

Avaliação de Segurança de Pontes em Betão da Rede Viária Nacional Sujeitas ao Carregamento de Veículos Militares

Eduardo Miguel Antunes Filipe
Academia Militar
Exército Português
Lisboa, Portugal

António José da Silva Costa
Instituto Superior Técnico
Universidade de Lisboa
Lisboa, Portugal

Pedro José da Silva G. Matias
Academia Militar
Exército Português
Lisboa, Portugal

Resumo — As atividades militares realizadas por parte do Exército Português exigem, frequentemente, a utilização de estruturas existentes na rede viária nacional, designadamente pontes e viadutos, para satisfazer as necessidades de deslocação das viaturas militares. Estas estruturas encontram-se dimensionadas de acordo com a regulamentação de ações associada à época na qual se realizou o respetivo projeto, pelo que importa avaliar se as normas regulamentares utilizadas no dimensionamento garantem a segurança da estrutura para uma utilização militar.

Para tal, estudaram-se os diferentes regulamentos de ações utilizados nas últimas décadas, designadamente as sobrecargas rodoviárias correspondentes, por forma a compreender a evolução das ações consideradas no projeto e dimensionamento de estruturas de pontes. Deste modo, pretende-se obter a relação existente entre as sobrecargas regulamentares e a sobrecarga militar relativa a uma utilização mista, nomeadamente de tráfego normal e circulação de viaturas militares.

No que diz respeito ao carregamento militar considerou-se a atuação de uma viatura de lagartas e de rodas, cuja classificação de carga militar corresponde à regulamentação aprovada pela NATO e prevista nas normas STANAG. Realizou-se a verificação de segurança da estrutura do tabuleiro de três obras inseridas na autoestrada A1, com soluções estruturais diferentes e projetadas de acordo com regulamentos de ações distintos.

I. INTRODUÇÃO

A regulamentação NATO relativa ao sistema MLC considera 32 veículos hipotéticos, sendo estes igualmente repartidos entre viaturas de rodas e de lagartas, nos quais se salienta as diversas configurações dos primeiros relativamente ao número de rodas e respetivos eixos. Deste modo, os veículos militares encontram-se caracterizados por 32 classes, designadamente entre a MLC 4 e MLC 150. Relativamente à classificação de pontes, são definidas características adicionais como a altura do centro de gravidade, área do vento lateral e altura do centro de pressão. Salienta-se o facto de a classificação atribuída pelo sistema MLC ser apenas uma forma de classificação associada a veículos militares, não correspondendo este valor à massa dos mesmos no que diz respeito a veículos de rodas, pois nesta situação são considerados aspetos como a carga máxima por eixo, largura de contato do pneu e espaçamento entre eixos. [1]

II. ANÁLISE GLOBAL – ABORDAGEM PRELIMINAR

Por forma a ter em consideração a evolução da regulamentação relativa às sobrecargas rodoviárias, realizou-se uma análise simplificada dos efeitos produzidos pelas diferentes ações associadas aos regulamentos utilizados em projetos de estruturas de pontes ao longo das últimas décadas. Uma vez que os vários regulamentos consideram diferentes sobrecargas rodoviárias, a análise comparativa realiza-se para uma determinada largura da faixa de rodagem.

Assim, considera-se uma faixa de rodagem composta por duas vias de 3,5 metros e duas bermas de 1,0 metros, traduzindo-se numa largura total correspondente a 9,0 metros. A comparação será realizada em termos de esforço global atuante em tramos de tabuleiro com diferentes vãos, sendo que o esforço global considerado diz respeito ao momento fletor total. Esta abordagem simples permite, numa primeira análise, verificar se existem deficiências em termos da resistência do tabuleiro de obras dimensionadas de acordo com os diferentes regulamentos, tratando-se assim dos designados efeitos gerais das sobrecargas.

Nesta análise não se encontram considerados os efeitos locais em que a sobrecarga condicionante corresponde ao efeito do veículo tipo. Relativamente à circulação de viaturas militares, considera-se o carregamento associado a veículos de lagartas da classe 70 (63,5 t) e veículos de rodas da classe 100 (104,3 t), de acordo com a classificação de carga militar prevista na regulamentação NATO.

