

Pontes do tipo “Stress Ribbon” – Concepção e dimensionamento



Rita Almeida¹



Miguel Ferraz²



Renato Bastos³

RESUMO

As pontes do tipo *stress ribbon* são pontes de elevada esbelteza e flexibilidade, cujo comportamento é muito influenciado pelo processo construtivo, pelos efeitos diferidos dos materiais e pela resposta geometricamente não linear, característica das estruturas com cabos. O presente artigo incide no estudo do comportamento estático das pontes do tipo *stress ribbon*, analisando a influência das referidas variáveis no funcionamento desta tipologia estrutural.

Assim, neste artigo, faz-se uma breve apresentação do estado da arte acerca desta temática e, de forma a dominar a modelação numérica e a compreender a influência de alguns parâmetros no desempenho deste tipo de estruturas, analisa-se um caso de estudo. Recorrendo ao *software* de análise estrutural Evolution realiza-se a análise estrutural de uma ponte existente, composta por vãos múltiplos e formada por elementos pré-fabricados e laje moldada *in situ*, desde o processo construtivo e durante a fase de exploração. O *software* utilizado permite a modelação do faseamento construtivo, a consideração das não linearidades geométricas e dos efeitos diferidos dos materiais, como a fluência e retração do betão e a relaxação do aço de pré-esforço, e desta forma estimar com precisão o estado de tensão e deformação em todos os elementos constituintes da estrutura ao longo do seu faseamento construtivo e da sua vida útil. Através da comparação dos resultados obtidos numericamente com resultados obtidos em obra foi possível aferir o modelo numérico e, posteriormente, utilizar o mesmo para realizar análises paramétricas que permitiram estudar a influência das variáveis atrás referidas na resposta estrutural deste tipo de ponte.

Por fim, de forma a aplicar o conhecimento obtido, concebeu-se uma ponte *stress ribbon*, proposta para a cidade do Porto, denominada de ponte pedonal dos “Caminhos do Romântico”. Analisaram-se as características e condicionantes do local, concebeu-se o esquema estrutural e pré-dimensionaram-se os cabos de pré-esforço e respetivas tensões iniciais. Seguidamente, utilizando o *software* Evolution, procedeu-se à modelação numérica e à análise estrutural da ponte, durante o faseamento construtivo e em fase de serviço, o que permitiu após alguns ajustes chegar à solução final em termos de secções de betão, áreas de cabos de pré-esforço e respetivas tensões iniciais.

Palavras-chave: Pontes *Stress Ribbon*, Modelos Numéricos, Estruturas Evolutivas, Não linearidades Geométricas, Efeitos Diferidos

¹Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Porto, Portugal. up201305621@fe.up.pt

²Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Porto, Portugal. ferraz@fe.up.pt

³Adão da Fonseca – Engenheiros consultores, Lda, Porto, Portugal. renato.bastos@adfconsultores.com

1. INTRODUÇÃO

As pontes do tipo *stress ribbon* são estruturas formadas por um tabuleiro esbelto em betão assente em cabos de aço de alta resistência em forma de catenária. Sendo, normalmente, estruturas muito flexíveis, as pontes *stress ribbon* respondem a incrementos de carga através de uma combinação de incrementos do seu estado de tensão e de alteração da sua geometria. Eis a razão do seu comportamento marcadamente não linear geométrico.

Os processos construtivos usualmente utilizados nestas estruturas impõem um carácter fortemente evolutivo, quer ao nível do esquema longitudinal global, quer, muito especialmente, ao nível das suas secções transversais. A estimativa das tensões instaladas, quer no betão quer no aço de pré-esforço, ao longo da vida da obra requer que sejam tidos em consideração o comportamento não linear geométrico da estrutura, o carácter evolutivo das secções transversais e do carregamento e, ainda, o comportamento diferido dos materiais. Assim sendo, a complexidade deste comportamento estrutural inviabiliza que sejam utilizadas abordagens simplificadas, que costumam ser “suficientes” para o estudo de estruturas ditas correntes, como por exemplo, os tabuleiros de betão pré-esforçado utilizados nas pontes em laje vigada. É neste contexto que o principal objetivo deste trabalho, consiste em expor as principais características do comportamento estático, instantâneo e diferido, das pontes *stress ribbon*.

2. ESTADO DA ARTE

O conceito de pontes do tipo *stress ribbon* foi introduzido pelo engenheiro alemão Ulrich Finsterwalder, na década de 60, tendo como princípio o de uma catenária que transmite a carga aos encontros. Na Fig. 1 encontram-se apresentados alguns exemplos de aplicação do sistema estrutural em discussão.



Figura 1. Exemplos de aplicação do sistema estrutural *stress ribbon*: (a) Ponte de Redding; (b) Ponte pedonal no campus da FEUP; (c) Olomouc Bridge.

O sistema estrutural *stress ribbon* apresenta duas grandes variantes em relação ao modo como o tabuleiro é composto, podendo ser formado por elementos pré-fabricados de secção completa ou parcial, ou ainda, moldado totalmente *in situ*. A opção em que se recorre a elementos pré-fabricados é a mais frequente, dada a facilidade e rapidez de execução, pois evita o escoramento do tabuleiro. No entanto, esta opção é a mais complexa em termos de análise estrutural, uma vez que o processo construtivo é bastante evolutivo ao nível da secção transversal e do esquema estrutural, pelo que neste trabalho apenas se estudou e analisou esta variante.

