

A ENGENHARIA AO SERVIÇO DA GESTÃO. A FORÇA DA ANÁLISE DE CUSTOS DE CICLO DE VIDA EM INFRAESTRUTURAS

ENGINEERING AT THE SERVICE OF THE MANAGEMENT. THE STRENGTH OF LIFE CYCLE COST ANALYSIS IN INFRASTRUCTURE
LA INGENIERÍA AL SERVICIO DE LA GESTIÓN. LA FUERZA DEL ANÁLISIS DE COSTES DE CICLO DE VIDA EN INFRAESTRUTURAS

José Carlos Almeida (jcalmeida@ipg.pt)*

RESUMO

A publicação do Decreto-Lei n.º 111-B/2017 a 31 de agosto conduziu a alterações significativas ao Código dos Contratos Públicos. Embora permita a adjudicação pelo preço total mais baixo, uma das principais alterações resulta da fixação como critério regra de adjudicação o da proposta economicamente mais vantajosa, tendo por base a melhor relação qualidade / preço, utilizando uma análise custo / eficácia, nomeadamente a análise de custos de ciclo de vida. Neste artigo é apresentado um sistema de apoio à análise comparativa dos custos de ciclo de vida de diferentes soluções para pontes rodoviárias de betão armado. É descrito um método inovador que permite, à administração pública, apoiar a tomada de decisão no que concerne à escolha de entre diversas alternativas de construção / reparação. O modelo criado é aplicado a um caso de estudo da Ponte sobre a ribeira Cortiço da Autoestrada A25.

Palavras-chave: Custos de ciclo de vida, infraestruturas.

ABSTRACT

The publication of the Decree-law n.º 111-B/2017 on 31 August led to significant changes in the Public Contracts Code. Although it allows contracts to be made at the lowest total price, one of the main changes results from the establishment of a criterion that favors the most economically advantageous proposal, based on the best price-quality matrix supported by a cost-effectiveness analysis, namely life cycle cost analysis. This paper presents a system to support the comparative analysis of the life cycle costs of different solutions for reinforced concrete roadway bridges. An innovative method is described that allows the public administration to support decision making regarding the choice of several construction / repair alternatives. The created model is applied to a case study of the Cortiço Bridge in the A25 motorway.

Keywords: Life-cycle costs, infrastructure.

RESUMEN

La publicación del Decreto-Ley nº 111-B / 2017 al 31 de agosto condujo a cambios significativos al código de los contratos públicos. Aunque permite la adjudicación por el precio total más bajo, una de las principales modificaciones se deriva de la fijación como criterio de la norma de adjudicación de la oferta económicamente más ventajosa, basándose en la mejor relación calidad / precio, utilizando un análisis coste / eficacia, en particular el análisis de costes de ciclo de vida. En este artículo se

presenta un sistema de apoyo al análisis comparativo de los costes de ciclo de vida de diferentes soluciones para puentes de carretera de hormigón armado. Se describe un método innovador que permite a la administración pública apoyar la toma de decisiones en lo que se refiere a la elección de entre diversas alternativas de construcción / reparación. El modelo creado se aplica a un caso de estudio del Puente sobre la ribera Cortijo de la Autopista A25.

Palabras clave: Costes de ciclo de vida, infraestructuras.

*Unidade de Investigação para o Desenvolvimento do Interior do Instituto Politécnico da Guarda

Submitted: 19th September 2018

Accepted: 13th December 2018

INTRODUÇÃO

A rede de transportes rodoviários é um bem fundamental tanto a nível económico como a nível social. Tem um papel basilar no dia-a-dia dos cidadãos proporcionando, a pessoas e bens, um meio de transporte rápido, fácil e seguro. Historicamente foi, e continua a ser, um fator crucial no crescimento da economia e na prosperidade dos países. Estima-se que a circulação, de pessoas e de bens, pelas estradas da Europa totalize cerca de 15% do rendimento per capita dos cidadãos da Europa (Woodward *et al.*, 2001). Os autores observam que, devido à grande utilização e consequente esgotamento da capacidade de escoamento, os custos anuais que advêm deste fator ascendem a 120 mil milhões de euros. Estes valores tendem a crescer pois o número de veículos a circular está a aumentar, levando, segundo o autor, a um incremento expectável de cerca de 60% para o ano horizonte de 2020.

A importância monetária das pontes é evidenciada em PIARC (1996) onde se pode constatar que estas representam apenas 2% da extensão total das vias rodoviárias tendo no entanto um peso de 30% do valor total da rede. Segundo USDOT (2016) o investimento total nos Estados Unidos da América, em 2012, na melhoria de condições de autoestradas e de pontes foi de 105 mil milhões de dólares.

Nos países em desenvolvimento, ou naqueles que estiveram diretamente envolvidos nas guerras, continua a ser necessário um forte investimento neste tipo de infraestruturas. Por seu lado, nos países desenvolvidos o investimento nas infraestruturas está mais direcionado para a manutenção e conservação de estruturas existentes. Segundo USGAO (2016) nos Estados Unidos da América do orçamento total aplicado em pontes apenas 13% é direcionado para as pontes novas.

As pontes, dadas as suas características muito particulares, são estruturas que devem possuir uma longa vida útil. A vida útil média das pontes situa-se entre 50 e 100 anos. Segundo Lounis e Daigle (2010) a vida útil das pontes é continuamente estendida através da aplicação de diversas estratégias de gestão do parque de pontes, que incluem diferentes combinações de estratégias de manutenção, reabilitação e reforço.

O betão armado e / ou pré-esforçado é atualmente um dos principais materiais utilizados na construção de pontes. Segundo a FHWA (2017) das cerca de 615 mil pontes existentes nos Estados Unidos da América, cerca de 50% foram construídas utilizando esse tipo de material. Naquele país o estado do parque de pontes é deveras preocupante pois, atualmente das 308 mil pontes catalogadas, cerca de 35 mil pontes possuem a classificação de estruturalmente deficientes. Sendo que as pontes de betão armado e / ou pré-esforçado representam próximo de 35% desse número. Ao contrário do que se pensava aquando da sua invenção, o betão armado é um material que se degrada ao longo do tempo independentemente do sistema estrutural adotado. A maior ou menor taxa de deterioração depende de múltiplos fatores como o tipo de estrutura, tipos de materiais utilizados, qualidade da construção, pormenorização em fase de projeto, condições ambientais, intensidade e natureza do tráfego, acidentes entre outros.

A transposição das Diretivas n.º 2014/23/UE, n.º 2014/24/UE, n.º 2014/25/UE e n.º 2014/55/EU, aprovadas pelo Parlamento Europeu, levaram a alterações significativas ao Código dos Contratos Públicos. Estas alterações foram materializadas na publicação do Decreto-Lei n.º 111-B/2017 a 31 de agosto. O artigo n.º 74 refere que a adjudicação deve ser feita de acordo com o critério da proposta economicamente mais vantajosa para a entidade adjudicante. Indica claramente que a determinação da melhor opção deve ser realizada com ferramentas que permitam determinar a melhor relação qualidade / preço. A metodologia principal para a determinação da melhor relação qualidade / preço para as infraestruturas rodoviárias é, incontestavelmente, a análise de custos de ciclo de vida.

