

PONTES FERROVIÁRIAS DO TROÇO FREIXO / ALANDROAL DA LINHA DE ÉVORA

Manuel Pera Fernandes ¹ e Gonçalo Fernandes ²

¹ Eng.º Civil, PROFICO – Consultores de Engenharia, SA; e-mail: mpera@profico.pt; www.profico.pt

² Eng.º Civil, PROFICO – Consultores de Engenharia, SA; e-mail: gfernandes@profico.pt; www.profico.pt

Sumário

O artigo aborda a conceção geral e dimensionamento de um conjunto de dez pontes e viadutos ferroviários, recentemente concluídos, na nova Linha de Évora, com especial enfoque nos aspetos ligados à interação via-tabuleiro e à absorção das forças horizontais.

As pontes apresentam comprimentos variáveis entre 69.0 e 664.0m, e alturas ao solo entre 5.2m e 26.0m, com características diversas que obrigaram a abordagens distintas, tendo em conta o requisito estabelecido pelo dono de obra de limitar ao máximo o recurso a aparelhos de dilatação de via (ADV), garantido o cumprimento dos critérios de limitação de tensões na superestrutura ferroviária definidos na EN1991-2.

Palavras-chave: interação via-tabuleiro; pontes ferroviárias; dispositivos oleodinâmicos

1. INTRODUÇÃO E ÂMBITO

As pontes em análise situam-se no troço Freixo / Alandroal, da nova Ligação Ferroviária entre Évora Norte e Elvas / Caia, designada por Linha de Évora. Esta ligação ferroviária tem uma extensão total de 78.3Kms e foi subdividida em 3 lotes: Troço Évora Norte / Freixo, com 20.5Kms, Troço Freixo / Alandroal, com 20.5Kms e Troço Alandroal / Linha do Leste, com 37.3Kms. A ligação engloba um total de 29 viadutos e pontes ferroviárias, perfazendo uma extensão total de 12.1Km.

Neste artigo aborda-se a conceção geral e dimensionamento das 10 pontes e viadutos ferroviários integrados na empreitada do Troço Freixo / Alandroal da nova Linha de Évora, com um particular enfoque nos aspetos ligados à interação via-tabuleiro e na absorção das forças horizontais devidas à frenagem e ação sísmica. As pontes apresentam comprimentos variáveis entre 69.0 e 664.0m, e alturas ao solo entre 5.2m e 26.0m

As obras foram iniciadas em setembro de 2019, prevendo-se a sua conclusão em abril de 2022. A empresa responsável pela construção foi a empresa adjudicatária deste troço: MOTA-ENGIL, Engenharia e Construção, S.A. Os projetos dos viadutos e pontes, bem como das passagens superiores e restabelecimentos associados, foram desenvolvidos pelo consórcio Profico / Fulcrum / Geoárea.

A conceção geral da solução estrutural resultou de uma ponderação para cada caso de todos os condicionamentos existentes, assumindo, no entanto, particular relevância a limitação de altura nos encontros, a não colocação de aterros sobre os leitos de cheia, a presença de linhas de água e vias de comunicação mais importantes e também os aspetos relacionados com a interação via-tabuleiro, nomeadamente o requisito estabelecido pelo Dono de Obra de limitar ao máximo o recurso a aparelhos de dilatação de via (ADV).

2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

Seguidamente apresentam-se os principais condicionamentos envolvidos na conceção das obras e a medida em que cada condicionamento influencia essa mesma conceção.

Numa via de comunicação, seja rodoviária ou ferroviária, a necessidade de executar uma ponte ou “obra de arte” é ditada por dois fatores: transposição de um curso de água com alguma importância e transposição de vales com alturas ao solo elevadas, acima dos valores admissíveis para a execução de um aterro. No presente caso, as linhas de água a transpor por obra de arte estavam já claramente identificadas em estudos anteriores. Para os vales com aterros elevados, foi feito um estudo caso a caso pelo consórcio projetista responsável pela via-férrea, sendo que, em geral, se limitou a altura dos aterros a cerca de 20m.

Estabelecida a necessidade da ponte, a sua extensão é condicionada pelo requisito ambiental de não ocupação dos leitos de cheia das linhas de água atravessadas e pelo critério de limitação da altura livre dos encontros a 10m, de forma a garantir adequadas condições de funcionamento na transição entre o aterro e a ponte.

A modelação de vãos depende da altura ao solo, das dimensões e posicionamento dos obstáculos a transpor e dos aspetos ligados à interação via-tabuleiro.

