo-se a uniformidade visual nos novos elementos estruturais.

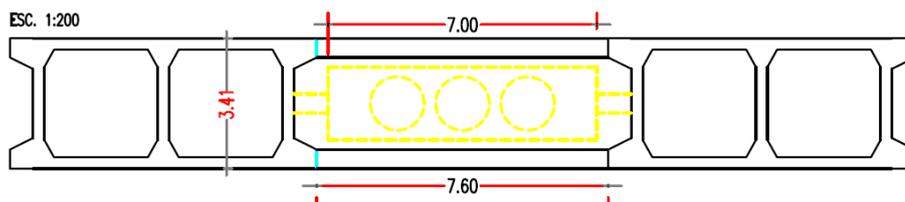


Fig.7 – Solução de reforço do arco existente com recurso a um arco adicional

IDENTIFICAÇÃO DE CONDICIONANTES DE PROJECTO

Para implantação da nova estrutura são respeitados os critérios de traçado do Metro do Porto, compatibilizando os vãos disponíveis na estrutura existente com a colocação dos novos elementos. A análise transversal incide sobre o cumprimento das dimensões impostas nos Critérios de Projecto. Estas resultam de diversos factores, tais como tipo de via, adoptando-se a via betonada, alinhamento recto ou curvo, tipo de catenária, optando-se por catenária rígida, e caminhos de evacuação, respeitando a largura mínima de 0,80m. A análise longitudinal versa sobre o traçado em planta e em perfil longitudinal. Em planta o traçado é definido por alinhamentos rectos, clotóides de transição e curvas circulares, enquanto em perfil o traçado é composto por traineis e concordâncias verticais.

A estrutura existente cria limitações à solução a adoptar no que respeita à secção transversal, principalmente na zona do fecho do arco, e em perfil longitudinal, nas curvas dos viadutos. Na figura 8 encontra-se representado um corte da secção transversal proposta na zona de fecho do arco. A colocação da viga caixão nesta secção obriga à demolição de parte do tabuleiro e da totalidade dos contraventamentos. A compatibilização da altura exigida para a viga caixão com a restrição de não ultrapassar inferiormente o plano exterior do arco existente conduz a que o topo do novo tabuleiro se encontre em toda a sua extensão 0,51m acima do topo do tabuleiro existente. O impacto visual causado por este facto é anulado pela guarda existente no passeio de peões, bloqueando a visão das alterações. Para fazer face a este desnível recorre-se a um enchimento de betão aligeirado com granulado de poliestireno expandido (EPS) aplicado na área restante das vias rodoviárias.

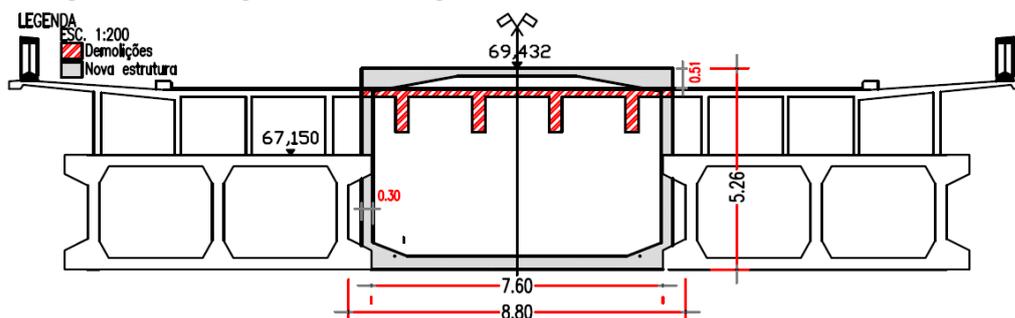


Fig.8 – Corte transversal na zona do fecho do arco – estrutura existente e projectada

IMPLANTAÇÃO DA NOVA ESTRUTURA

Comparativamente com a estrutura existente, a nova estrutura mantém o alinhamento em planta e em perfil longitudinal na zona sobre o rio, diferindo apenas sobre as encostas. O traçado proposto encontra-se esboçado na imagem de satélite da figura 9 e nas Peças Desenhadas. A nova estrutura é implantada sob o tabuleiro existente na zona do rio, requerendo especial atenção sobre as encostas, tanto em planta como em perfil. Nestas zonas procura-se manter o gabarito mínimo relativamente às vias rodoviárias inferiores, sem necessitar de efectuar alterações nas mesmas. Também se procura implementar um traçado coordenado com os programas de desenvolvimento da rede do Metro do Porto, no sentido de orientar os acessos para os locais previstos de implementação das novas linhas.