O processo construtivo de uma ponte de vãos múltiplos formada por elementos pré-fabricados e laje betonada *in situ*, depois de executadas as fundações, blocos de ancoragem e pilares intermédios, é dividida nas seguintes etapas:

1. Colocação das aduelas dos encontros nos suportes e das “selas” de aço nos apoios intermédios e escoramento temporário dos pilares;
2. Colocação e tensionamento dos cabos de sustentação e disposição dos elementos pré-fabricados;
3. Cofragem das “selas” dos apoios intermédios;
4. Colocação dos cabos de pré-esforço, betonagem das “selas” e da parte do tabuleiro moldada *in situ*, e aplicação do pré-esforço;
5. Aplicação da calda de cimento aos cabos de pré-esforço;
6. Montagem dos guarda-corpos e execução do pavimento.

3. CASO DE ESTUDO

A estrutura objeto de estudo é a ponte de *Redding*, localizada na Califórnia (Fig. 1a)) [1]. Esta é uma ponte pedonal formada por um vão de 127.41 m do tipo *stress ribbon*, que apresenta um tabuleiro composto por elementos pré-fabricados de betão e uma laje betonada *in situ*. Possui quatro cabos de sustentação de 28 cordões de 13 mm de diâmetro cada, sendo pré-esforçada por quatro cabos adicionais de 31 cordões de 13 mm de diâmetro cada, conforme apresentado na Fig. 2.

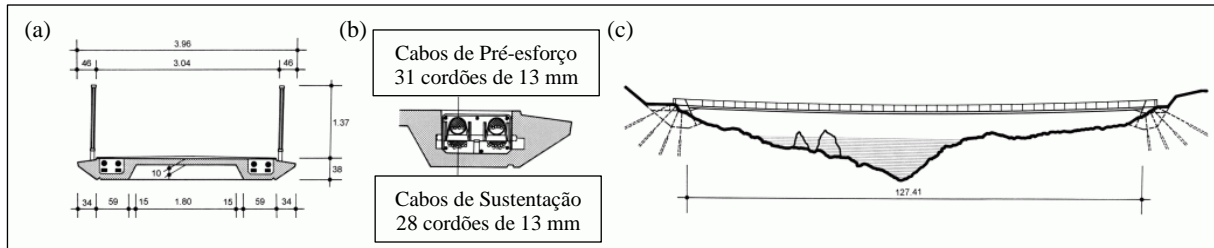


Figura 2. Ponte de *Redding*, Califórnia: (a) Secção transversal; (b) Cabos de sustentação e pré-esforço; (c) Alçado (Adaptado de [1]).

3.1 Modelação numérica

Uma vez que a generalidade dos programas de cálculo automático de análise estrutural não contempla em simultâneo todas as variáveis consideradas necessárias para a correta modelação de pontes do tipo *stress ribbon*, a análise do caso de estudo foi efetuada recorrendo ao modelo de análise estrutural baseado no Método dos Elementos Finitos incluído no *software* Evolution [2]. O programa, de origem académica, recorre a uma formulação tridimensional em elementos finitos de viga, baseada na formulação de Timoshenko e na discretização da secção transversal por fibras. Através de um processo incremental e iterativo, permite, entre outros parâmetros, considerar a variável tempo, permitindo a consideração das componentes instantâneas e diferidas dos materiais e o caráter evolutivo das estruturas e carregamentos, e a análise não linear geométrica.

Foi feito um esforço na tentativa de modelar com realismo a geometria da estrutura e o faseamento construtivo, incluindo as datas de aplicação de cargas e das alterações do esquema estrutural, no entanto, devido à ausência de alguns dados relativos à obra, como, por exemplo, a data de aplicação do pré-esforço, a classe dos betões utilizados nos elementos pré-fabricados e na laje betonada *in situ*, a estrutura modelada poderá não corresponder fielmente à real. Desta forma, admitiram-se valores plausíveis para os dados em falta, e verificou-se a sua adequabilidade comparando os resultados obtidos numericamente com os resultados disponíveis na bibliografia.

Na Fig. 3 podem observar-se pormenores do modelo numérico onde foram utilizados 381 nós com espaçamentos de 1 m, agrupados em 378 elementos de viga com dois nós e um ponto de Gauss cada. Uma vez que a obra tem um desenvolvimento longitudinal retilíneo em planta, e o presente trabalho consiste na análise do comportamento sob ações verticais, a discretização das secções transversais do tabuleiro foi efetuada privilegiando a divisão da secção em fibras, na direção vertical. Na introdução dos cabos de sustentação, de forma a não aumentar desnecessariamente o volume de cálculo, os quatro cabos foram reunidos em grupos de dois, conforme apresentado na Fig. 3.