Numa ponte ferroviária, os aspetos ligados à interação via-tabuleiro têm uma importância fundamental na conceção estrutural. Existe o requisito principal de evitar, sempre que possível, o recurso a aparelhos de dilatação ao nível da superestrutura de via (ADV), e, quando não seja possível dispensá-los, de limitar o seu número e os deslocamentos a acomodar nos mesmos. Estes aspetos são descritos de forma mais detalhada no capítulo 3.2.

Do ponto de vista ferroviário, o objetivo final desta infraestrutura consiste em dimensionar uma via dupla, para tráfego misto, com velocidades de 250Km/h para tráfego de passageiros e 120Km/h para tráfego de mercadorias, com bitola Ibérica, mas com travessas polivalentes. Em fase inicial do estudo, o dono de obra entendeu fasear o empreendimento no domínio dos viadutos e pontes, executando nesta empreitada apenas tabuleiro para via única, mas prevendo desde já encontros para via dupla e sapatas e arranques dos pilares para o futuro tabuleiro da duplicação da linha. Para facilitar a futura execução do segundo tabuleiro, foi prevista uma entrevia de 5m.

Em fase de fixação de soluções, foram equacionadas diversas alternativas para o tabuleiro, nomeadamente, pré-fabricação em betão e soluções mistas aço-betão, tendo a opção do dono de obra recaído por soluções in-situ em betão armado pré-esforçado. Nos viadutos com menor altura, os aspetos ligados à interação via-tabuleiro, aconselham à consideração de vãos curtos, sempre que possível monolíticos com o tabuleiro, de forma a limitar a deformabilidade e equilibrar os esforços face a ações horizontais. É o caso geral dos viadutos deste troço, com vãos entre os 25 e os 33m, nos quais se optou por soluções em nervura única, maciça, já que, tendo em conta a necessidade de garantir a futura duplicação do tabuleiro, o espaço era escasso para soluções com duas nervuras ou vigas.

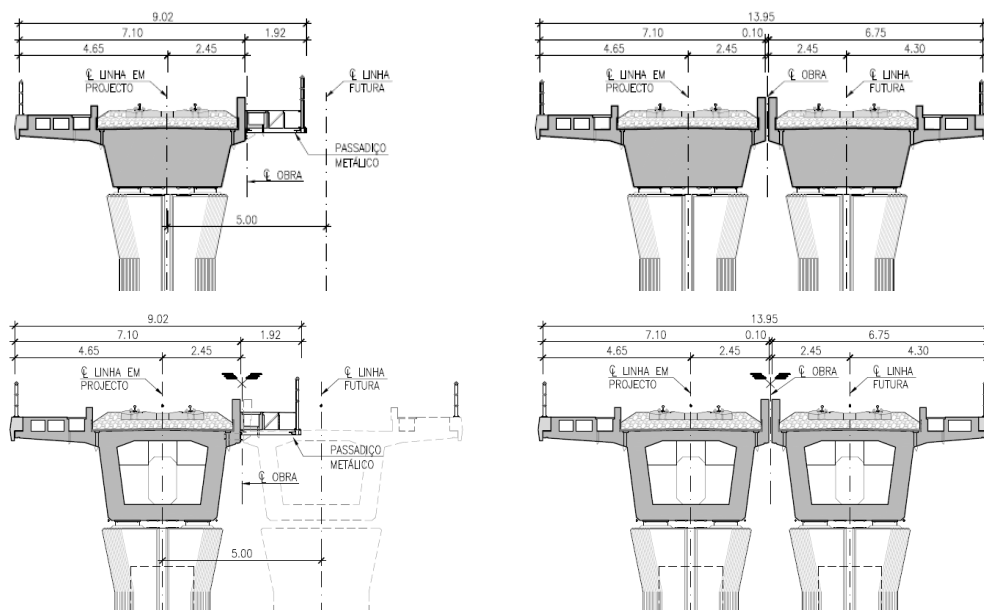


Fig. 1. Secções transversais tipo (em cima para pontes até 33m de vão; em baixo para a Ponte do Lucefece, com 40m de vão; do lado esquerdo, obras já executadas; do lado direito configuração após futura duplicação)

Equacionou-se o aligeiramento da secção no vão, mas, sendo possível apenas a consideração de um vazamento, concluiu-se que as vantagens que traria, ao nível da diminuição do consumo do betão e do peso, não compensaria as cofragens perdidas que seriam necessárias e a maior complexidade ao nível das armaduras ativas e passivas.

No caso da Ponte do Lucefece em que a modelação de vãos aconselhou um vão corrente de 40m, foi considerado mais adequada uma solução de tabuleiro em caixão de betão armado pré-esforçado.

