

Resumo

O trabalho que se apresenta tem como objectivo a investigação de aspectos particulares no domínio do Betão Armado, utilizando como técnica preferencial a análise experimental em modelos realizados e ensaiados pela autora no exercício das funções desempenhadas na Faculdade de Engenharia do Porto.

Os temas visados referem-se essencialmente à acção do esforço transversal, associado ou não aos efeitos do esforço axial, em lajes e em vigas de betão armado e pré-esforçado e à análise comparativa de comportamentos determinados por dimensionamentos à flexão segundo critérios distintos, a análise elástica ou o método plástico, tanto na vertente da deformabilidade como na da resistência.

Os modelos físicos ensaiados foram sempre que possível interpretados e comparados com modelos matemáticos reproduzindo fenómenos análogos.

Apresenta-se, no Capítulo 1, uma introdução às metodologias utilizadas na experimentação, aos critérios de interpretação e análise dos resultados. São abordadas as noções fundamentais relativas à experimentação em modelos bem como a incidência dos efeitos de escala na modelação. Descrevem-se ainda as técnicas e equipamentos utilizados na experimentação em laboratório e na observação de estruturas e os ensaios especiais associados.

No Capítulo 2 é estudada a influência do esforço normal na capacidade resistente de vigas ao esforço transversal através de um extenso conjunto de ensaios sobre vigas de secção em T de betão armado e de betão pré-esforçado, com armadura transversal variável. Para três valores crescentes de pré-esforço, introduzido por cabos pré-esforçados exteriores à secção, foi avaliada a contribuição da compressão axial na capacidade última e no mecanismo de rotura das vigas.

No mesmo capítulo é também analisada a contribuição do betão na resistência ao esforço transversal em vigas solicitadas à flexão, procurando obter a sua quantificação através da medição das extensões nos estribos da armadura transversal.

Os resultados experimentais são comparados com os resultantes da aplicação de diferentes modelos teóricos - modelos regulamentares, modelos plásticos e um modelo numérico de análise não linear, que se descrevem no Capítulo 3, apresentando-se um comentário crítico das diferentes metodologias e do seu desempenho no problema em estudo.

A influência do pré-esforço na resistência ao punçoamento é estudada no Capítulo 4. A eficiência de um sistema de pré-esforço constituído por um conjunto de fios envolvendo o cone de punçoamento, numa laje de betão armado, é claramente demonstrada, não só no aumento da resistência ao punçoamento como da própria resistência à flexão. Descreve-se ainda um ensaio sobre uma laje (viga larga) de betão armado contínua de dois tramos, no qual é também explorada a redistribuição entre os momentos sobre o apoio de continuidade e nos vãos na análise da segurança em termos de acções.

O Capítulo 5 descreve o estudo comparativo do comportamento de modelos de lajes com armaduras dimensionadas segundo dois critérios diferentes - a teoria elástica e o método das linhas de rotura - para duas localizações diferentes das solicitações e dos apoios. São analisadas as deformações e a capacidade resistente última, comparando-se simultaneamente os consumos de armaduras utilizados em cada caso. Os resultados evidenciam um comportamento mais favorável das lajes dimensionadas de acordo com a distribuição dos momentos elásticos, essencialmente no caso em que a variabilidade da grandeza dos momentos elásticos no domínio da laje exigia um maior percurso de redistribuição para a concretização das charneiras plásticas.

No Capítulo 6 é avaliada experimentalmente a capacidade de rotação de secções de peças lineares de betão armado em estado último de resistência, pela exploração de mecanismos definidos como limite superior de resistência decorrente do teorema cinemático da teoria da plasticidade, visando obter uma medida de segurança para além dos estados limites permitidos pela regulamentação. É apresentada uma análise comparativa de dois estudos experimentais sobre vigas contínuas de dois tramos de betão armado com dimensionamentos distintos à flexão - o primeiro de acordo com os esforços elásticos e o segundo para uma redistribuição de 50% dos momentos de continuidade. O comportamento experimental é analisado através da aplicação de um modelo numérico de análise não linear e de um modelo de escoras-e-tirantes.