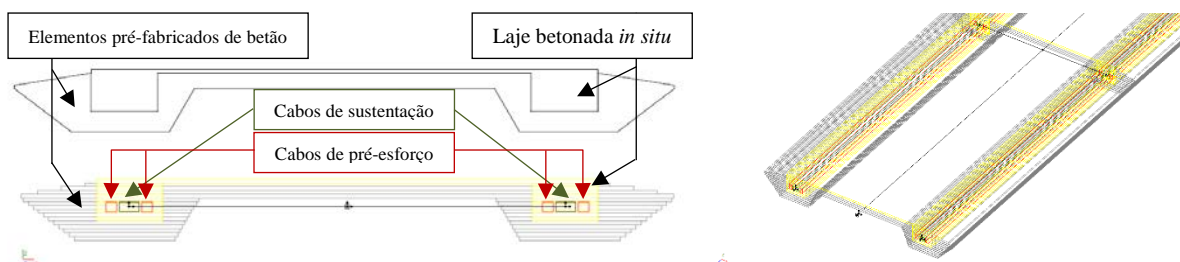


Figura 3. Secção transversal e perspetiva tridimensional do modelo numérico do tabuleiro.

Para a análise da resposta da estrutura ao longo do faseamento construtivo e vida útil, foram simuladas no *software* Evolution oito operações gerais, incluindo aplicação de cargas e alterações do esquema estrutural, tal como descrito no Quadro 1, e um incremento de verificação da resposta a “tempo infinito”, 10000 dias após o término da obra. O processo de convergência foi definido em termos de deslocamentos para uma tolerância admitida entre iterações igual a 0.1%.

Quadro 1. Operações gerais e respetivo planeamento temporal considerados na modelação.

Operação	Descrição da atividade	Planeamento temporal	
		Escala [dias]	Duração da atividade [dias]
Primeira fase	Colocação e tensionamento dos cabos de sustentação	0	1
Segunda fase	Montagem dos elementos pré-fabricados	1	14
Terceira fase	Betonagem da laje moldada <i>in situ</i> e juntas	15	0
Quarta fase	Colocação do betão no modelo numérico	15	7
Quinta fase	Tensionamento dos cabos de pré-esforço	22	7
Sexta fase	Aplicação das restantes cargas permanentes	29	0
Sétima fase	Análise a tempo infinito	29	10000

3.2 Análise estrutural

Em pontes do tipo *stress ribbon* as áreas dos cabos de sustentação e pré-esforço apresentam uma grandeza relativamente elevada comparativamente às estruturas pré-esforçadas correntes, por esse motivo, ocorre uma redistribuição de tensões significativa entre betão e aço que necessita de ser considerada. A modelação do caso de estudo desenvolvido permitiu analisar o estado de tensão e deformação em toda a estrutura ao longo de todo o faseamento construtivo e vida útil, tendo em consideração o comportamento não linear geométrico da estrutura, o carácter evolutivo das secções transversais e do esquema estrutural e o comportamento diferido dos materiais.

Seguidamente, apresenta-se a resposta da estrutura em estudo ao longo do processo construtivo e fase de exploração face aos efeitos diferidos preconizados de acordo com o Eurocódigo 2 – Parte 1-1 [3], tecendo-se alguns comentários aos resultados obtidos. Com o intuito de avaliar a sensibilidade do sistema estrutural aos efeitos diferidos estudou-se o contributo conjunto e separado de cada fenómeno reológico, nomeadamente, a retração e fluência dos betões que compõe os elementos pré-fabricados e laje betonada *in situ* (betões de idades diferentes), e a relaxação do aço dos cabos de sustentação e pré-esforço. Tendo consciência que os referidos fenómenos são interdependentes, a sua análise em separado visa apenas tornar mais perceptível a possível influência de cada um deles. São apresentados os resultados obtidos sob a forma gráfica efetuando a avaliação dos seguintes parâmetros: deslocamento vertical a meio vão, reação horizontal dos apoios e, por último, esforço axial nos cabos de sustentação, cabos de pré-esforço e betão.

Inicia-se a análise dos resultados pela evolução temporal do deslocamento vertical a meio vão para os vários cenários reológicos extremos, representada na Fig. 4. Atentando na figura referida constata-se que as contribuições fictícias dos fenómenos de retração e fluência do betão a “tempo infinito” são bastante similares e ambas provocam uma diminuição da flecha. Já a linha de tendência evolutiva do fenómeno de relaxação do aço dos cabos de sustentação e de pré-esforço é praticamente coincidente com o traçado do modelo em que não se inseriram as leis reológicas dos materiais, “Sem Efeitos Diferidos”, pelo que a sua relevância é reduzida. Assim, torna-se igualmente evidente que a consideração dos efeitos diferidos, nomeadamente da retração e fluência, tem uma influência considerável no estado de deformação ao longo da fase de exploração de uma estrutura deste tipo.