Em termos construtivos, há condicionamentos a atender relacionados com a proximidade de infraestruturas existentes, vias rodoviárias em serviço, transposição de rios ou outra linhas de água, ou resultantes da geometria da própria obra, respetiva altura ao solo ou outros aspetos, sendo a sua consideração fundamental na conceção das obras. As alturas ao solo destas pontes podem ser consideradas moderadas, não excedendo os 25m, sendo possível a adoção de sistemas de cimbres apoiados no terreno, podendo ser contínuos, ou discretos, através de asnas metálicas.

3. DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

3.1. Conceção Geral

Tendo em conta o resumo dos condicionamentos apresentado no capítulo anterior, a conceção de cada obra é feita tendo por base os condicionamentos específicos de cada uma, mas adotando uma perspetiva de garantir alguma uniformização que favoreça a otimização de meios em fase de obra. Para as pontes com altura reduzida, foi definida uma métrica de vãos de 25m, a qual se considerou que poderia ser aplicável a diversas obras, conforme se mostra no quadro 1. No caso da Ponte de São Bento, as características do leito da ribeira existente, e da zona envolvente, obrigaram à adoção de vãos ligeiramente superiores, de 28m. Caso semelhante ocorreu para a ponte da Seca, onde foi necessário adotar um vão de 33m, não relacionado com a altura ao solo, mas com o enviesamento da linha de água.

Para viadutos com maior altura, foram adotados vãos de 30m e 33m. Apenas no caso da Ponte do Lucefece foi adotado um vão superior, de 40m, em resultado da configuração da ribeira, do posicionamento excêntrico da mesma no vale, face ao encontro E2.

No quadro 1 apresentam-se as características principais de cada uma das pontes, sendo apresentada a extensão e altura máxima de cada ponte, a modelação de vãos, a secção tipo adotada, o tipo de dispositivos oleodinâmicos para fixação horizontal do tabuleiro, o esquema estrutural e os aparelhos de dilatação de via (ADV) necessários em cada obra.

Quadro 1. Características principais das pontes

Designação	Caracterização Geométrica		Caracterização Estrutural				Via
	Extensão (m)	Altura Máxima (m)	Vãos	Secção tipo	Tipo Dispositivos Oleodinâmicos	Esquema Estrutural	AD
Viaduto das Covas	69.0	8.5	22+25+22	Laje nervurada h=1,80m	-	Contínuo fixo nos pilares	Sem ADV
Ponte de São Bento	168.0	5.2	18+24+3x28+24+18	Laje nervurada h=2,00m	-	Contínuo fixo nos pilares	Sem ADV
Ponte do Calado	309.8	11.0	(22+2x25+22)+1.4+(22+3x25+22)+1.4+(22+2x25+22)	Laje nervurada h=1,80m	-	Seccionado em 3 troços (94+119+94), fixo nos pilares	Sem ADV
Ponte da Seca	148.0	9.2	21+3x33+28	Laje nervurada h=2,40m	-	Contínuo fixo nos pilares	Sem ADV
Viaduto do Barranco dos Pegões	521.0	19.4	(22+25+22)+1.4+(22+2x25+22)+1.4+(22+2x25+22)+1.4+(22+2x25+22)+1.4+(22+2x25+22)+1.4+(22+25+22)	Laje nervurada h=1,80m	-	Seccionado 6 troços fixo nos pilares, c/ pilares inclinados em 2 vãos	Sem ADV
Viaduto do Barranco dos Galvões	309.8	20.7	(22+3x25+22)+1.4+(22+3x25+22)+1.4+(22+25+22)	Laje nervurada h=1,80m	-	Seccionado 3 troços fixo nos pilares, c/ pilares inclinados em 2 vãos	Sem ADV
Ponte do Lucefece	664.0	25.7	32+15x40+32	Caixão h=2,80m	E1- FVD E2- PSD	Contínuo fixo com BO nos encontros e com AD no E1	Com ADV no E1 em reta
Viaduto da Retorta	404.0	23.0	22+12x30+22	Laje nervurada h=2,20m	E1- FVD E2- PSD	Contínuo fixo no E2 com ADV no E1	1 ADV no E1
Viaduto dos Penedrais	614.0	24.0	22+19x30+22	Laje nervurada h=2,20m	E1- FVD E2- FVD	Contínuo fixo nos pilares e com ST, com 2 ADV nos 2 encontros	ADV nos 2 encontros
Ponte das Gordesas	512.0	26.0	25+14x33+25	Laje nervurada h=2,40m	E1- PSD E2- FVD	Contínuo fixo no E1 com ADV no E2	1 ADV no E2

Conforme se pode observar no quadro 1, foi possível dispensar ADV nas primeiras seis pontes, apesar de, em alguns casos, terem alturas ao solo elevadas e grandes extensões. Nas restantes pontes, a extensão da obra associada à elevada altura ao solo, impôs a necessidade de se preverem ADV num ou nos dois encontros e dispositivos oleodinâmicos para absorver as ações horizontais longitudinais. No capítulo seguinte apresenta-se a justificação para estas soluções adotadas.