Este artigo apresenta uma metodologia inovadora que permite a quantificação dos custos de ciclo vida de pontes de betão armado. Auxilia, a Administração Pública, na tomada de decisão fazendo a comparação, de uma forma rápida, dos custos de ciclo de vida de diferentes soluções adotadas para os tabuleiros de betão armado de pontes.

1. METODOLOGIA

Neste artigo apresenta-se uma metodologia para a quantificação de custos de ciclo de vida de tabuleiros de pontes em betão armado. A determinação da vida útil do tabuleiro é realizada utilizando modelos probabilísticos para a previsão da deterioração em ambientes com classes de exposição XC e XS de acordo com o Eurocódigo 2 (NP EN 1992-1-1, 2010).

São apresentadas diferentes técnicas de construção e para cada uma é determinada a vida útil recorrendo ao modelo de deterioração. Quantificam-se os custos diretos e indiretos recorrendo aos valores utilizados na literatura nacional e internacional.

Os custos dos utentes são quantificados para dois cenários distintos: a travessia da via sem obras; e a travessia da via com obras. Os custos são determinados através do cálculo dos custos de operação dos veículos, do tempo, de acidente e, quando aplicável, portagem.

Os custos de operação dos veículos incluem todas as despesas que os utentes têm de realizar para percorrer uma determinada distância. Segundo AUSTROADS (2011), os custos de operação dos veículos podem-se dividir essencialmente nos seguintes itens: consumo de combustível; reparações e manutenção; desgaste de pneus; óleo do motor e depreciação do veículo. Os custos devido ao consumo adicional de tempo resultam do dispêndio adicional de tempo dos utentes devido às restrições resultantes das obras. Usualmente, as restrições resultam da redução da velocidade na zona das obras, da redução do número de faixas disponíveis ou da circulação em caminhos alternativos. Os custos de acidente estão relacionados com os acidentes que ocorrem nas vias. A existência de obras provoca perturbações ao normal fluxo do tráfego pela redução da velocidade de travessia, por obrigar a manobras para se desviar de obstáculos ou pela utilização de vias com taxas de sinistralidade superiores. Usualmente, estes custos resultam da atribuição de um valor monetário por cada vítima mortal, ferido grave, ferido leve e por cada acidente apenas com danos materiais. Os custos de portagem ocorrem sempre que as autoestradas são utilizadas.

De modo a se poderem definir algumas recomendações de atuação, o modelo criado é aplicado a uma ponte real onde se estudam os custos resultantes de diversas alternativas de construção / reparação.

2. MODELOS DE DETERIORAÇÃO

O betão, devido principalmente às reações de hidratação do silicato de cálcio presente na pasta de cimento, é um composto altamente alcalino com um pH por volta de 13. O ambiente alcalino do betão produz um filme de óxido de ferro, o qual proporciona proteção às armaduras através da sua passivação. Este efeito leva a que a maioria das estruturas de betão armado esteja protegida relativamente à corrosão. As principais causas da deterioração do filme de proteção das armaduras no betão armado são a carbonatação do betão e as elevadas concentrações dos cloretos. Estes fatores dependem, entre outros, das condições ambientais onde está inserida a estrutura e também da qualidade do betão (Fraczek, 1987).

Pelo exposto na bibliografia nacional e internacional, pode-se constatar que os principais mecanismos de deterioração são os relacionados com o fenómeno de despassivação das

armaduras devido à ação da carbonatação e dos cloretos. O modelo proposto, aplicável a estruturas novas e existentes, tem a sua fundamentação na metodologia para estimar o desempenho do betão que permite cumprir a vida útil de projeto de estruturas de betão armado e pré-esforçado sob as exposições ambientais XC e XS previstas na Especificação LNEC E-465 (2007). Esta especificação baseia a sua fundamentação no modelo elaborado por Tuutti (1982). Este modelo, de base probabilística, define duas fases: a de iniciação e a de propagação.

2.1 Tempo de Iniciação

O tempo de iniciação traduz o tempo necessário para a deterioração do filme passivante de proteção das armaduras. Para quantificar o tempo de iniciação, neste trabalho, foi utilizada a formulação apresentada na especificação LNEC E-465 (2007).

2.1.1 Carbonatação

Segundo Papadakis *et al.* (1991), o fenómeno da carbonatação do betão é o principal fator de degradação de estruturas de betão armado. A reação química entre o dióxido de carbono, presente na atmosfera, com o hidróxido de cálcio do betão diminui acentuadamente a alta alcalinidade do betão, deixando de conferir proteção às armaduras, originando condições para o início da corrosão. Este fenómeno tem tendência a aumentar, nos centros urbanos, pois a disponibilidade de dióxido de carbono na atmosfera é cada vez maior.

Na Equação (1), apresenta-se a formulação que permite a determinação do tempo de iniciação em função da resistência à carbonatação R_{c65} do betão. A resistência do betão à carbonatação é determinada segundo as indicações da Especificação LNEC E-391 (1993).

$$t_i^c = \left(\frac{1,4}{X^2} \cdot 10^3 \cdot k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot t_0^{2n} \right)^{\frac{1}{2n-1}} \quad (1)$$

Onde, t_i^c é o tempo de iniciação devido à carbonatação; X o recobrimento das armaduras; k_0 , k_1 e k_2 fatores que consideram a influência da cura e da humidade; t_0 período de referência, usualmente 1 ano; n é o fator que permite considerar a influência da molhagem / secagem ao longo do tempo.

2.1.2 Cloretos

Nos materiais porosos, como o betão, a penetração dos agentes agressores, como os cloretos, ocorre usualmente devido à convecção, difusão ou migração. A penetração da água no betão pode realizar-se por sucção capilar ou por gradientes de pressão. Por sua vez, o vapor de água movimenta-se nos poros da massa de betão por difusão.

O período de iniciação da corrosão das armaduras sob a ação dos cloretos, pode ser determinado através da Equação (2), que resulta da decomposição da 2ª lei de difusão de Fick.

$$t = \frac{X^2}{4 \cdot D \cdot \xi^2} \quad (2)$$

Sendo, t o tempo de iniciação; X o recobrimento das armaduras; D o coeficiente de difusão; e ξ a inversa da função erro.

2.2 Tempo de Propagação

Após o agente agressor, carbonatação ou cloretos, ter atingido as armaduras, dá-se início ao processo de corrosão das armaduras, o qual vai gradualmente provocar a diminuição da secção das armaduras e, logo, da sua capacidade resistente. No modelo referido, o tempo de propagação é definido como sendo o que decorre entre a despassivação das armaduras e o início da fendilhação do betão. O tempo de propagação é determinado através da formulação definida na especificação LNEC E-465 (2007). Este modelo recorre à lei de Faraday representada na Equação (3).

$$t_p = 0,0115 \cdot I_{corr} / x \quad (3)$$

Esta Equação permite determinar a redução de raio x [mm] provocada pela intensidade da corrente de corrosão I_{corr} [$\mu A/cm^2$] durante o tempo de propagação da corrosão t_p [anos].

3. TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO/REPARAÇÃO

A vida útil das estruturas de betão armado é expectavelmente longa devido ao meio alcalino, providenciado pelo betão, onde as armaduras se encontram. No entanto, o efeito da corrosão é acelerado sempre que existe uma quebra na barreira de proteção providenciada pelo betão, reduzindo o seu pH, provocado pela penetração de cloretos ou devido à carbonatação dos componentes do betão através do contacto com o dióxido de carbono atmosférico. A corrosão das armaduras é, sem dúvida, um dos maiores problemas das pontes em betão armado devido às tensões internas criadas pela expansão dos produtos da corrosão e à perda de secção das armaduras. A existência destas tensões provoca fendilhação e delaminação do betão ao nível das armaduras, acentuando o mecanismo de degradação.

A corrosão dos aços em estruturas de betão armado tem-se revelado como a principal causa para que as estruturas não atinjam a vida útil projetada. No entanto, os fatores que levam a que as estruturas não consigam atingir o valor da vida útil projetada podem ser de variada ordem: falta de qualidade dos materiais aplicados, falta de especialização da mão-de-obra, erros de projeto, falta de manutenção, entre outros.

Com o objetivo de aumentar a vida útil das estruturas são utilizados diferentes tipos de materiais. As medidas de proteção estudadas neste trabalho são: introdução de aditivos no betão (de modo a reduzir a porosidade e a aumentar a sua compacidade); utilização de adjuvantes (por exemplo redutores de água); aumento do recobrimento das armaduras; utilização de revestimentos que impeçam a penetração dos agentes agressivos como o dióxido de carbono e os cloretos; utilização de armaduras menos suscetíveis à corrosão como armaduras revestidas com resina epóxida, aço inox ou galvanizadas ou armaduras maciças de aço inoxidável; e utilização de técnicas eletroquímicas como a prevenção catódica. Cada uma destas técnicas utilizadas possui vantagens e desvantagens.

4. CUSTOS

A manutenção de pontes obriga à realização de obras na estrutura que, muitas das vezes, produzem perturbações mais ou menos significativas dependendo do tipo de obras realizadas bem como do seu âmbito.

Estas obras originam custos que resultam não só da construção em si, os denominados custos diretos, mas também custos para os utentes da estrutura aquando da realização dessas

mesmas obras. Frequentemente, a realização de obras leva a que a velocidade de circulação seja afetada provocando perturbações no fluxo normal de tráfego. Os custos dos utentes podem decorrer do aumento do tempo despendido para atravessar as obras, devido, por exemplo, à imposição de uma velocidade de circulação inferior, do aumento do tempo despendido em filas de espera, do aumento dos consumos do automóvel, do aumento da distância a percorrer quando o tráfego é desviado, bem como do aumento da taxa de acidentes resultante da introdução das obras (de Brito e Branco, 1998).

4.1 Custos Diretos

Para cada uma das técnicas previstas, para além da consideração das vantagens e desvantagens da sua aplicação, realizou-se um estudo considerando os custos diretos bem como a sua vida útil. Os valores utilizados no estudo, que resultam de uma pesquisa na bibliografia a nível internacional, são apresentados no Quadro 4. Refira-se que, como opção de base, se considera a utilização de armaduras de aço corrente. As restantes alternativas, quer o comportamento quer o custo, foram definidas em função desta.

Quadro 4 – Custo de construção e vida útil para as várias opções – valores adotados

Material / medida	[Custo] ou acréscimo de custo relativamente ao aço corrente	[Vida útil] ou acréscimo de vida útil relativamente à construção do tabuleiro com armaduras correntes
Aço corrente	[0,78 €/kg]	[Determinado recorrendo ao modelo de deterioração]
Armaduras revestidas com resina epóxida	50%	20 anos
Armaduras de aço galvanizadas	70%	5 anos
Armaduras de aço inoxidável	580%	80 anos
Armaduras revestidas a aço inoxidável	180%	50 anos
Adjuvantes inibidores de corrosão	45%	20 anos
Proteção / prevenção catódica	[110 €/m ²] <u>monitorização e manutenção dos sistemas de corrente impressa</u> [4,30 €/m ² /ano]	35 anos

4.2 Custos dos Utes

A estratégia de otimização dos custos passa pela quantificação dos custos dos utentes, conjuntamente com os custos diretos já referenciados, de modo a minimizar / otimizar os custos de ciclo de vida das operações de manutenção / reparação. A minimização dos custos totais de ciclo de vida resultará da adoção da estratégia de manutenção mais adequada.

Existem várias formas de materializar a intervenção, sendo que a adoção de estratégias que resultem na minimização do tempo da intervenção conduzem muitas vezes a soluções mais económicas. Como exemplo de estratégia que pode ser utilizada, pelo dono de obra e sempre que financeiramente se justifique, será um pagamento adicional ao empreiteiro, sempre que este realize as obras num prazo de tempo inferior ao estabelecido contratualmente. Esta

metodologia também poderá ser implementada através de penalizações, em forma de multas, sempre que o empreiteiro ultrapasse o tempo previsto para a realização das obras, tentando minimizar os custos dos utentes.

Os custos relativos aos utentes podem ser determinados através da quantificação dos custos de operação dos veículos, do tempo, dos acidentes e, quando aplicável, das portagens. Esta quantificação é realizada de acordo com a Equação (4).

$$C = COV + CA + CT + CP \quad (4)$$

Em que, C representa o custo do utente; COV o custo de operação do veículo; CA o custo de acidentes; CT o custo do tempo; CP representa o custo de portagem (quando aplicável).

Dado que a natureza, e o perfil de utilização, dos veículos existentes é muito diversa, fez-se uma aglomeração das diversas categorias em quatro classes de veículos. As classes de veículos consideradas no estudo foram definidas em função das dimensões e número de eixos dos veículos. A justificação desta opção decorre, não só, da necessidade de enquadrar os veículos nas classes de portagem existentes, mas também, da maior facilidade de coligir dados sobre as diferentes classes, tanto a nível nacional como internacional. As classes de veículos consideradas foram: veículos ligeiros de passageiros (VLP); veículos comerciais ligeiros (VCL); veículos pesados de mercadorias (VPM); veículos pesados de passageiros (VPP).

4.2.1 Custos de Operação dos Veículos

Incluem todas as despesas que os utentes têm de realizar para percorrer uma determinada distância. Segundo AUSTROADS (2011), os custos de operação dos veículos podem-se dividir essencialmente nos seguintes itens: consumo de combustível; desgaste de pneus; reparações e manutenção; óleo do motor e depreciação do veículo.