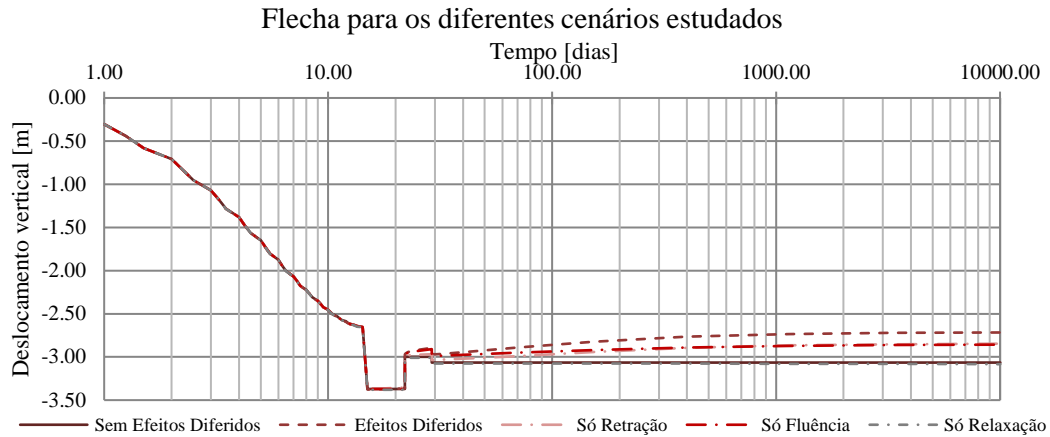


Figura 4. Evolução temporal do deslocamento vertical a meio vão para os diferentes cenários reológicos.

A reação horizontal ao longo do tempo no decurso do faseamento construtivo e fase exploração do sistema, representada na Fig. 5, acompanha, naturalmente, a evolução do deslocamento vertical da Fig. 4. Para os vários modelos reológicos, a redução da flecha induz, por equilíbrio, um aumento da força horizontal de sollicitação dos apoios. Observando o gráfico da Fig. 5 depreende-se que a relaxação do aço não possui expressividade, induzindo apenas uma ligeira diminuição da reação horizontal.

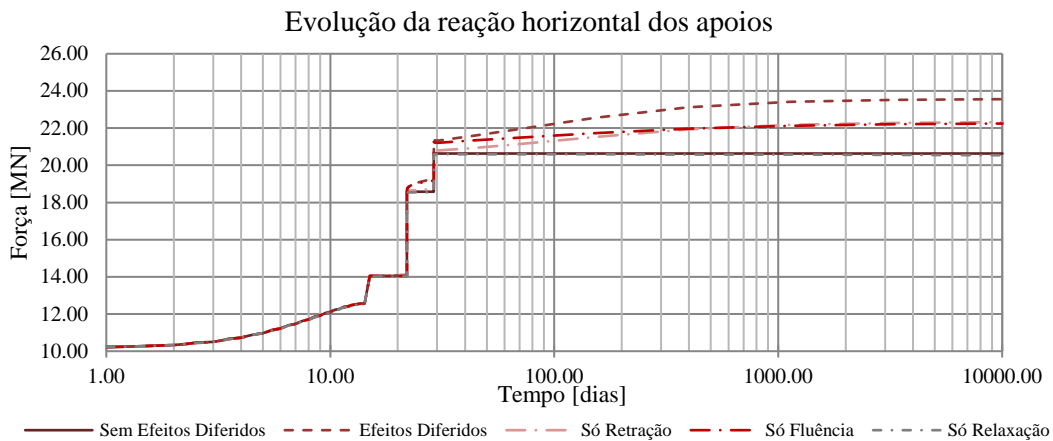


Figura 5. Evolução temporal da reação horizontal dos apoios para os diferentes cenários reológicos.

Apresenta-se na Fig. 6, a evolução dos esforços axiais nos cabos de sustentação, cabos de pré-esforço e betão, na secção a meio vão, devido à redistribuição de esforços por efeitos diferidos para as situações reológicas tratadas. Analisando os gráficos da Fig. 6 depreende-se que a “tempo infinito” os esforços axiais nos cabos de sustentação e de pré-esforço tendem a diminuir, pelo que, a situação crítica de carregamento para os cabos de sustentação é logo após a fase de betonagem da laje e juntas. Já nos cabos de pré-esforço, o esforço axial é máximo quando as restantes cargas permanentes são aplicadas à estrutura. A avaliação do terceiro gráfico da Fig. 6 permite aferir que o esforço axial no betão apresenta uma grande variabilidade ao longo da sua vida útil, e, como seria de prever, tende a diminuir. Consta-se igualmente que o fenómeno de relaxação do aço dos cabos de sustentação e de pré-esforço apresenta um contributo reduzido na resposta estrutural, manifestando maior influência na alteração do estado de tensão dos cabos de sustentação.