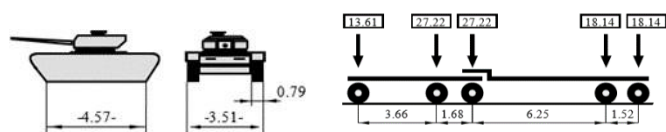


Figura 1. Características dos veículos tipo de lagartas e de rodas [STANAG]

Define-se uma via reservada para circulação exclusiva de viaturas militares, sendo que as restantes vias se encontram sujeitas ao carregamento dos veículos tipo previstos no Eurocódigo 1, nomeadamente o veículo tipo 2 e o veículo tipo 3, bem como a atuação da respetiva sobrecarga uniforme. A situação de carga em questão encontra-se definida no quadro abaixo:

TABELA 1. SITUAÇÃO DE CARGA PARA A CIRCULAÇÃO DE UMA COLUNA MILITAR COM VIA RESERVADA

	Carga por eixo [KN]	Sobrecarga uniforme [KN/m ²]
Via 1 (tráfego militar)	Fig. 1	0
Via 2 (tráfego normal)	200	2,5
Via 3 (tráfego normal)	100	2,5

Admitindo que uma situação corrente de circulação militar apresenta condições de travessia normais, o índice de fiabilidade β associado a este cenário corresponde a 3,3, tal como previsto pelo STANAG. Deste modo, obtém-se um coeficiente parcial γ_O de valor 1,35.

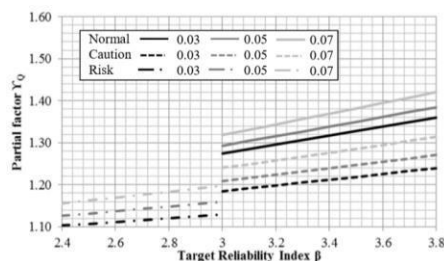


Figura 2. Coeficiente de segurança para ações variáveis segundo diferentes condições de travessia e uma incerteza do modelo entre 3% e 7%

Afetando a sobrecarga militar e as sobrecargas regulamentares dos coeficientes de segurança correspondentes a 1,35 e 1,5 respetivamente, obtém-se o momento fletor total associado aos carregamentos.

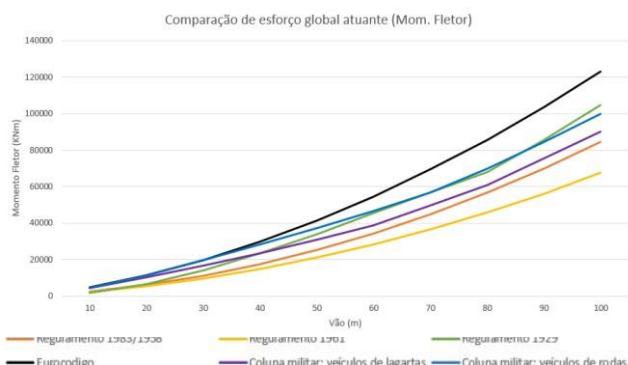


Figura 3. Comparação de esforço global atuante afetado de coeficiente de segurança segundo vários regulamentos

III. ESTUDOS DE CASO – VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA DO TABULEIRO

Neste capítulo efetua-se a verificação da segurança do tabuleiro de três obras com soluções estruturais diferentes, projetadas de acordo com a regulamentação antiga.

A. Viaduto de Alhandra

De acordo com a regulamentação aprovada pela NATO, os coeficientes parciais relativamente a verificações de segurança que envolvam a circulação de veículos militares correspondem a 1,2 e 1,35 para ações permanentes e variáveis, respetivamente.

TABELA 2. ESFORÇOS ATUANTES MÁXIMOS NAS VIGAS LONGITUDINAIS PARA A COMBINAÇÃO FUNDAMENTAL DE AÇÕES

		Carregamento militar			
		Momento fletor [kNm]		Esforço transversal [kN]	
		$M_{Sd, 1/2 \text{ vão}}$	$M_{Sd, 1/4 \text{ vão}}$	$V_{Sd, apoio}$	$V_{Sd, 1/4 \text{ vão}}$
V1-8		1398,6	1045,2	346,3	211,8
V9		904,4	677,6	209,9	118,7

Deste modo, encontram-se na tabela seguinte os valores dos momentos resistentes relativos às seções de controlo do tabuleiro, sendo que na análise considerou-se apenas a atuação do pré-esforço interior, tendo sido desprezado o efeito do pré-esforço relativo à intervenção de reforço na estrutura.

