Resumo

A análise do comportamento estrutural para avaliar o estado de conservação do património construído, constitui um domínio de investigação actual e de reconhecido interesse cientifico e técnico. O tema assume maior importância no âmbito das construções de grande valor histórico e cultural, como é o caso dos monumentos, em que a complexidade da análise estrutural é, em geral, o factor condicionante.

Neste contexto, descreve-se no presente trabalho, a análise do comportamento estrutural da ponte da Lagoncinha, monumento nacional classificado desde 1943 pela Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN), construída na época medieval em Lousado, sobre o rio Ave e no itinerário da actual EM 508.

A ponte da Lagoncinha exibe, no seu estado actual, determinados danos supostamente relacionados com excessivas cargas devidas a tráfego rodoviário. Neste sentido, procedeu-se à modelação e análise da estrutura da ponte, com particular detalhe nos arcos, com o objectivo de identificar os efeitos do tráfego existente e averiguar em que medida os danos realmente observados se podem atribuir àquela solicitação. O estudo reveste-se de um cariz essencialmente numérico, porém com recurso a ensaios experimentais de caracterização dos materiais e da estrutura.

A análise numérica foi efectuada através da modelação tridimensional da estrutura da ponte recorrendo ao programa geral de cálculo estrutural estático e dinâmico CAST3M, baseado no método dos elementos finitos. Precedendo a análise estrutural, foi efectuado um extenso levantamento fotogramétrico da ponte, complementado e validado com técnicas topográficas tradicionais. Conhecidas as características geométricas da ponte, procedeu-se à discretização dos blocos de pedra dos arcos em elementos finitos volumétricos, blocos esses devidamente individualizados entre si por forma a permitir modelar o comportamento das interfaces entre eles.

A definição das propriedades mecânicas dos materiais foi baseada em resultados experimentais já existentes, relativos a estruturas antigas de alvenaria de pedra, e em outros ensaios realizados na ponte em estudo. Estes resultados, e em particular os obtidos em testes de caracterização dinâmica, permitiram a calibração do modelo numérico adoptado.

À semelhança de estudos anteriores, a grande dimensão da estrutura em apreço determinou que fosse adoptada uma metodologia de análise simplificada que permitiu, por um lado, avaliar o comportamento global da estrutura e, por outro, analisar o comportamento local de partes da estrutura. Numa fase inicial, a estrutura foi analisada em condições de comportamento linear elástico dos materiais, sob a acção do seu peso próprio e do tráfego rodoviário, tendo sido esta última solicitação simulada por cargas rolantes concentradas e uma carga uniformemente distribuída.

Numa fase posterior, e pretendendo-se realizar uma análise mais detalhada, foram seleccionados os dois primeiros arcos do lado norte da ponte, onde foi activado o comportamento não-linear das juntas entre blocos. Foi então e analisado o resultado da aplicação das cargas rolantes naquela zona

estrutural e, adicionalmente, foi também considerada a actuação de assentamentos no encontro norte da ponte.

Os resultados de cada análise foram obtidos sob a forma de máximos deslocamentos, tensões e deformações, e em particular de aberturas de juntas, a partir dos quais foi possível avaliar em que medida as acções consideradas são responsáveis pelos danos observados.

Abstract

The structural behaviour analysis for the assessment of the state of conservation of the built heritage constitutes, presently, a research field of great interest. The theme assumes greater importance for constructions of considerable historical and cultural value, as in the case of monuments, where the structural analysis complexity is, in general, the most important factor.

In this context, the present work addresses the structural behaviour analyses of the Lagoncinha bridge, a national monument classified since 1943 by the General Directorate of Buildings and National Monuments (DGEMN), built in the medieval period in Lousado, over the Ave river in the present EM 508 itinerary.

The Lagoncinha bridge shows some damage, possibly related to excessive loads due to road traffic. Therefore, structural modelling and analysis was carried out for the whole bridge, with particular detail in the arches, aiming at identifying the existing traffic effects and at finding out to which extent the observed damages are really caused by such loads. The analysis is essentially numeric, but with support of experimental test results used for the characterisation of structural materials.

The numerical study has done bu recourse to three-dimensional modelling of the structure with the general purpose computer code CAST3M for static and dynamic structural analysis, based on the finite element method. Preceding the structural analysis, a broad photogrametric survey was carried out for the bridge, complemented and validated with traditional topographic techniques. Once defined the geometric data of the bridge, the stone blocks were modelled with solid finite elements, each block being duly individualised in order to consider the behaviour of interface elements.

The definition of mechanical properties of materials was based on existing test results relative to other stone masonry ancient structures and on other tests performed on the bridge under analysis. These results, in particular these obtained from dynamic characterisation test of the bridge behaviour, allowed for the calibration of the adopted numerical model.

Because of the considerable dimension of the structure in survey, a method of simplified analysis was used, permitting the global behaviour assessment of the structure and, also, to check the local behaviour of certain elements of the structure. Thus, a first step consisted in the linear elastic analyses of the bridge structure subjected to gravity loads and to road traffic loading, the later simulated by vertical moving concentred forces and a uniformly distributed load.

Then, aiming at a more detailed analysis, a zone of the structure was selected (two arches), where the no-linear behaviour was activated in the joints between blocks. This restricted zone was further analysed under the acting of traffic loading and also of soil settlements in the north abutment of the bridge.

Results of this analysis were obtained in terms of maximum displacements, stresses and deformations and particularly joint opening, from which it was possible to identify zones undergoing large deformations and to decide if these actions are actually responsible for the observed damage in the bridge.