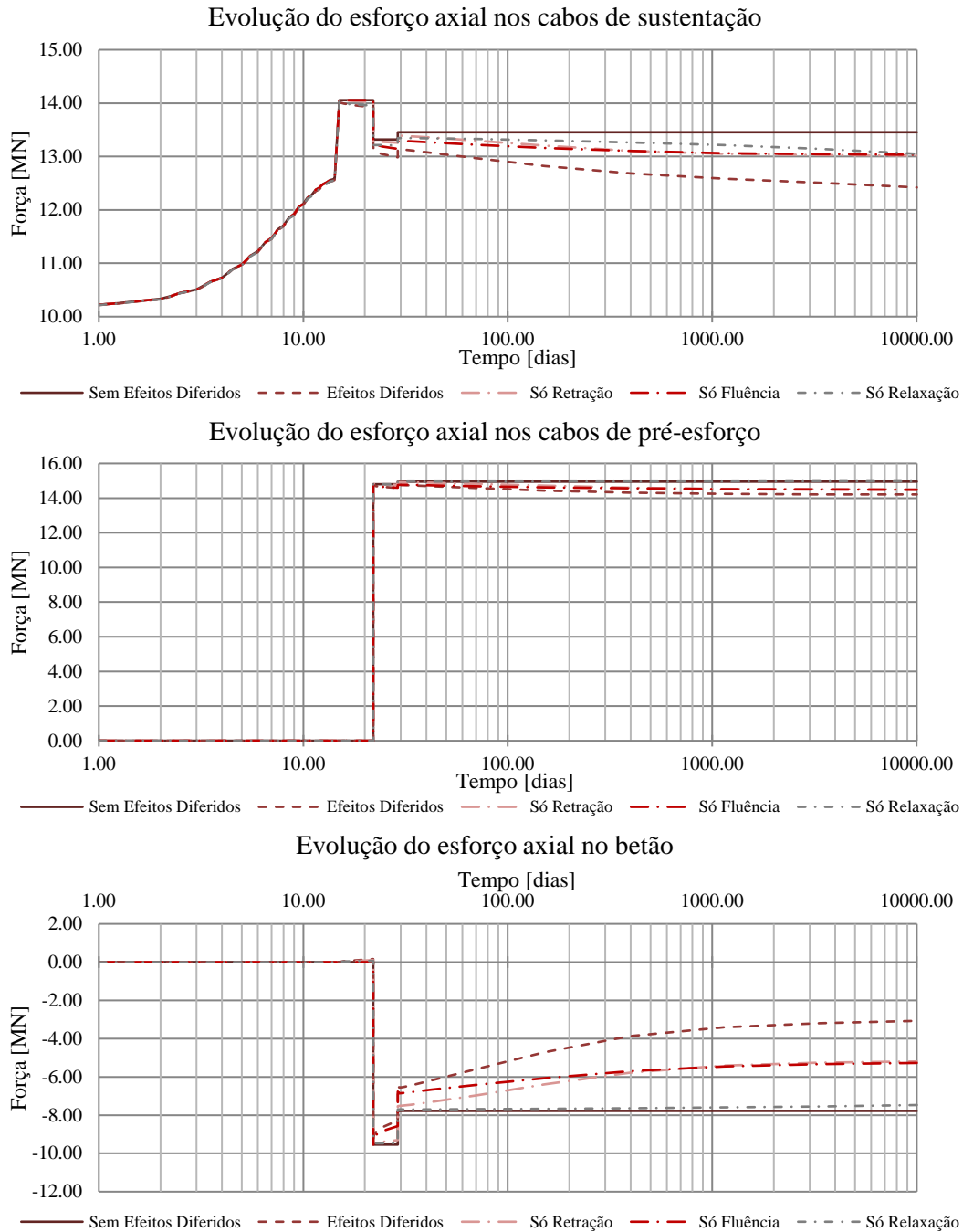


Figura 6. Evolução temporal do esforço axial nos elementos constituintes da estrutura para os diferentes cenários reológicos do EC2.

Para além dos fenómenos reológicos dos materiais na resposta estrutural da ponte em análise, averiguou-se ainda o efeito da variação uniforme de temperatura na alteração da geometria do sistema após a entrada em serviço e a “tempo infinito”, com a atuação em simultâneo da sobrecarga de utilização (aplicada ao longo de todo o desenvolvimento longitudinal da estrutura). O deslocamento vertical a meio vão da estrutura em função da atuação de uma variação uniforme de temperatura é apresentado na Fig. 7, onde igualmente se analisa a atuação simultânea da sobrecarga de utilização definida em projeto. Identifica-se na referida figura que a introdução de uma variação negativa de temperatura provoca uma redução da flecha, e, portanto, um aumento da reação horizontal dos apoios. Em contraste, a introdução de uma variação positiva de temperatura, induz um aumento da flecha que, por sua vez, origina uma diminuição da força horizontal de solicitação dos apoios. A consideração da totalidade da sobrecarga de utilização implica uma resposta bastante elevada, com o aumento da flecha em cerca de 25 cm.