TABELA 3. MOMENTO RESISTENTE NAS SECÇÕES DE CONTROLO DAS VIGAS LONGITUDINAIS

	Momento resistente [KNm]	
	$M_{Rd, 1/2 \text{ vão}}$	$M_{Rd, 1/4 \text{ vão}}$
V1-8	1219	1060
V9	1340	1135

$$\begin{aligned} M_{PE} &= P_{\acute{u}til} \times e = 500 \times 0,72 = 360 \text{ KNm} \\ \Rightarrow M_{Rd\text{total}} &= 1219 + 360 = 1579 \text{ KNm} \end{aligned} \quad (1)$$

Constata-se que a verificação da segurança é satisfeita se for considerado o acréscimo de resistência associado ao efeito do pré-esforço exterior.

B. Viaduto sobre o rio Trancão



Figura 4. Vista 3D das secções de controlo: apoio das vigas na ligação aos montantes e secções de meio vão correspondente

TABELA 4. DISPOSIÇÃO TRANSVERSAL DA SOBRECARGA RELATIVA AO CARREGAMENTO MILITAR

	Faixa de rodagem 1			Faixa de rodagem 2		
Nº via	1	2	3	1	2	3
VT (carga total) [KN]	635	400	200	400	200	0
SCU [KNm]	0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

A verificação de segurança foi realizada tendo em consideração as combinações de ações associadas aos diferentes carregamentos e envolvendo as cargas permanentes e as várias sobrecargas.

TABELA 5. ESFORÇO DE FLEXÃO ATUANTE MÁXIMO NAS VIGAS LONGITUDINAIS PARA A COMBINAÇÃO FUNDAMENTAL DE AÇÕES

		Vigas – Momento fletor [KNm]			
Secções de controlo		1	2	3	4
Regulamento 1929	UDL	-896,8	1610,4	-1087,4	2080,4
	TS	-561,0	1201,2	-779,6	1322,6
Regulamento 1958	UDL	-715,4	1516,9	-910,9	1791,6
	TS	-674,9	1771,5	-887,0	1777,5
Sobrecarga militar		-731,3	1943,5	-939,8	2091,5

TABELA 6. CAPACIDADE RESISTENTE À FLEXÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS LINEARES NAS SECÇÕES DE APOIO E A MEIO VÃO

	Momento resistente [KNm]
Secção 1	-2118
Secção 2	2503
Secção 3	-2766
Secção 4	2184

Verifica-se que os elementos analisados verificam a segurança relativamente a esforços de flexão.

C. Viaduto sobre o rio de Mouros

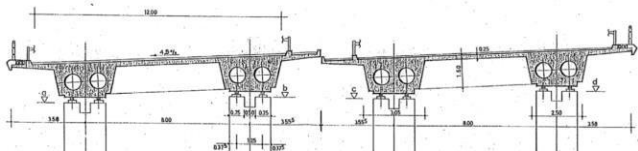


Figura 5. Desenho de projeto da estrutura do tabuleiro em laje nervurada (corte transversal)

TABELA 7. ESFORÇOS DE FLEXÃO NO APOIO E A MEIO VÃO DO TRAMO CENTRAL DO TABULEIRO

		Momento fletor [KNm]		
		1983 (VT)	1983 (SCU+SCL*)	SC militar
Combinação característica	½ vão	11692,6	13780,4	19353,2
	Apoio	-13019,1	-16232	-17243,6
Combinação fundamental	½ vão	15311,5	18443,1	24241,5
	Apoio	-18395,3	-23214,6	-21803,5

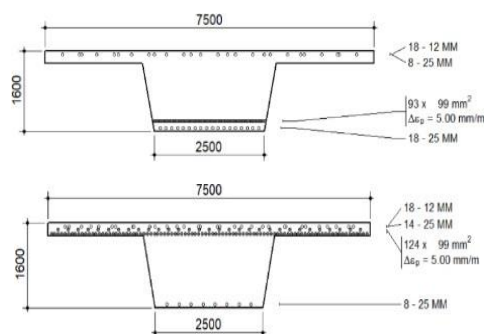


Figura 6. Modelação das secções de ½ vão (cima) e de apoio (baixo)

Deste modo, resultam os seguintes valores relativamente ao momento fletor resistente:

- Secção a meio vão: $M_{Rd} = 22772 \text{ KNm}$;
- Secção do apoio: $M_{Rd} = -25648 \text{ KNm}$.