Na figura 2 apresentam-se os alçados esquemáticos de algumas das pontes do troço, exemplificando as soluções adotadas para responder aos requisitos da interação via-tabuleiro que se descrevem no capítulo seguinte. Nos viadutos mais extensos, nomeadamente na Ponte do Calado, no Viaduto do Barranco dos Galvões e no Viaduto do Barranco dos Pegões, na linha de cotagem intermédia apresentam-se comprimentos de troços monolíticos, entre juntas de dilatação do tabuleiro, sendo a via contínua, sem ADV.

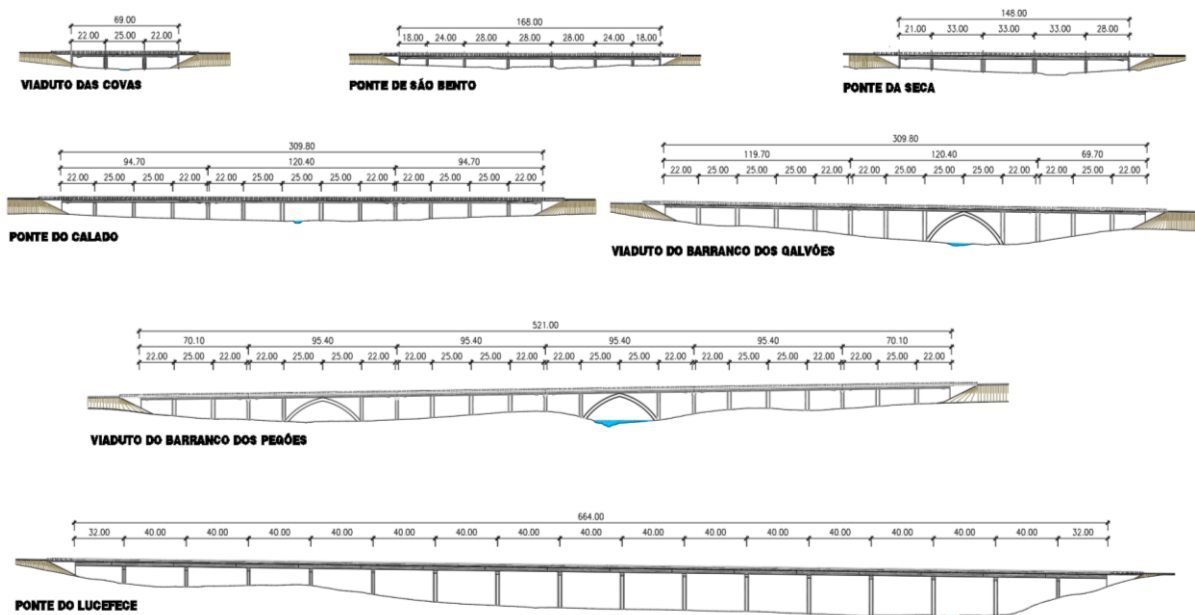


Fig. 2: Configuração de vãos de algumas das obras executadas

3.2. Soluções e Interação Via-Tabuleiro

A ficha UIC 774-3R e a EN 1991-2 apresentam recomendações para o cálculo da interação via tabuleiro, de forma a controlar a tensão máxima e mínima nos carris e deslocamentos relativos entre elementos, tendo em conta a interação carril/balastro/tabuleiro.

Na conceção das estruturas deverá limitar-se o número de juntas de dilatação a inserir no carril sobre a obra de arte, procurando, sempre que possível, dispensar a adoção de aparelhos de dilatação de via, de maneira minimizar custos de manutenção. Nos pontos abaixo são resumidas as verificações a elaborar consoante adoção ou não de juntas na via:

- Carril Contínuo Sobre a Obra de Arte – CWR (sem juntas na via):
 - Tensão máxima de compressão nos carris de 72 MPa para a ação conjunta da sobrecarga ferroviária vertical, arranque/frenagem e variação uniforme de temperatura;
 - Tensão máxima de tração nos carris de 92 MPa para a ação conjunta da sobrecarga ferroviária vertical, arranque/frenagem e variação uniforme de temperatura;
 - Deslocamento horizontal máximo relativo entre o tabuleiro e o carril de 4mm, para a ação da frenagem/arranque;
 - Deslocamento horizontal máximo absoluto do tabuleiro de 5mm, para a ação da frenagem/arranque;