A quantificação dos custos relativos ao combustível foi realizada considerando, para cada classe de veículos, o consumo médio. Para cada classe de veículos, foram determinados os consumos fazendo uma ponderação entre os valores fornecidos pelos fabricantes e os valores obtidos através de inquérito.

Os valores de mercado para o custo dos pneus são muito variáveis, pois estes, para além dos diferentes tipos de fabricantes existentes, podem ser novos ou recauchutados. Dado que o valor dos pneus recauchutados pode, por vezes, representar apenas um quarto do custo dos pneus novos, determinou-se o seu custo considerando os valores resultantes dos inquéritos aos fabricantes e transportadores.

Embora, nos modelos e bibliografia internacional consultada, os custos da manutenção e do óleo do motor sejam determinados de forma isolada, esta informação, para a realidade nacional, não faz muito sentido, pois usualmente, quando ocorre a mudança de óleo, aproveita-se a imobilização do veículo para se realizar a sua manutenção. Assim, adotou-se para estes custos o nome de custos de manutenção. Deste modo, os custos de manutenção são determinados em função dos valores resultantes dos inquéritos aos fabricantes, prestadores de serviços de manutenção e aos transportadores.

No modelo adotado, admite-se que o tempo de viagem não é representativo, sendo por isso toda a desvalorização concentrada na distância percorrida. A justificação da tomada desta opção deve-se ao facto de os tempos de percurso considerados individualmente serem muito pequenos relativamente à vida útil dos veículos.

Dado que os tempos de percurso considerados individualmente serem muito pequenos relativamente à vida útil dos veículos, no modelo adotado, admite-se que o tempo de viagem não é representativo, sendo por isso toda a desvalorização concentrada na distância

percorrida. Para a determinação dos valores de desvalorização utilizaram-se valores médios que resultaram da ponderação dos valores de várias seguradoras a nível nacional.

É apresentado, no Quadro 5, um resumo com os valores adotados no modelo para os custos de operação dos veículos e o valor do custo total de operação por classe de veículo.

Quadro 5 – Custos totais de operação dos veículos

Classe de veículos	VLP	VCL	VPM	VPP
CUP_{Comb}^i [€/km]	0,102	0,145	0,502	0,562
CUP_{pneu}^i [€/km]	0,014	0,011	0,128	0,045
CUP_{Man}^i [€/km]	0,010	0,009	0,013	0,020
CUP_{Desv}^i [€/km]	0,089	0,041	0,047	0,132
CUP_{Total}^i [€/km]	0,21	0,21	0,69	0,76

4.2.2 Custos do Tempo de Percurso

A determinação do custo do tempo de percurso é uma das principais ferramentas utilizadas na definição de projetos de transporte. A definição modal dos transportes é feita considerando, entre outros parâmetros, os custos relativos ao tempo de percurso. São os custos que estão relacionados com o dispêndio adicional de tempo dos utentes devido às restrições resultantes das obras. Usualmente, as restrições resultam da redução da velocidade na zona das obras, da redução do número de faixas disponíveis ou do percurso em caminhos alternativos.

A quantificação dos custos dos utentes relativos ao tempo de percurso é uma tarefa complexa, pois pressupõe o conhecimento exato, a cada instante, do motivo da viagem de cada utente. Esta complexidade na sua quantificação leva a que alguns modelos não os considerem na modelação dos custos dos utentes.

Os valores adotados, relativamente ao custo do tempo, foram determinados em função de: distribuição percentual do propósito das viagens ao longo dos dias da semana; ganho médio mensal dos trabalhadores em geral e dos trabalhadores do segmento dos transportes; definição de um custo horário da viagem em trabalho; e definição de uma percentagem do custo das viagens de não-trabalho em função do custo das viagens de trabalho.

Com base nos valores exibidos em Dft (2014) apresentam-se no Quadro 6, os valores adotados no modelo para a definição da proporção do percurso em função do dia e do propósito da viagem.

Quadro 6 – Proporção do percurso em função do dia e do propósito da viagem

Período	Propósito da viagem		
	Trabalho	Não-trabalho (pendular)	Não-trabalho (outro)
Dia útil	20%	30%	50%
Dia médio de fim de semana	5%	10%	85%
Dia médio de semana	15%	25%	60%

O modelo apresentado em Dft (2014) faz também uma caracterização do número de passageiros para cada tipo de veículo. Com base nesse modelo, e após uma adaptação para a realidade nacional, definiu-se o número de passageiros por tipo de veículo. No Quadro 7, é apresentada a caracterização adotada para o tráfego no que concerne ao número de ocupantes.

Quadro 7 – Caracterização dos passageiros dos veículos

Classes de veículos	Veículos ligeiros de passageiros	Veículos comerciais ligeiros	Veículos pesados de mercadorias	Veículos pesados de passageiros
Caracterização	1 condutor 0,5 passageiros em lazer	1 condutor	1 condutor	1 condutor 30 passageiros em lazer
Número de ocupantes	1,5	1	1	31

A quantificação dos custos do tempo baseia-se, usualmente, no valor que se está disposto a pagar por ele. No caso das viagens de trabalho, estes custos são, frequentemente, imputados ao patronato, isto é, determinando qual o valor que o patrão está disposto a pagar para que o funcionário não perca tempo na viagem (usualmente é considerado o custo horário do funcionário na empresa). No que concerne às viagens em não-trabalho, aplica-se usualmente uma percentagem relativa do custo horário do utente em trabalho. Para a quantificação dos custos do tempo foram consideradas duas metodologias: o método do vencimento e o método do produto interno bruto.

4.2.3 Custos de Acidente

A quantificação dos custos de acidente é realizada em função do tipo de via que o veículo circula. Para o modelo proposto, foram consideradas: Estradas Municipais Regionais e Nacionais, Itinerários Complementares e Principais, Autoestradas, Arruamentos e outros tipos de vias.

A modelação do número de acidentes foi realizada tendo por base a formulação apresentada em Lopes e Cardoso (2007) para as autoestradas. Na Equação (5), é apresentada a formulação utilizada, considerando a hipótese de que a distribuição dos acidentes com danos corporais é de Poisson.

$$AC = 9,42 \cdot 10^{-4} \cdot AADT^{0,9} \cdot L^{0,931} \quad (5)$$

Em que, AC representa o número de acidentes com danos corporais no troço considerado, para um período de 6 anos; $AADT$ o tráfego médio diário anual [veí./dia]; e L o comprimento do troço em estudo [km].

Dado que as vias objeto de estudo não se limitam a autoestradas, e com o objetivo de generalizar o modelo aos restantes tipos de vias, é apresentada na Equação (6) uma correção à formulação proposta.

$$ACT_i = AC \cdot k_{vi} \cdot k_{li} \cdot \frac{\Delta_t}{2191,5} \quad (6)$$

Sendo, ACT_i número total de acidentes corrigido para a via do tipo i ; AC previsão do número de acidentes determinado pela Equação (5); k_{vi} fator de ajuste relativo ao tipo de via; k_{li} fator de ajuste relativo à localização para a via do tipo i ; Δ_t número total de dias do período de análise.

