

## 40\_41 BETÃO ESTRUTURAL

## COMPORTAMENTO DE LAJES FUNGIFORMES SUJEITAS A ACÇÕES HORIZONTAIS CÍCLICAS

António Pinho Ramos, Prof. Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa, CERIS

As estruturas em laje fungiforme apresentam várias vantagens, como sejam a facilidade de construção, a possibilidade de redução da altura total do edifício, a liberdade de utilização do espaço arquitetónico interior e o facto de constituírem uma solução economicamente interessante para as estruturas típicas de uso residencial, comercial e de escritórios. Estas vantagens levaram à sua crescente utilização em termos globais, mesmo em zonas de moderada a elevada sismicidade.

No entanto, as ligações pilar-laje fungiformes podem ser vulneráveis a roturas por punção, em especial durante a ocorrência de uma ação sísmica, com potenciais danos humanos e económicos elevados. Apesar de este fenómeno estar razoavelmente bem estudado para as ações monotónicas verticais, o mesmo não se passa para as ações horizontais cíclicas. Usualmente, estas estruturas são consideradas como sendo secundárias em termos de resistência a esforços horizontais, mas no entanto deverão ser capazes de suportar as cargas gravíticas durante a ocorrência de deslocamentos horizontais originados pela ação sísmica.

o que se verifica na realidade. Nestas condições de ensaio, as linhas de momento nulo devido às cargas verticais e horizontais são coincidentes e mantêm a sua posição fixa, não existindo a possibilidade de redistribuição do momento fletor do apoio para o vão. Além disso, os elementos que impedem o deslocamento vertical dos bordos podem receber uma parte significativa da carga gravítica aplicada aos modelos, condicionando a sua degradação.

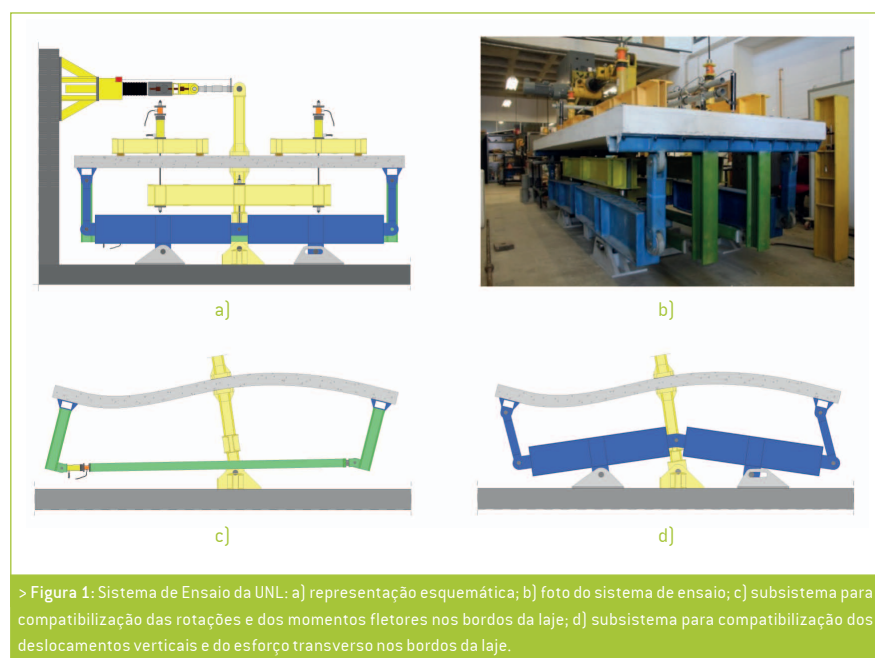
Na Universidade NOVA de Lisboa, no âmbito do projeto FLAT [6] e com o objetivo de aproximar o comportamento dos modelos ao de uma laje fungiforme inserida numa estrutura real, foi concebido um sistema de ensaio inovador. Para as cargas gravíticas, os bordos do modelo que representam as secções de meio vão dos painéis de laje adjacentes ao pilar, devem ter momento fletor positivo, rotação e esforço transversal nulos e iguais deslocamentos verticais. Para as ações horizontais, os deslocamentos verticais e rotações nos bordos devem ser iguais entre si, os momentos fletores são iguais e de sinal contrário e os esforços transversos assumem valor simétrico.

Para a aplicação das cargas gravíticas e para garantir que estas se mantêm constantes durante o ensaio, foi concebido um sistema equilibrado fechado, através do qual as cargas são encaminhadas para o troço inferior do pilar, em detrimento dos sistemas frequentemente utilizados de fixação à laje de reação do laboratório ou de suspensão de elementos pesados (Fig. 1.a).

A compatibilização das rotações nos bordos opostos dos modelos é concretizada através da utilização de duas escoras bi-rotuladas ligadas a perfis metálicos verticais encastados nos bordos da laje (Fig. 1.c). Para garantir a compatibilização das condições de fronteira relativas ao esforço transversal e aos deslocamentos verticais nos bordos opostos, foi desenvolvido um sistema mecânico passivo, representado na Fig. 1.d. Este sistema garante que, para as cargas verticais, o esforço transversal é nulo nos bordos da laje. Para a ação horizontal, este sistema impede a rotação de corpo rígido da laje através da imposição de forças verticais de igual valor nos bordos opostos.