- Deslocamento máximo relativo entre o topo da extremidade do tabuleiro e o encontro ou entre o topo das extremidades de dois tabuleiros adjacentes de 8mm, para o carregamento vertical LM71 ou SW/0 (Caso não seja elaborado modelo de cálculo com interação via-tabuleiro, em que quer a via quer a estrutura são modeladas, este limite deverá ser inferior a 10mm);
- Carril Contínuo numa extremidade da Obra de Arte e com junta na via na outra extremidade:
 - Deslocamento horizontal máximo relativo entre o tabuleiro e o carril de 4mm, para a ação da frenagem/arranque;
 - Deslocamento horizontal máximo absoluto do tabuleiro de 5mm, para a ação da frenagem/arranque (na J.D. do tabuleiro com CWR);
 - Deslocamento máximo relativo entre o topo da extremidade do tabuleiro e o encontro ou entre o topo das extremidades de dois tabuleiros adjacentes de 8mm, para o carregamento vertical LM71 ou SW/0 (Caso não seja elaborado modelo de cálculo com interação via-tabuleiro, em que quer a via quer a estrutura são modeladas, este limite deverá ser inferior a 10mm);
 - Elevação máxima do topo do tabuleiro na extremidade onde se adota a junta de via de 3mm, de acordo com o ponto 3.2.2 da UIC 776-2R (via balastrada);
- Com adoção de juntas na via nas duas extremidades da Obra de Arte:
 - Deslocamento horizontal máximo absoluto do tabuleiro de 30mm, para a ação da frenagem/arranque;
 - Elevação máxima do topo do tabuleiro nas extremidades de 3mm, de acordo com o ponto 3.2.2 da UIC 776-2R (via balastrada);

A possibilidade de colocação de juntas na via, é condicionada pelo traçado ferroviário, pois não devem ser colocadas em curvas de concordância vertical, ou na sua proximidade, nem em curvas de transição em planta.

A análise da interação via/tabuleiro, é efetuada com recurso a modelos de cálculo em que a estrutura se modela com discretização dos vários elementos que a constituem através de elementos de barra, tais como as estacas (caso existam), maciço de estacas, pilares e tabuleiro, em interação com a modelação dos carris através de elementos de barra. Os carris e o tabuleiro são ligados através de elementos “NLink” que simulam o comportamento não linear do balastro, assegurando a transmissão de cargas entre os carris e o tabuleiro. Através deste modelo obtêm-se as tensões no carril e deslocamentos na estrutura para as ações definidas neste tipo de análise.

Na concepção estrutural e pré-dimensionamento das várias obras, os deslocamentos horizontais são restringidos aos seus limites, sempre que possível, através dos pilares, ou em alternativa através da colocação de bloqueadores oleodinâmicos ou através de amarração aos encontros através de sistema de barras metálicas de alta resistência pré-esforçadas, sendo a verificação de limitação dos deslocamentos conciliada com a verificação de tensões transmitidas ao carril.

Seguidamente descrevem-se os tipos de soluções possíveis para fazer face aos requisitos apresentados e as pontes deste troço em que cada tipo de solução foi considerado.

Solução 1 – Pontes com extensão moderada

A experiência em cálculos de interação via-tabuleiro dita que é possível dispensar aparelhos de dilatação de via, se os comprimentos dilatáveis das obras não excederem cerca de 90 a 100m. Isso significa que é possível prever uma ponte com tabuleiro monolítico se a extensão for da ordem dos 180m, com ponto fixo central, embora sejam possível, em algumas circunstâncias chegar aos 200m.

No presente caso, temos 3 pontes enquadradas nesta tipologia: Viaduto das Covas, com 69m, Ponte de São Bento, com 168m, e Ponte da Seca, com 148m. Tendo em conta a reduzida altura ao solo destas obras, fica muito facilitada a verificação de todos os requisitos da análise de interação via tabuleiro, nomeadamente do controle de tensões ao nível dos carris e de garantir a deformação máxima absoluta de 5mm para ação da frenagem sem penalizar demasiado os pilares.

Solução 2 – Pontes extensas, com altura ao solo reduzida

Em pontes extensas, mas com altura ao solo reduzida, é possível dispensar a utilização de ADV, segmentando o tabuleiro em troços mais curtos, com comprimentos dilatáveis entre 90 e 100m.

Neste projeto, o caso mais típico é o da Ponte do Calado, com 309.0m de extensão, em que o tabuleiro foi subdividido em três troços com extensões de 94.7, 120.4 e 94.7m. A análise de interação via-tabuleiro implica a modelação de toda a ponte e da superestrutura de via sobre a ponte e numa extensão de 300m para cada lado da mesma. A absorção das forças horizontais longitudinais devidas às diversas ações, incluindo frenagem e ação sísmica é garantida pelos pilares.