Com base nos dados estatísticos, definiu-se uma formulação que permite relacionar o número total de acidentes e o número de vítimas por tipo (feridos ligeiros, feridos graves e mortais). Esta quantificação faz-se recorrendo à Equação (7).

$$X_i = ACT_i \cdot \left(\frac{X}{ACDC} \right)_i \cdot FCAND_x \quad (7)$$

Com, X_i é o número de vítimas por tipo; $ACDC$ número médio de acidentes com danos corporais; $FCAND_x$ fator corretivo dos acidentes não declarados, por tipo de vítima.

A quantificação dos custos de acidente é realizada recorrendo a duas abordagens distintas: Método do Custo de Capital Humano e Método dos Custos Globais. Os custos de acidente são determinados através do produto do número de vítimas por tipo pelo seu custo unitário, tal como apresentado na Equação (8).

$$CA = \sum (VM_i \cdot C_{VM} + FG_i \cdot C_{FG} + FL_i \cdot C_{FL} + DM_i \cdot C_{DM}) \quad (8)$$

Em que, CA representa o custo de acidentes; VM_i vítimas mortais para a via do tipo i ; C_{VM} custo unitário para uma vítima mortal; FG_i feridos graves para a via do tipo i ; C_{FG} custo unitário para um ferido grave; FL_i feridos leves para a via do tipo i ; C_{FL} custo unitário para um ferido leve; DM_i danos materiais para a via do tipo i .

4.2.4 Custos de Portagem

Segundo o Decreto-lei n.º 39/2005, de 17 de fevereiro, as tarifas de portagem são determinadas com base na classificação dos veículos em quatro classes distintas, resultante da aplicação de, entre outros, o critério da altura, medida na vertical do primeiro eixo do veículo.

No modelo são determinados os custos de portagem por cada classe de veículo quando a circulação é realizada em autoestrada. Esta opção é apenas considerada em último caso, pois as concessionárias, dependendo do tipo de contrato de concessão que têm com o Estado, evitam este cenário, pois o seu benefício resulta da cobrança de portagens.

5. CASO DE ESTUDO

O modelo desenvolvido é aplicado num caso de estudo. A metodologia adotada consiste na determinação dos custos totais atualizados, para o período de análise, através da quantificação dos custos diretos e dos utentes. A análise desenvolve-se definindo um possível cenário de intervenção. Este cenário considera-se constante independentemente dos materiais e técnicas de reparação admitidas.

A ponte escolhida, para a aplicação da metodologia, está integrada na A25, concessionada pela ASCENDI – Autoestradas das Beiras Litoral e Alta, S.A.. Localiza-se entre as cidades da Guarda e Viseu, mais precisamente no troço Celorico da Beira (pk. 137+800) / Fornos de Algodres (pk. 125+842) o qual tem uma extensão aproximada de 12,1 km. A construção desta ponte foi realizada entre maio de 2004 e julho de 2005.

Esta construção estava inserida no processo de duplicação da via para transformação do IP5 na A25, foi realizada a norte e paralelamente à ponte existente sobre a ribeira de Cortiço. Na Figura 1 é apresentada a planta da ponte em estudo e da existente.

A autoestrada A25, também denominada de E80, é uma das vias principais do norte do país, pois atravessa transversalmente o país ligando a fronteira de Vilar Formoso ao Oceano Atlântico. Esta via, no seu percurso, liga três capitais de distrito: Guarda, Viseu e Aveiro. Pela sua localização esta via é um dos principais eixos de circulação importação / exportação. Esta realidade faz com que a via tenha uma particularidade que é um grande número de veículos pesados a circular.

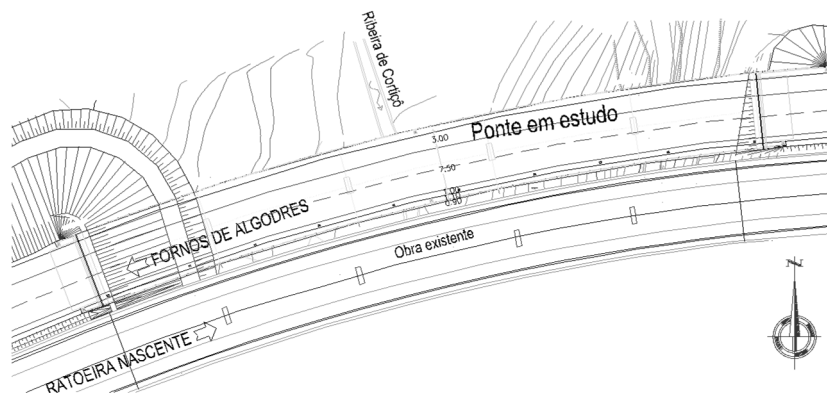


Figura 1 – Planta da ponte em estudo
(ASCENDI, 2003)

5.1 Descrição da Ponte

Esta ponte, localizada na A25, no sublanço Celorico da Beira / Fornos de Algodres, com uma extensão total de 122,00 m, é constituída por cinco vãos (22,00 m + 26,00 m + 26,00 m + 26,00 m + 22,00 m).

Na Figura 2 é apresentado o alçado da ponte onde se pode constatar que no terceiro vão existe a ribeira de Cortiço. Verifica-se que os pilares se encontram fora do leito normal da ribeira, pelo que não constituem um obstáculo ao normal escoamento da água.

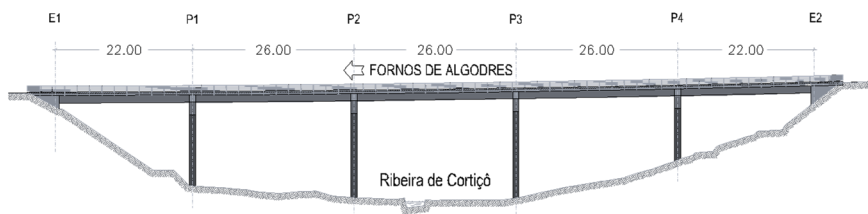


Figura 2 – Alçado da ponte sobre a ribeira de Cortiço
(ASCENDI, 2003)

A ponte existente é constituída por um tabuleiro moldado *in-situ*, apoiado em 4 pilares de secção assimilável a retangular e dois encontros. O tabuleiro é composto por duas vigas ligadas por uma laje intermédia que se prolonga para além das vigas, em consola.

Nas armaduras e peças metálicas, foram utilizados os seguintes materiais:

- armaduras ordinárias das peças de betão armado – aço da classe A 500 NR;
- guardas e perfis metálicos – aço da classe S 235;
- armaduras ativas em cordão – aço da classe Ap 1680 / 1880.

Os tipos de betão utilizados foram:

- vigas de bordadura – C 20 / 25;

- fundações, encontros e lajes de transição – C 25 / 30;
- nos pilares e tabuleiro – C 30 / 37.