No mesmo capítulo, é estudada a influência do esforço transversal na limitação da capacidade de rotação de secções através de um programa experimental sobre vigas de betão armado dimensionadas para o mesmo momento flector último, fazendo-se variar o valor do esforço transversal associado através da localização de cargas concentradas em diferentes secções. A medição das rotações relativas de pares de secções a diferentes distâncias da secção crítica permitiu avaliar aproximadamente o comprimento da rótula plástica e o valor da rotação da secção crítica nas várias fases do carregamento. Os resultados obtidos nos diferentes modelos ensaiados não permitiram evidenciar qualquer intervenção do esforço transversal na limitação da capacidade rotacional das secções.

Por fim, extraem-se algumas conclusões do trabalho realizado e sugerem-se vias para desenvolvimentos futuros.

Abstract

The present work reports a research concerning some aspects of the structural behaviour of concrete beams and slabs. The experimental method was used on models constructed and tested by the author at the Civil Engineering Department of the Oporto University.

The main subjects analysed were the influence of axial compression on the shear capacity of reinforced and prestressed concrete beams and plates and the comparative structural behaviour derived from different design methods, namely the linear elastic method and the plastic method.

Physical models and experimental results were interpreted by using analytical models developed for the same purpose.

An introduction to the experimental analysis methods and technologies is made on Chapter 1. Fundamentals of model scaling, similitude requirements and size effects are presented as well as a general description of experimental techniques and instrumentation used in laboratory and in the observation and structural evaluation of engineer constructions.

For the analysis of the influence of axial compression on the beams capacity to transverse load an extensive experimental study is carried out on reinforced and prestressed concrete beams, with or without transverse reinforcement (Chapter 2). Three different prestressed levels were introduced by external cables and their contribution onto the ultimate strength and on the failure mechanism has been evaluated. On the same Chapter the concrete shear-carrying capacity in bending is investigated on two tests on T-beams under flexural loading by measuring the strains on the stirrups with increasing load up to the collapse. An evaluation of the concrete shear contribution is tried.

On Chapter 3, the experimental results are compared with the ones determined by the use of theoretical models for the evaluation of shear strength, namely concrete code models, plastic models including strut-and-tie models and a nonlinear analysis numerical model, are applied and the results are discussed and compared with the experimental values. A critical analysis of their performance and reliability is presented.

The contribution of prestressing on the punching strength of slabs is described on Chapter 4. The layout of partially unbounded tendons was devised so as to surround the critical punching failure surface. The efficiency of the tendon layout on punching and bending strength has been confirmed by the experimental results. A test on a two-way plate model is also described. In this test, the redistribution of moments between the central support and the spans is explored.

On Chapter 5, a comparative study of plate models design by two different approaches - the linear elastic analysis and the yield line theory - is carried out. For two different locations of the loads and the supports the deformational behaviour and the ultimate load capacity are compared as well as the reinforcement area used on each model. The results show a more favourable behaviour of the plates design under the linear elastic method, specially when the variability of the elastic moments over the plate demand a larger moment redistribution way for the development of the yield lines.

On Chapter 6, the rotation capacity of plastic hinges is evaluated, exploring the mechanisms defined as the upper limit of the kinematic theorem of the limit analysis theory, as a way of obtaining a redistribution factor beyond the recommended ranges by the concrete codes with the same safety level.

A comparative analysis of tests performed on two reinforced concrete beams designed under different redistribution of moment conditions, the first one according to the elastic distribution of moments and the second one according to the redistributed moments with a reduction of 50% in the continuity moment, throughout their entire load history is shown. The experimental evolution of the cracking and

moment distribution under vertical loading is analysed. A numerical non linear analysis model and a strut and tie model are also applied.

In the same Chapter it is also studied the influence of the shear effect on the rotational capacity of plastic hinges. An experimental programme on concrete beams with the same ultimate bending capacity associated to different values of the transverse load has been carried out. The length and the rotation of the plastic hinge have been evaluated by measuring the relative rotations between cross-sections which are symetric with respect to midspan. The results obtained could not confirm any influence of shear on the rotational capacity .

Finally, some major conclusions of this work are drawn, suggesting also ways for future developments.