Da mesma forma se procedeu em mais duas pontes deste projeto:

- Ponte do Barranco dos Pegões, com 521m de extensão, cujo tabuleiro foi subdividido em seis troços monolíticos, os dois de extremidade com 69.7m e os quatro intermédios com 95.4m.
- Ponte do Barranco dos Galvões, com 309.8m de extensão, cujo tabuleiro foi subdividido em três troços monolíticos, com extensões de 119.7, 120.4 e 69.7m.

A particularidade destas duas pontes, é que possuem zonas com alturas elevadas, conduzindo a alturas teóricas de pilares até 23m. Para estas alturas, considerou-se não ser viável garantir, com pilares verticais, a absorção das forças horizontais devidas à frenagem ferroviária dentro dos limites de deformabilidade exigíveis. Em fase de fixação de soluções foram propostas duas alternativas para cada uma destas duas obras. Numa das alternativas, foi proposto considerar elementos inclinados, em forma de arco, nas zonas mais altas dos dois viadutos, sendo as forças horizontais absorvidas por esses elementos inclinados, com deformação praticamente nula. Para o caso da Ponte do Barranco dos Pegões, foi proposta uma segunda solução com pilares todos verticais, tabuleiro monolítico em toda a extensão do viaduto, com ligações monolíticas aos pilares centrais, dispositivos oleodinâmicos nas extremidades e ADV no encontro E2. Para a Ponte do Barranco dos Galvões foi proposta uma segunda solução que mantinha a subdivisão do tabuleiro em três troços, separados por juntas, mas ligados entre si e aos encontros com dispositivos oleodinâmicos, dispensando ADV. Em ambos os casos, o Dono de Obra optou, no nosso entendimento bem, pelas soluções em arco, uma vez que as mesmas dispensam ADV e dispositivos oleodinâmicos, equipamentos que necessitam de manutenção ao longo da vida útil.

Solução 3 – Pontes extensas, com altura ao solo elevada

Neste troço existem quatro pontes com elevada extensão, e alturas ao solo que se podem considerar elevadas, para os efeitos relacionados com a interação via-tabuleiro: Ponte do Lucefece, com 664m; Viaduto da Retorta, com 404m; Viaduto dos Penedrais, com 614m; e Ponte das Gordesas, com 512m. As soluções para estas obras podem ser ilustradas pelo alçado da Ponte do Lucefece apresentado na Figura 2.

Para estas pontes, verificou-se ser inviável a consideração de soluções sem ADV ao nível da via, pois o critério de limitação de deslocamentos para a frenagem obrigaria a pilares com dimensões fora da razoabilidade ou à consideração de sucessões de arcos que conduziriam a um forte incremento de custo.

Assim, a solução adotada consistiu na consideração de tabuleiros monolíticos em toda a extensão da ponte, assumindo a necessidade de prever juntas ao nível da superestrutura de via. As forças horizontais longitudinais devidas à frenagem e ação sísmica são transmitidas para os encontros através de dispositivos oleodinâmicos com amortecimento visco-elástico. Estes dispositivos seguem a seguinte lei constitutiva

$$F = F_0 + kx + CV^\alpha$$

Sendo:

F_0 a força da pré-carga inicial; K a rigidez da mola; x a deformação da mola

CV^α a relação força velocidade da resistência não-linear do dispositivo (C é a constante de amortecimento, V a velocidade e α o expoente de amortecimento).

Consideram-se dispositivos de dois tipos:

- PSD (“Preloaded Spring Damper”) - Estes dispositivos comportam-se como elementos fixos para as ações lentas (temperatura, retração, etc.), possuindo um comportamento dinâmico para as ações rápidas como a frenagem e sismos, após a ser ultrapassada a força de pré-carga. São constituídos por um amortecedor viscoso, no interior do qual é introduzida uma mola com uma determinada pré-carga (F_0). Esta pré-carga garante que, até ao valor limite de F_0 , a deformação axial do dispositivo é nula. Dada a existência de uma mola no

interior do PSD, consegue-se igualmente garantir o recentramento da estrutura uma vez que o funcionamento do dispositivo ocorre sempre em regime elástico (F_0+kx), vencendo o atrito dos aparelhos de apoio dos pilares. Complementarmente ao funcionamento elástico do PSD, este é dotado de capacidade de dissipação de energia (sob a forma de calor) através da limitação do fluxo do fluido no interior do dispositivo;

- FVD (“Fluid Viscous Dampers”) - Estes dispositivos permitem a deformação livre do tabuleiro para as ações lentas (ou seja $F_0=0$), funcionando como um amortecedor viscoso para ações rápidas, permitindo a dissipação de energia numa situação sísmica. Desse modo a sua lei constitutiva resume-se ao termo CV^α .