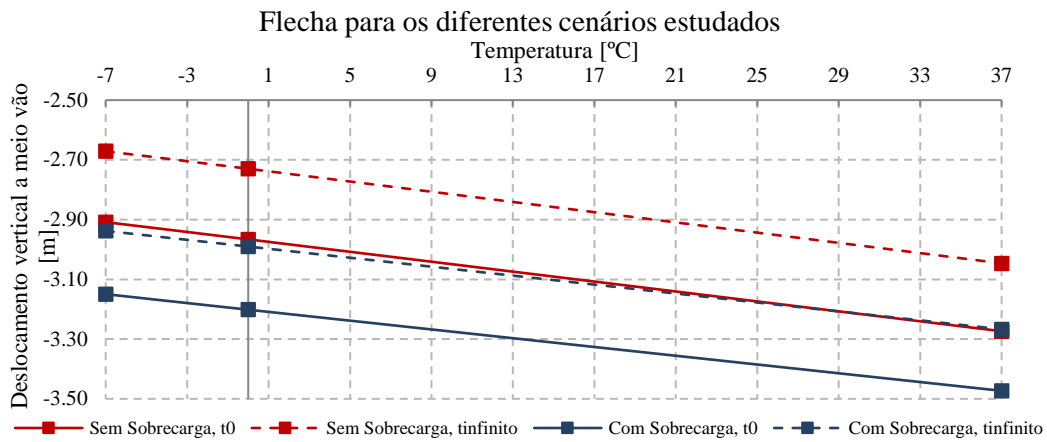


Figura 7. Evolução do deslocamento vertical a meio vão para uma variação uniforme de temperatura a t_0 e a t_{∞} .

Concluiu-se assim que a flecha máxima em serviço ocorre devido à atuação em simultâneo da sobrecarga de utilização e de uma variação uniforme de temperatura positiva, a t_0 .

Na sequência dos resultados apresentados anteriormente, em que é demonstrada a dependência da resposta da estrutura a “tempo infinito” perante os efeitos diferidos e dada a incerteza associada à determinação dos valores reológicos regulamentares definidos no Eurocódigo 2 – Parte 1-1 [3], procedeu-se a uma análise paramétrica de forma a estimar a amplitude da variação da resposta da estrutura do tipo *stress ribbon* em função da variabilidade do comportamento diferido do betão. Para tal, aplicaram-se coeficientes de majoração e minoração aos valores regulamentares da retração e fluência propostos na norma europeia.

A tensão na fibra menos comprimida de betão (fibra superior) a “tempo infinito” na combinação quase-permanente de ações definida no Eurocódigo – Bases para o projeto de estruturas [4], com a atuação simultânea da sobrecarga de utilização e de uma variação uniforme de temperatura negativa está apresentada na Fig. 8. Numa primeira análise constata-se que a condição de descompressão do betão para a reologia preconizada no EC2 (100% Retração e 100% Fluência) não é verificada.

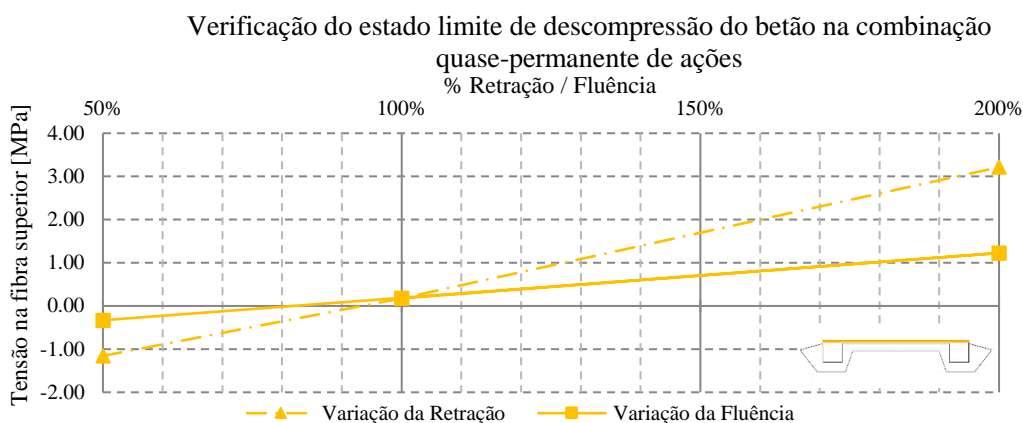


Figura 8. Tensão instalada na fibra superior na combinação quase-permanente de ações em função das reologias consideradas, a “tempo infinito” (10029 dias após o início da obra).

Atentando na Fig. 8 conclui-se que as tensões instaladas são extremamente sensíveis a variações dos fenómenos de retração e fluência. Quanto mais gravosa é a reologia considerada, mais desfavorável é a distribuição de tensões na fibra superior, sendo o cenário em que se considera 200% da retração, o mais desfavorável em termos de perda da compressão. Um aumento do valor médio da retração em 100%

implica uma perda da tensão de compressão do betão igual a de 3035 *kPa*, valor esse bastante elevado e que indica que estas variações reológicas devem ser devidamente analisadas em situação de projeto.

4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

A utilização do sistema estrutural *stress ribbon* em pontes pedonais tem vindo a crescer ao longo dos anos. Apesar de a sua composição geométrica ser bastante mais simples comparativamente a uma ponte corrente, os fenómenos a que o sistema estrutural em análise se encontra sujeito, não só durante a fase construtiva, mas também ao longo da sua vida útil, diferem em muito das estruturas correntes. Nesse contexto, justifica-se a opção de incluir neste trabalho a aplicação do sistema estrutural *stress ribbon* a um caso concreto, para o qual se estudou a solução e se realizou a análise estrutural. Assim, como exemplo de aplicação concebeu-se uma passagem superior pedonal do tipo *stress ribbon* sobre o Vale de Massarelos e a rua de D. Pedro V, localizada na cidade do Porto, proposta no âmbito da iniciativa *Porto 2001*. Esta ponte, denominada de “Ponte pedonal dos Caminhos do Romântico”, pretende ligar o polo universitário à zona de Vilar (ver Fig. 9).