5.2 Caracterização do Tráfego

Os custos dos utentes são determinados considerando o tráfego que utiliza a via. Seguidamente são apresentados os valores da distribuição do tráfego médio horário anual para o ano civil de 2012. Os valores fornecidos pela concessionária ASCENDI estão expostos no

Quadro 8. É apresentada a distribuição pela classe de veículos ligeiros e pesados para os valores do tráfego médio horário anual.

Quadro 8 – Distribuição do tráfego médio horário anual
(ASCENDI, 2012)

	Mês											
Categoria	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
% Lig.	75	73	72	76	74	74	77	85	76	76	73	77
% Pes.	25	27	28	24	26	26	23	15	24	24	27	23

Para uma mais fácil percepção da realidade, são apresentados, no Quadro 9, os valores do tráfego médio diário mensal. Verifica-se que a distribuição de tráfego ao longo de todo o ano é razoavelmente uniforme apresentando, no mês de agosto, um pico devido aos veículos de matrícula estrangeira.

Quadro 9 – Tráfego médio diário mensal
(IMT, 2017)

	Mês											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
	6.512	6.716	7.431	7.012	7.068	7.252	9.276	12.151	8.124	7.435	7.085	7.580

Na Figura 3 apresenta-se a distribuição horária média semanal registada no sentido Este / Oeste. Consta-se que a distribuição é uma distribuição típica com dois picos. Um no início do horário laboral e outro no fim desse período.

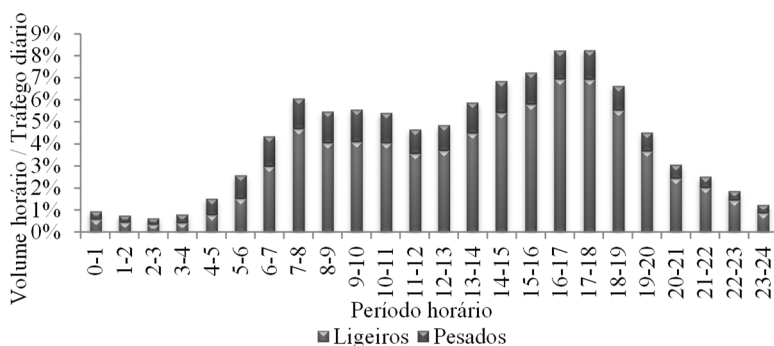


Figura 3 – Distribuição horária média semanal registrada (sentido E / O)

(ASCENDI, 2012)

Para este estudo considerou-se que o tráfego médio diário é de 7804 veículos dia, correspondente à média do tráfego médio diário mensal para o ano 2016. Para a previsão da evolução do tráfego aplicou-se uma taxa de crescimento anual constante de 1%.

5.3 Determinação do Tempo de Iniciação

Recorrendo ao modelo de deterioração, determinou-se o período de iniciação da corrosão para a alternativa considerada como base (utilização de armaduras correntes). A estratégia de reparação definida considera que as reparações são implementadas no final do período de iniciação.

O período de iniciação, para a opção base, foi determinado admitindo que o betão do tabuleiro está protegido da chuva. A classe de exposição considerada foi a XC3 (NP EN 1992-1-1, 2012). No ntes alternativas de reparação.

Quadro 10 são apresentados os valores da vida útil admitidos para as diferentes alternativas de reparação.

Quadro 10 – Vida útil das diferentes opções de reparação

Opção	Vida útil [anos]
A0 Aço corrente	30
A1 Armaduras revestidas com resina epóxida	A0 + 20
A2 Armaduras de aço galvanizadas	A0 + 5
A3 Armaduras de aço inoxidável	A0 + 80
A4 Armaduras revestidas a aço inoxidável	A0 + 50
A5 Inibidores de corrosão	A0 + 20
A6 Proteção / prevenção catódica	A0 + 35

5.4 Custos Diretos

Os custos diretos, para o cenário base, são quantificados considerando a vida útil da solução de reparação. Pelo que o período de tempo entre intervenções é igual ao tempo de iniciação para o material aplicado.

A definição da data das intervenções é realizada recorrendo à data de construção da estrutura e ao período de intervenção. Esta formulação é apresentada na Equação (9).

$$T_{i,j} = T_0 + \Delta T_j \quad (9)$$

Em que, $T_{i,j}$ representa o ano da intervenção número i da alternativa j ; T_0 o ano de construção da ponte (2005); ΔT_j o período de tempo entre intervenções da alternativa j (assumido igual ao período de iniciação).

No Quadro 11, é apresentado um estudo comparativo dos custos imediatos para as diferentes alternativas. Neste estudo, são apresentados os custos de cada opção, bem como o seu ordenamento em função da solução mais económica. Constata-se, como seria expectável, que a opção A0 (utilização de armaduras correntes) é a que apresenta os menores custos. Por outro lado, a opção A3 (utilização de armaduras de aço inoxidável) é a que apresenta um custo inicial superior. Pode-se constatar que esta solução tem um acréscimo de custo de 254%, relativamente à opção mais económica.

Quadro 11 – Estudo comparativo entre os custos diretos imediatos

Opção	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Custo [€]	123.758	150.841	161.674	437.920	221.256	148.132	274.39
Classificação	1	3	4	7	5	2	6
Acréscimo de custo relativamente à solução ótima	0%	22%	31%	254%	79%	20%	122%

Para a alternativa A0, admite-se que o período entre intervenções é igual ao tempo de iniciação das armaduras nas condições especificadas. Neste caso, com as condicionantes impostas, determinou-se que este período era de 30 anos. Admitindo a mesma regra, são apresentadas no Quadro 12 as datas de intervenção para cada uma das operações de reparação.

Quadro 12 – Datas de intervenção

Opção	Ano de construção	Vida útil	1ª Intervenção	2ª Intervenção	3ª Intervenção
A0	2005	30	2035	2065	2095
A1		50	2055	2105	-
A2		35	2040	2075	-
A3		110	-	-	-
A4		80	2085	-	-
A5		50	2055	2105	-
A6		65	2070	-	-

Da análise do Quadro 12, destacam-se a alternativa A0 (utilização de armaduras de aço corrente), por ter a vida útil mais curta, que é a alternativa que apresenta um maior número de intervenções e a A3 (utilização de armaduras de aço inoxidável), por ter a vida útil mais longa, sendo a alternativa que não necessita de qualquer tipo de intervenção. Este facto leva a que o custo da solução em que se utilizam armaduras de aço inoxidável seja o custo final pois, como não ocorre nenhuma intervenção no período de análise, não existem quaisquer custos dos utentes devido à realização das obras.

Neste estudo, para a determinação dos custos atualizados, admite-se que a inflação tem uma evolução constante de 2% ao longo de todo o período de análise e que o custo de oportunidade de capital é de 5%.

São apresentados, no

Quadro 13, os custos diretos atualizados, para o ano de 2017, resultantes das intervenções indicadas no Quadro 12 com os custos diretos referidos no Quadro 11.