Verifica-se que na secção do apoio o momento resistente é superior ao momento atuante e na secção a meio vão o esforço de flexão atuante é superior à respetiva capacidade resistente, pelo que se conclui que a estrutura do tabuleiro não verifica a segurança relativamente ao Estado Limite Último de Flexão.

IV. CONCLUSÕES

Considerando a análise global realizada e tendo por base os resultados obtidos na avaliação de segurança dos casos de estudo abordados, verifica-se que as pontes cujo projeto diz respeito à regulamentação antiga, nomeadamente o Regulamento de Pontes Metálicas (1929), apresentam uma menor tendência para originar problemas de segurança estrutural quando sujeitas a carregamentos militares. Por outro lado, devido à adoção de sobrecargas menos desfavoráveis comparativamente com a regulamentação anterior, as estruturas dimensionadas segundo os regulamentos de ações mais recentes, como o Regulamento de Segurança e Ações (1983), apresentam uma maior tendência para originar problemas de segurança face a uma utilização militar.

No que diz respeito a obras com um comprimento de vão pequeno a intermédio, até cerca de 30 a 40 metros, conclui-se que as várias sobrecargas regulamentares conduzem a esforços relativamente semelhantes, sendo que o carregamento militar induz esforços na estrutura superiores aos anteriores. Para vãos superiores a 40 metros, a sobrecarga associada à circulação dos veículos militares de lagartas e de rodas considerados, nomeadamente da classe 70 e da classe 100, conduz a esforços ligeiramente superiores comparativamente com as sobrecargas rodoviárias dos Regulamentos de 1983 e 1929, respetivamente. Como tal, nas situações para as quais seja previsível que, através de informações relacionadas com a classe dos veículos militares em causa e as características da ponte que os mesmos pretendem atravessar, os esforços atuantes relativos ao carregamento militar sejam idênticos ou superiores aos das sobrecargas utilizadas no dimensionamento da estrutura, o tráfego militar deve ser condicionado ou reservado, por forma a evitar o risco de colapso da estrutura ou a ocorrência de danos permanentes na mesma.

Nestas situações, a circulação de viaturas militares deve realizar-se a uma velocidade moderada, no centro da faixa de rodagem, devendo encontrar-se apenas um veículo em cada vão estruturalmente independente, sendo que o restante tráfego rodoviário deve ser temporariamente condicionado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Doutor António José da Silva Costa, meu orientador, pela constante disponibilidade e apoio demonstrado ao longo da realização do presente trabalho, assim como pela revisão científica e bibliográfica, na qual o acompanhamento e o conhecimento técnico e científico por parte do docente foram essenciais, tanto na realização do trabalho como no período letivo antecessor. Agradeço igualmente ao Tenente-Coronel Pedro Matias, coorientador deste trabalho de investigação, por toda a ajuda e disponibilidade prestada durante o período correspondente à respetiva elaboração, cuja motivação demonstrada e auxílio na correção e revisão científica, assim como na relação fundamental com a componente militar associada a este trabalho, foram cruciais para o sucesso no cumprimento dos objetivos a que inicialmente me propus.

Um agradecimento especial à minha família, que me acompanha desde sempre em todas as etapas importantes da minha vida, cuja presença, compreensão e motivação são sempre aspetos fundamentais para o sucesso nos momentos mais difíceis e desafiantes.

Por último, um agradecimento muito especial à minha namorada, companhia de todos os momentos e fonte de força e inspiração, pela total e permanente ajuda e preocupação, pela presença, amizade e amor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NATO Standard (2017) AEP-3.12.1.5, Military Load Classification of Bridges, Ferries, Rafts and Vehicles, Edition A, Version 1



E. A. Filipe nasceu a 31 de janeiro de 1996, em Castelo Branco, Portugal. Em 2014, concluiu o Ensino Secundário no Liceu Nuno Álvares e ingressou na Academia Militar, onde se encontra atualmente a terminar o Mestrado Integrado em Engenharia Militar, especialidade de Engenharia Civil - Estruturas.