RELAÇÃO CONSTITUTIVA PARA CADA DISPOSITIVO

$$F=F_0+kx+CV^\alpha$$

Velocidade máx. -V (m/s)	0,4
Rigidez da mola - k (kN/mm)	25
Parâmetro Alfa - α	0,10
Curso máx. (mm)	± 75
Pré-carga - F_0 (kN)	4000
Constante de amortecimento - C (kN/(m/s))	3000
Força máx. (kN)	8489 kN

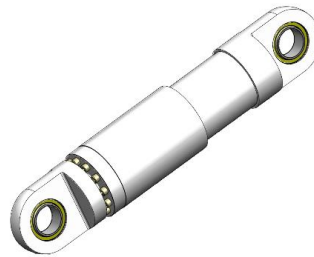


Fig. 3: Exemplo de propriedades dos PSD

RELAÇÃO CONSTITUTIVA PARA CADA DISPOSITIVO

$$F=C.V^\alpha$$

Constante de amortecimento - C (kN/(m/s))	3000
Força máx. (kN)	2870
Velocidade máx. -V (m/s)	0,4
Curso máx. (mm)	+220/-545
Parâmetro Alfa - α	0,05

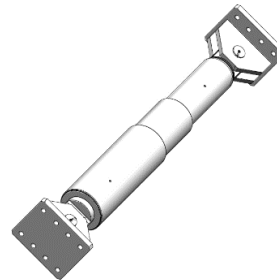


Fig. 4: Exemplo de propriedades dos FVD

O dimensionamento destes dispositivos foi feito através de uma análise “Time-History”, considerando a variação das ações no tempo, tanto para a ação sísmica como para a frenagem.

Para analisar a ação sísmica, foram gerados acelerogramas artificiais compatíveis com a NP 1998-1 e EN 1998-2. Os acelerogramas são gerados com base num espetro de potência, cujo espetro de resposta é compatível com o espetro elástico de resposta do EC8.

A ação da frenagem foi também simulada considerando uma distribuição “Time-History”. Para tal foram consideradas duas distribuições diferentes para ter em conta a variabilidade da ação de frenagem.

O primeiro modelo de frenagem baseou-se no German Railway code, que considera que a força de frenagem depende do atrito roda-carril, sendo que esse valor depende do tempo, possuindo um pico durante os últimos quatro segundos antes do comboio parar. Este é um modelo realista porque as forças máximas de frenagem, em serviço ou em emergência, são sempre bastante inferiores à força estática característica definida para efeitos estruturais na EN 1991:2, sendo que só na fase final de travagem, por breves instantes e em situações inadvertidas se poderão eventualmente desenvolver forças desta ordem de grandeza.

Foi ainda considerado um outro modelo, mais conservador, em que se admite que o comboio demora um segundo a atingir a força máxima de frenagem, mantém essa força durante alguns segundos e regressa novamente a zero, instante esse em que se considera parado.

Pretende-se desta forma simular a ação da frenagem como uma ação dinâmica capaz de induzir uma velocidade na estrutura e mobilizar desta forma a componente CV^α dos dispositivos de travamento.

No caso da Ponte do Lucefece, tendo em conta que o Encontro E2 está inserido em curva de concordância vertical, foi previsto apenas um ADV no Encontro E1. Na realidade, a extensão da obra justificaria a adoção de ADV nas duas extremidades, de forma a ter deformações moderadas em cada um deles. Foram previstos dois dispositivos

do tipo PSD no Encontro E2, que será o ponto fixo para ações lentas, e dois dispositivos do tipo FVD no Encontro E1.

Para a Ponte da Retorta, apesar de haver condições para colocação de ADV nas duas extremidades, tomou-se a opção de prever apenas um ADV no Encontro E1, numa zona em que o traçado em planta se apresenta em curva circular de grande raio e, em perfil, num trainel. O ponto fixo para as ações lentas é o Encontro E2, onde foram previstos dois PSD. No Encontro E1, foram previstos dois FVD.

Para a Ponte dos Penedrais, face à extensão da obra e às condições favoráveis em termos de traçado nos dois encontros, foram previstos ADV em ambas as extremidades. Neste caso, a absorção das forças horizontais longitudinais é garantida por amortecedores viscosos do tipo FVD, por ligações monolíticas a três pilares centrais e duas ligações através de aparelhos de apoio fixos a dois outros pilares.

No caso da Ponte das Gordesas, optou-se também por prever um único ADV, no Encontro E2, com dois dispositivos PSD no Encontro E1 e dois dispositivos FVD no Encontro E2.