Figura 9. Traçado sugerido para a ponte (Adaptado de [5]).

Apresenta-se neste artigo uma condensação do estudo elaborado e dos cálculos realizados no estudo prévio conduzido [6], em particular, expõe-se o raciocínio utilizado na definição da posição dos encontros, na definição da secção transversal e na escolha dos materiais utilizados, e, por último, faz-se uma pequena descrição do processo de dimensionamento.

4.1 Características e condicionantes do local

Na definição da localização dos encontros da ponte devem-se verificar as condições topográficas existentes, bem como as questões de acessibilidade à estrutura e que melhor permitem à população tirar partido da sua existência. Para além disso, devem ser tidos em conta aspetos relevantes, tais como: o rácio entre flecha e desenvolvimento longitudinal, respeitando as normas vigentes de acessibilidade que garantem o conforto de todos os utilizadores e o acesso a deficientes físicos, bem como o respeito da cota livre regulamentar acima do nível do pavimento na travessia da rua D. Pedro V. Como tal, fazendo uso das condições atuais existentes na envolvente definiu-se a localização dos apoios da ponte, esquematicamente representados na Fig. 10.



Figura 10. Localização dos encontros: (a) Zona do polo universitário; (b) Zona de Vilar.

Para que seja respeitada a inclinação máxima atingida pelo tabuleiro, que permita o acesso a pessoas de mobilidade reduzida, propôs-se a elevação da cota do encontro “Sudeste” da zona de Vilar (atualmente à cota 41.46 m) até à cota 47.35 m, tal como apresentado na Fig. 11. Como se pode observar, o tabuleiro vence uma distância de 110 m e os encontros localizam-se à mesma cota, sendo respeitado o *gabari*t mínimo de 5 m definido na regulamentação.

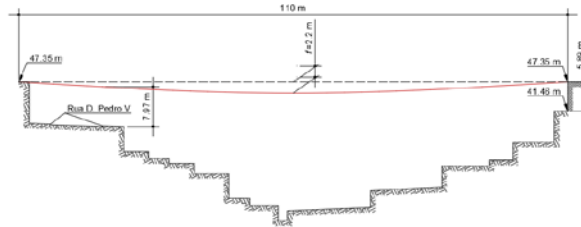


Figura 11. Traçado longitudinal para a ponte *stress ribbon* proposta.

4.2 Caracterização do sistema estrutural a adotar

Conforme foi já referido, o emprego do sistema estrutural do tipo *stress ribbon* em pontes é mais vantajoso quando se recorre a elementos pré-fabricados de betão para formarem o tabuleiro dada a facilidade de execução, para além disso, neste caso, a existência de um vale profundo inviabiliza a utilização de uma secção transversal moldada totalmente *in situ* com recurso a escoramento. Deste modo, neste exemplo de aplicação optou-se por uma secção formada por elementos pré-fabricados de betão e uma laje moldada *in situ*, suspensa por cabos de sustentação e pré-esforçada por cabos adicionais de carácter pós-tensionado.

Tratando-se de uma ponte pedonal e sendo expectável o seu uso também por ciclistas, foi considerada uma largura total de 4.0 metros de forma a assegurar uma largura útil igual a 3.5 metros. A secção transversal adotada no pré-dimensionamento está representada na Fig. 12a). Na definição das características dos materiais considerou-se que o betão dos elementos pré-fabricados e da laje betonada *in situ* possuem uma classe de resistência C40/50. Já para o aço a utilizar nos cabos de sustentação e de pré-esforço optou-se pela classe 1860/1670.

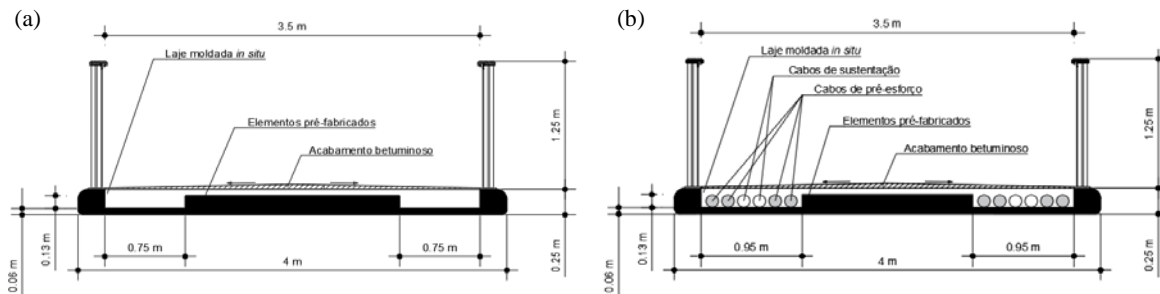


Figura 12. Dimensões da secção transversal: (a) Adotada no pré-dimensionamento; (b) Final.