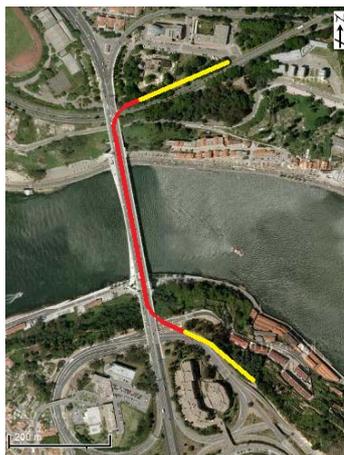


Fig.9 – Traçado sugerido para a nova estrutura (vermelho) e acessos (amarelo)

DIMENSÕES PRINCIPAIS

A nova estrutura consiste numa ponte em arco de betão armado contraventada parcialmente na ponte existente. Estruturalmente possui um tabuleiro em viga caixão muito rígido, apoiado sobre um arco esbelto, do tipo lâmina, muito flexível. Na parcela em viaduto sobre as encostas é utilizado o mesmo tabuleiro em viga caixão, apoiado em pilares assentes em fundações superficiais.

O novo arco de betão armado segue a directriz do arco existente e possui secção transversal de altura variável, diminuindo dos encontros para o fecho. A sua variação segue a mesma lei do arco existente, permitindo que o novo arco se encontre a uma distância constante do arco e dos contraventamentos longitudinais existentes. A distância entre as faces exteriores do novo arco e as faces exteriores do arco existente é 1,50m (figura 7). A secção do novo arco é rectangular, contendo três aligeiramentos circulares de secção constante ao longo do desenvolvimento do arco. Possui largura fixa de 7,00m e altura variável desde 3,00m até 1,82m, na zona onde se funde com a viga caixão.

O tabuleiro, em viga caixão, possui secção transversal constante. As dimensões do caixão são consequência das fortes condicionantes espaciais referidas nas secções anteriores. Ambos os banzos da viga caixão possuem espessura variável: o banzo inferior, de suporte à circulação do metro, entre 0,70m na união com as almas e 0,35m a meio-vão; o banzo superior, de suporte às vias rodoviárias, entre 0,60m e 0,20m a meio-vão. O formato adoptado para a secção transversal tem em consideração a localização dos veículos do metro, no sentido de explorar ao máximo o espaço disponível. Desta forma, a “laje” (banzo) superior possui uma variação de altura mais suave que a “laje” (banzo) inferior, consequência das restrições causadas pela via de circulação do metro. As “paredes” (almas) da viga possuem 0,30m de espessura mínima, para uma altura de 3,96m, sendo muito esbeltas. Tal relação é válida por estas se encontrarem contraventadas pelo tabuleiro existente. Actualmente figuram, por cada plano de pilares, dois conjuntos de dois pilares, descarregando cada conjunto numa “costela” do arco. Na nova estrutura opta-se por adicionar outro conjunto de dois pilares, ligando o novo arco ao novo tabuleiro (ver Peças Desenhadas). A distância entre os pilares existentes e os novos é de 1,00m, e o espaçamento entre estes é igual ao espaçamento dos pilares existentes, 4,40m.

A construção do novo tabuleiro cruzando o local onde se encontra o pórtico das pilastras obriga à sua demolição e posterior reconstrução numa cota inferior à actual. O novo pórtico possui secção de largura exterior igual ao actual pórtico, 4,00m. Contudo, a espessura das paredes é superior e a altura varia entre 4,00m nos apoios e 3,00m a meio-vão. Estas alterações não representam um impacto visual muito significativo, conforme é possível observar nas Peças Desenhadas.



Fig.9 – Fotomontagem com o modelo virtual tridimensional da solução proposta

PROCESSO CONSTRUTIVO

O processo construtivo a adotar envolve alguma complexidade, consequência principalmente de dois factores: a proximidade e a utilização parcial da estrutura existente, e a betonagem do novo arco utilizando o actual como cimbria. Apesar de os factores supracitados contribuírem para as características singulares desta construção, eliminando a possibilidade de recurso a métodos construtivos convencionais, colaboram igualmente para a diminuição do tempo de construção, meios necessários e custos. O processo construtivo é do tipo tramo a tramo, com o auxílio de cavaletes apoiados no solo, nas zonas em viaduto. Na zona em arco é utilizado o arco existente como cimbria para o novo arco. Posteriormente, a construção do novo tabuleiro sobre o arco é efectuada com recurso a um cavalete apoiado neste. A opção pela utilização de cavaletes como tecnologia de suporte é justificável pelos vãos moderados (18m-26m) e, essencialmente, porque o trabalho tem de ser efectuado com suporte inferior, uma vez que não se prevê que o tabuleiro existente tenha capacidade resistente para ser utilizado como estrutura de suporte. Todavia, a betonagem dos elementos pode ser efectuada a partir do tabuleiro existente, evitando a necessidade de bombagem, assim como o transporte de trabalhadores e restantes materiais. Devido ao controlo de tensões, a betonagem do novo arco tem de ser efectuada simultaneamente nos dois lados, resultando em duas frentes activas. Para melhor distribuição dos esforços, também as restantes etapas sobre o arco devem ser efectuadas simultaneamente nos dois lados, de forma simétrica.

ESTIMATIVA ORÇAMENTAL

O custo global da obra estima-se em 6.750.000 €. Este valor é obtido pelo somatório das parcelas representadas nos gráficos seguintes.