Quadro 13 – Custos diretos atualizados

Opção	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Total [€]	272.306	229.347	305.107	437.920	260.344	225.229	650.545
Classificação	4	2	5	6	3	1	7
Acréscimo de custo relativamente à solução ótima	21%	2%	35%	94%	16%	0%	189%

Da análise dos resultados do

Quadro 13, constata-se que, considerando unicamente os custos diretos atualizados, a opção mais económica é a A5 (utilização de inibidores de corrosão), seguida muito de perto pela solução A1 (utilização de armaduras com revestimento epoxídico). A opção A3 (utilização de armaduras de aço inoxidável) deixa de ser a mais dispendiosa (passando a ser a alternativa A6). No entanto, para a alternativa A3 e relativamente aos custos diretos imediatos, o diferencial relativamente à solução mais económica passou de 254% para 94%.

5.5 Custos dos Utes

Quando se realizam as operações de reparação, e devido a existirem condicionamentos ao livre fluxo de tráfego, podem existir custos adicionais nos utentes. Aqui faz-se um estudo comparativo entre os custos dos utentes sem contabilizar qualquer perturbação devido à existência de obras e os custos que ocorrem devido à existência de obras. O diferencial entre estes custos será o valor atribuído a cada intervenção. O estudo é realizado de nó a nó da autoestrada A25, neste caso entre os nós 24 e 25.

O cenário base proposto resulta num corte total da via no sentido Celorico da Beira / Fornos de Algodres e o desvio de tráfego pela ponte sul sobre a ribeira de Cortiço. Este cenário implicará uma perturbação, e portanto custos nos utentes, no tráfego em ambos os sentidos, permitindo ainda assim, por parte da concessionária, a cobrança de portagens.

Admitiu-se, pela natureza das obras, que a duração de cada intervenção é de 100 dias. Durante este período, o tráfego permanecerá permanentemente desviado limitando a sua velocidade de percurso pela zona de desvio a 60 km/h. Considera-se que a zona de trabalhos se estende

a 2,5 km. Esta zona de trabalhos corresponde ao somatório da extensão da zona de aviso, zona de transição, zona de segurança longitudinal, zona de atividade e zona de transição.

Dado que, devido à existência de obras, existe a possibilidade de se formarem consideráveis filas de trânsito, considerou-se que o número máximo de veículos em fila de espera é 500. Quando for superior, o tráfego adicional será reencaminhado por uma via alternativa, que neste caso é a estrada nacional EN 16. A ligação realizada pela EN 16, entre os nós 24 e 25, tem uma extensão de 13,3 km e uma via em cada sentido. A velocidade média considerada para a travessia por esta via foi de 50 km/h.

Dado que a capacidade de uma via depende da velocidade de serviço, no Quadro 14, são apresentados os valores da capacidade de uma via para os diferentes níveis de serviço, em função do limite de velocidade. Estes valores, adaptados de TRB (2000), consideram o limite superior do intervalo de valores para a densidade das vias.

Quadro 14 – Relação entre o limite de velocidade e a capacidade máxima para os níveis de serviço de A a E (TRB, 2000)

Nível de serviço	Capacidade máxima
A	$C = 4,3V_{ser} - 2,0$
B	$C = 7,0375V_{ser} - 0,5$
C	$C = -0,01172V_{ser}^2 + 32,262V_{ser} - 1039$
D	$\begin{cases} se V_{ser} \geq 112km/h \rightarrow C = 1356 \\ se V_{ser} < 112km/h \rightarrow C = -0,0742V_{ser}^2 + 21,456V_{ser} - 117,75 \end{cases}$
E	$\begin{cases} se V_{ser} \geq 112km/h \rightarrow C = 1500 \\ se V_{ser} < 112km/h \rightarrow C = -0,0039V_{ser}^2 + 4,6938V_{ser} + 1023,2 \end{cases}$

Após a quantificação do tempo de circulação na via, em função da circulação do tráfego sem restrições, do tráfego com restrições e do tráfego desviado, quantificaram-se os custos dos utentes resultantes dos custos de operação dos veículos, dos custos do tempo, custos de acidente e dos custos de portagem.

No Quadro 15, constata-se que a alternativa A0 apresenta maiores custos, pois é aquela que impõe um maior número de intervenções (3 no total). Observa-se também que, quanto mais afastada for a data da intervenção relativamente à data do ano de referência, menor será o seu valor atualizado. Isto resulta do facto de se ter imposto um custo de oportunidade de capital de 5%. Embora também se agravem os custos, quer devido à taxa de inflação (2%) quer devido à taxa de aumento do volume de tráfego (1%), estes não conseguem, no período de análise, ultrapassar o efeito da atualização dos custos.

A melhor alternativa, considerando apenas os custos dos utentes, é a que resulta da utilização de armaduras de aço inoxidável (alternativa 3). Esta solução, como referido, possui uma vida útil (110 anos) superior ao período de análise, que neste caso se considerou ser 100 anos, não produzindo quaisquer custos aos utentes.

Quadro 15 – Custos dos utentes

Opção	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Total [€]	7.648.351	4.246.916	5.591.359	0	1.509.424	4.246.916	2.250.760
Classificação	7	4	6	1	2	4	3

5.6 Custos Totais

Estes custos são obtidos adicionando os custos diretos aos custos dos utentes. No Quadro 16, são apresentados os valores totais, a classificação de cada alternativa e o valor percentual do acréscimo de custo relativamente à solução ótima.

Quadro 16 – Custos dos utentes

Opção	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Total [€]	7.920.657	4.476.263€	5.896.466	437.920	1.769.768	4.472.145	2.901.305
Classificação	7	5	6	1	2	4	3
Acréscimo de custo relativamente à solução ótima	1709%	922%	1246%	0%	304%	921%	563%

Pode observar-se que a solução ótima é a que resulta da aplicação de armaduras de aço inoxidável. Esta solução é a única que não tem custos dos utentes, pois estes materiais têm, usualmente, uma vida útil superior ao período de análise considerado. A sua classificação resulta do facto de os custos dos utentes serem muito superiores aos custos de aplicação das técnicas. Observa-se ainda que a alternativa que prevê a utilização de armaduras revestidas a aço inoxidável está classificada em segundo lugar. Por outro lado, a solução convencional, utilização de armaduras de aço corrente, é a que apresenta um pior desempenho económico tendo um acréscimo de custo superior a 1700%.

CONCLUSÕES

A principal conclusão que se retira, da análise conjunta dos custos dos utentes e dos custos diretos, é a de que não se devem tomar as opções de investimento considerando unicamente os custos diretos. Tal como especificado nas alterações do Código dos Contratos Públicos, publicadas no Decreto-Lei n.º 111-B/2017 a 31 de agosto, deve-se recorrer, sempre que possível, à quantificação dos custos de ciclo de vida para tomar as decisões de adjudicação de empreitadas.

Os custos diretos variam, fundamentalmente, com os materiais utilizados. Verificou-se que os materiais utilizados são o principal fator gerador de custos, pois quanto menor for a sua vida útil maior será o número de intervenções que a ponte deverá sofrer, imputando-se aos utentes custos muito importantes.