4.3 Pré-dimensionamento dos cabos

Antes de proceder ao pré-dimensionamento dos cabos de sustentação e de pré-esforço é necessário definir as cargas a que a estrutura estará sujeita no decurso do processo construtivo e ao longo da fase de serviço. Desta forma, as ações consideradas relevantes para a análise da estrutura foram as ações permanentes, a sobrecarga de utilização e a variação uniforme de temperatura, definidas nas normas europeias. Nas ações permanentes incluem-se o peso próprio da estrutura e as restantes cargas permanentes, que por sua vez são constituídas pelo peso dos guarda-corpos e acabamento do tabuleiro.

A existência de diversas variáveis que influenciam o comportamento da estrutura, entre as quais, os efeitos diferidos, a temperatura e o faseamento construtivo (secção transversal fortemente evolutiva), conjugadas com a não linearidade característica deste sistema estrutural, torna complexa a metodologia de pré-dimensionamento. Apesar disso, as estruturas do tipo *stress ribbon* são dimensionadas como estruturas comuns de betão, e como tal, é razoável verificar todos os membros que constituem a estrutura

como parcialmente pré-esforçados e efetuar a verificação da largura máxima de fendas e da tensão nos cabos. Para além destas verificações é ainda importante efetuar o controlo da tensão máxima de compressão no betão, resultante da força de pré-esforço e de outras ações que atuem no momento de aplicação do pré-esforço, de forma a evitar o esmagamento do betão ou o aparecimento de fendilhação longitudinal.

Relativamente à tensão máxima a aplicar aos cabos, de acordo com a proposta de Strasky [1], tomou-se como condição de pré-dimensionamento que a tensão máxima em condições de serviço nos cabos de sustentação e de pré-esforço, na combinação quase-permanente de ações, não deveria ultrapassar, respetivamente, os 70% e 60% da tensão máxima à tração do aço que os compõe.

O dimensionamento dos cabos foi realizado com base nos regulamentos europeus e seguindo a recomendação da limitação das tensões de tração aos valores descritos no parágrafo anterior. O processo de cálculo teve início com a determinação da área dos cabos de sustentação em Estado Limite Último e em Estado Limite de Utilização, para a sua condição crítica de carregamento. Determinada a área dos cabos de sustentação procedeu-se à modelação numérica no *software* Evolution, o que permitiu realizar um processo iterativo de análise e ajuste que teve como resultado a verificação de todas as limitações impostas pelo EC2 e a recomendação de limitação das tensões máximas admitidas nos cabos para este sistema estrutural em particular. Decorrido este processo, obteve-se uma solução final formada por 4 cabos de sustentação de 22 cordões de 0.6” cada e 8 cabos de pré-esforço constituídos por 22 cordões de 0.6” cada, cuja secção transversal se apresenta na Fig. 12b). Na Fig. 13 está representado o alçado da ponte pedonal proposta.

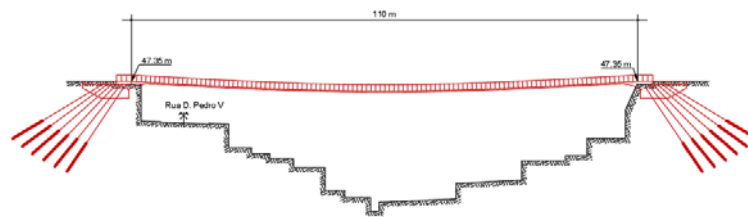


Figura 13. Alçado da ponte pedonal dos "Caminhos do Romântico" proposta.

5. CONCLUSÕES

A realização do estudo do comportamento estático de uma ponte do tipo *stress ribbon*, ponte de *Redding*, e o estudo prévio conduzido para um exemplo de aplicação, permitiu redigir algumas reflexões que a seguir se apresentam, e que podem ser extrapolados a outras estruturas semelhantes:

1. Ao longo do processo construtivo e vida útil da estrutura, a tensão no betão apresenta uma grande variabilidade que necessita de ser considerada no pré-dimensionamento;
2. O sistema estrutural é bastante sensível à variação dos efeitos diferidos, em particular do betão;
3. O processo de análise e dimensionamento de pontes do tipo *stress ribbon* é iterativo e exigente, com a impossibilidade de adoção de cálculos simplificados adotados em estruturas ditas “correntes”.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Strasky, *Stress ribbon and cable-supported pedestrian Bridges*. Thomas Telford, 2005.
- [2] M. Â. C. Ferraz, "Modelo para avaliação do comportamento estrutural de obras de arte", Tese de Doutoramento, FEUP, Porto, 2010.
- [3] NP EN 1992-1-1, Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios., I. P. d. Qualidade, 2010.
- [4] NP EN 1990, Eurocódigo - Bases para o projeto de estruturas., I. P. d. Qualidade, 2009.
- [5] G. Maps. Disponível em: <https://www.google.com/maps>. Acedido em: 23/04/2018
- [6] R. M. S. V. de Almeida, "Pontes do tipo" Stress ribbon"-Concepção e dimensionamento", Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto, 2018.