3.3. Tabuleiro

Conforme já referido anteriormente, os tabuleiros são em nervura larga e maciça de betão armado pré-esforçado, na generalidade das pontes e em caixão de betão armado pré-esforçado, de inércia constante, na Ponte do Lucefece. De um dos lados, a nervura é prolongada por uma laje em consola, onde será colocado o passadiço e caminho de cabos. Do lado da futura duplicação, é previsto uma estrutura metálica destinada a albergar a caleira de cabos e passadiço. Essa estrutura será desmontada quando se vier a proceder à duplicação das obras para materialização de uma segunda linha.

3.4. Pilares

Os pilares apresentam uma secção retangular vazada, com uma geometria exterior em forma de secção retangular modificada de configuração hidrodinâmica. A secção é semelhante para a generalidade das pontes, variando apenas a dimensão na direção longitudinal e a zona de ligação ao tabuleiro, em função do tipo de ligação. Os pilares monolíticos possuem secção constante desde a fundação até ao tabuleiro. Os pilares correntes com aparelhos de apoio possuem um pequeno alargamento na direção transversal para permitir a acomodação da geometria dos aparelhos de apoio. Os pilares de transição em juntas intermédias do tabuleiro, possuem um capitel mais pronunciado, com alargamento nas duas direções, para permitir acomodar os quatro aparelhos de apoio que são necessários nessa situação.



Fig. 5: Geometria dos pilares

3.5. Encontros

De forma a assegurar uma boa ligação entre o terraplino e a ponte, foi estabelecido que os encontros deveriam ser do tipo aparente, com o terraplino limitado por paredes verticais e que deveriam ser desde já executados para via

dupla. Assim, os encontros são aparentes, constituídos por estribos que recebem os esforços do tabuleiro, transmitidos pelos aparelhos de apoio unidirecionais, fixos na direção transversal. Os estribos ligam à sapata de fundação através de dois muros de avenida, duas paredes perpendiculares aos muros de avenida, alinhados com a frente e o tardo do estribo, e dois contrafortes interiores. Os estribos dos encontros são ainda providos de tímpanos, ligados às suas extremidades, e de um batente posterior, que além de fixar a junta de dilatação, constituída por chapas de aço, funciona como separação entre as terras no tardo da mesa e a obra. As fundações dos encontros são diretas, através de sapatas. Na figura seguinte apresentam-se cortes longitudinais tipo com as características dos encontros.

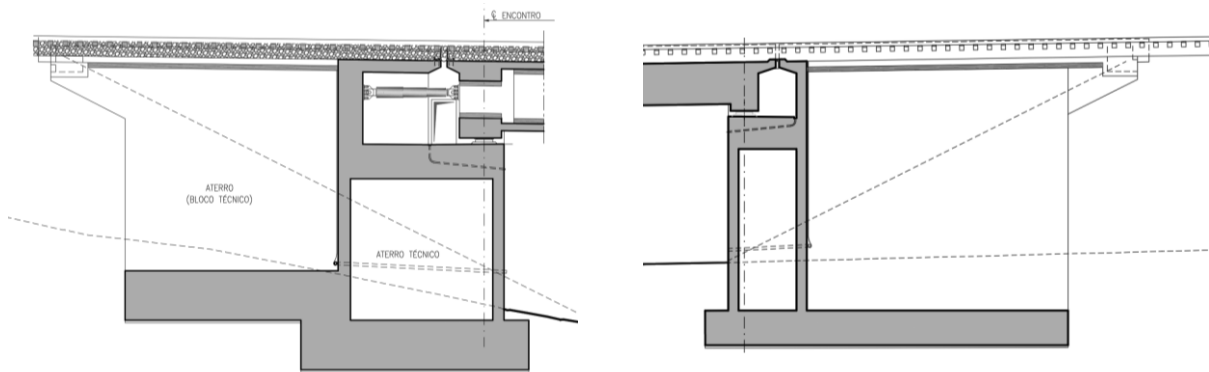


Fig. 6: Geometria dos encontros

4. CONCLUSÕES

Pretendeu-se neste artigo fazer uma breve apresentação das pontes ferroviárias executadas no troço Freixo / Alandroal da Linha de Évora e apresentar a fundamentação da conceção adotada, com especial enfoque na forma como foram resolvidos os aspetos relacionados com a interação via-tabuleiro. Apresentam-se, de seguida, algumas imagens das obras executadas.



Fig. 7: Imagem aérea da Ponte do Calado (fonte: Mota Engil Engenharia, SA)



Fig. 8: Imagem aérea da Ponte do Barranco dos Pegões (fonte: Mota Engil Engenharia, SA)



Fig. 9: Imagem aérea da Ponte do Barranco dos Galvões (fonte; Mota Engil Engenharia, SA)



Fig. 10: Imagem aérea da Ponte do Lucefece (fonte: Mota Engil Engenharia, SA)