Este trabalho permitiu evidenciar que os principais parâmetros da análise financeira do estudo, a inflação e o custo de oportunidade de capital, podem influenciar a decisão final sobre a escolha dos materiais a adotar. A definição, e estimativa, destes parâmetros é de extrema dificuldade quando se consideram períodos de análise muito alargados, sendo que é fundamental fazer-se uma análise de sensibilidade aos diferentes parâmetros envolvidos, para se poder tomar decisões acertadas.

Observa-se que, quando se tem em consideração apenas o custo direto e considerando os custos imediatos, a solução de aplicação de armaduras de aço corrente é a mais económica. Constata-se, no entanto, e considerando unicamente uma simples atualização dos custos diretos, que essa solução nem sequer é a mais económica quando se tem em consideração o número de intervenções no período de análise.

A aplicação de armaduras de aço inoxidável é a solução mais dispendiosa analisando apenas os custos diretos. Fazendo a análise do custo direto imediato, verifica-se que esta opção tem um acréscimo de custo de 2,5 vezes relativamente à solução das armaduras de aço corrente.

O diferencial de custo entre a alternativa que prevê a utilização de armaduras de aço inoxidável relativamente à solução de utilização de armaduras de aço corrente baixa, para cerca de 100%, quando se considera a atualização dos custos. Este facto deve-se a que, para o cenário base considerado, as armaduras de aço inoxidável atravessarem todo o período de análise sem que seja necessário qualquer intervenção, enquanto as armaduras de aço corrente necessitam de três intervenções.

Introduzindo os custos dos utentes, e dada a sua magnitude, verifica-se que o desempenho económico das alternativas pode sofrer uma significativa alteração dependendo do número total de intervenções. A solução que prevê a utilização de armaduras de aço inoxidável é, na ponte em estudo, claramente a solução mais económica devido à não existência de custos dos utentes. Consta-se também que os valores dos custos dos utentes estão em linha com os valores apresentados na bibliografia, onde vários autores referem que estes podem ser superiores aos custos diretos numa ordem de grandeza.

Como os custos dos utentes são uma parte significativa dos custos totais, da análise do tráfego para esta via pode-se constatar que os custos dos utentes para os meses de verão (julho, agosto e setembro) podem sofrer um forte agravamento, visto que para esta via o tráfego sazonal é muito significativo. Deste modo, é imperativo que o planeamento das obras tente, sempre que possível, não afetar os meses com maior volume de tráfego. Dada a magnitude dos custos dos utentes, comprovou-se que o efetivo controlo do tempo de intervenção produz poupanças que podem ser diretamente proporcionais ao tempo de realização das obras.

Da desagregação dos custos dos utentes, o estudo permite constatar, para este cenário, que os custos de travessia, quando não existem obras, resultam, principalmente, do custo de operação dos veículos e em menor escala do custo relativo ao tempo de travessia.

Quando se introduzem perturbações no tráfego, existe uma transferência do peso dos custos do cenário em que não se formam filas de espera para o cenário em que o tráfego circula com formação de filas de espera.

Constata-se que os custos de acidente, embora não sejam desprezáveis, são uma parcela que, pela sua magnitude, tem pouco significado considerando quer o tráfego sem restrições devido à não existência de obras, quer o tráfego com restrições provocadas devido à existência de obras.

Em suma pode-se concluir que dever-se-á, sempre que possível, optar por soluções que tenham uma vida útil superior ao período de análise, evitando que existam custos dos utentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASCENDI (2003). Projeto de execução da ponte 1 do sublanço Fornos de Algodres / Ratoeira Nascente. Ascendi Norte, Autoestradas do Norte, S.A.
- ASCENDI (2012). Distribuição horária média semanal. Ascendi Norte, Autoestradas do Norte, S.A.
- AUSTROADS. (2011). *Update of vehicle/road relationships underpinning road user costs and externality costs – Literature review*. Technical Report AP-T189-11, Austroads, Sydney, Australia.
- De Brito, J. and Branco, F.A. (1998). *Road bridges functional failure costs and benefits*. Canadian Journal of Civil Engineering, 25(2), National Research Council of Canada, Vancouver, pp. 261-270.
- DfT (2014). *Values of time and operating costs*. Department for Transport, Transport Analysis Guidance, U.K.. Disponível em www.dft.gov.uk/webtag/documents/expert/pdf/IU3_5_6-Jan-2014.pdf (acedido a 6 de novembro de 2017).

IMT (2017). Relatório de tráfego na rede nacional de autoestradas 1º Trimestre de 2017. Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P., Lisboa.

FHWA (2017). *National bridge inventory*. Federal Highway Administration, United States Department of Transportation, Washington D.C., U.S.A.. Disponível em <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbi/mat11.xlsx> (acedido a 10 de novembro de 2017).

Fraczek, J. (1987). *A review of electrochemical principles as applied to corrosion of steel in a concrete or group environment*. Corrosion, Concrete, and Chlorides – Steel Corrosion in Concrete: Causes and Restraints, ACI SP-102, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, pp. 13-24.

LNCE E-391 (1993). Betões – Determinação da resistência à carbonatação. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

LNCE E-465 (2007). Betões – Metodologia para estimar as propriedades de desempenho do betão que permitem satisfazer a vida útil de projeto das estruturas de betão armado ou pré-esforçado sob as exposições ambientais XC e XS. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Lopes, S.A. e Cardoso, J.L. (2007). *Accident prediction models for Portuguese motorways*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Lounis, Z. e Daigle, L. (2010). *Towards sustainable design of highway bridges*. IABMAS Bridge Maintenance, Safety, Management and Life-Cycle Optimization, Philadelphia, U.S.A..

NP EN 1992-1-1 (2010). Eurocódigo 2 – Projeto de estruturas em betão – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios. Instituto Português da Qualidade, 2010.

Papadakis, V.G., Vayenas, C.G. e Fardisb, M.N. (1991). *Experimental investigation and mathematical modelling of the concrete carbonation problem*. Chemical Engineering Science, 46(5-6), pp. 1333-1338.

PIARC (1996). *Towards an indicator of the health condition of bridges*. Committee on Road Bridges, World Road Association, Paris, France.

TRB (2000). *Highway Capacity Manual 2000*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A..

USDOT (2016). 2015 *Status of the Nation's Highways, Bridges and Transit: Condition and Performance*. United States Department of Transportation, Washington, D.C., U.S.A..

USGAO (2016). *Highway Bridges: Linking Funding to Conditions May Help Demonstrate Impact of Federal Investment*. GAO-16-779, United States Government Accountability Office, Washington, D.C., U.S.A..

Woodward, R.J., Cullington, D.W., Daly, A.F., Vassie, P.R., Haardt, P., Kashner, R., Astudillo, A., Velando, C., Godart, B., Cremona, C., Mahut, B., Raharinaivo, A., Lau, M.Y., Markey, I., Bevc, L. e Peruš, I. (2001). *Bridge management in Europe – final report*. BRIME PL97-2220.