## SISTEMA INOVADOR DE ENSAIO EXPERIMENTAL

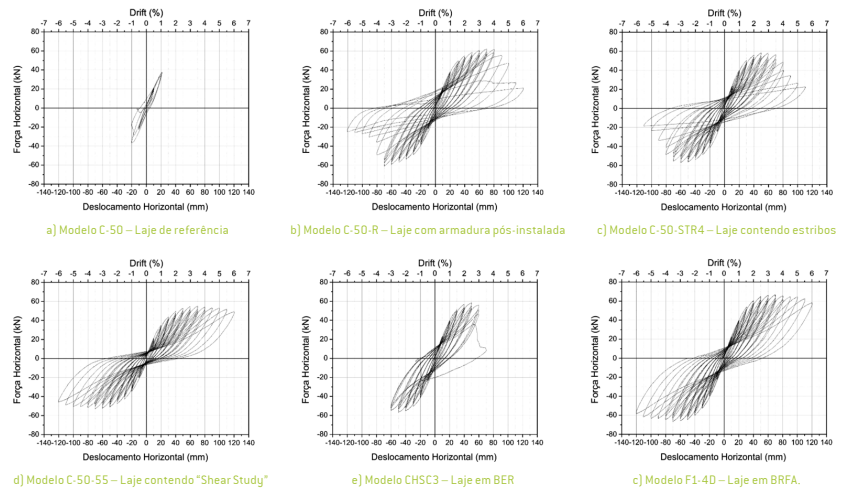
Uma das formas eficientes de obter informação sobre o comportamento de lajes fungiformes sob ações sísmicas, é a realização de ensaios de ligações pilar-laje fungiforme sujeitas a carregamento horizontal cíclico. Numa revisão da literatura existente constata-se facilmente que a esmagadora maioria dos ensaios experimentais realizados sobre este assunto foram desenvolvidos na América do Norte [1], apesar de existirem alguns exemplos realizados na Europa [2-4] numa abordagem mais europeia. A maioria dos ensaios realizados sobre esta temática utilizam condições de fronteira muito simplificadas, tais como o deslocamento vertical dos bordos impedido e a permissão da rotação livre dos bordos, o que não reproduz



## RESULTADOS OBTIDOS

No âmbito do projeto referido, e noutro que lhe sucedeu (HiCon [6]), foram realizados ensaios para estudo de diversas situações: lajes sem armadura específica com diversos níveis de carregamento vertical, com diversos tipos de armadura (estribos, armadura pós-instalada, conectores) e com uso localizado de Betão de Alta Resistência (BER) e de Betão Reforçado com Fibras de Aço (BRFA).

A Fig. 2 apresenta alguns exemplos de comportamento histerético observado nos modelos ensaiados. Em todos os modelos dessa figura, a carga vertical inicialmente aplicada foi de 50% da carga de rotura prevista para a laje de referência, mantendo-se esta constante ao longo do ensaio. Como se pode observar, a capacidade de deformação da laje de referência foi baixa (cerca de 1% de drift horizontal). Em todas as restantes soluções, a capacidade de deformação da estrutura foi mais elevada, sendo, em todas elas, superior ao exigível para a esmagadora maioria das aplicações estruturais deste tipo de solução. ■



> Figura 2: Comportamento histerético.

## REFERÊNCIAS

- [1] António Ramos, Rui Marreiros, André Almeida, Brisid Isufi, Micael Inácio, Punching of Flat Slabs under Reversed Horizontal Cyclic Loading, ACI Fall Convention 2016, Philadelphia, October 2016.
- [2] André F.O. Almeida, Micael M.G. Inácio, Váiter J.G. Lúcio, António Pinho Ramos, Punching behaviour of RC flat slabs under reversed horizontal cyclic loading, Engineering Structures, Volume 117, 15 June 2016, Pages 204-219, ISSN 0141-0296, <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.03.007>.
- [3] Ioannis-Sokratis Drakatos, Aurelio Muttoni, Katrin Beyer, Internal slab-column connections under monotonic and cyclic imposed rotations, Engineering Structures, Volume 123, 15 September 2016, Pages 501-516, ISSN 0141-0296, <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.05.038>.
- [4] R. Zaharia, F. Taucer, A. Pinto, J. Molina, V. Vidal, E. Coelho and P. Candeias, "Pseudodynamic Earthquake Tests on a Full-Scale RC Flat-Slab Building Structure," European Community, Institute for the Protection and Security of the Citizen, European Laboratory for Structural Assessment (ELSA), Ispra, Italy, 2006.
- [5] Relatório Final do Projeto FLAT – Comportamento de Lajes Fungiformes Sujeitas a Acções Cíclicas e Sísmicas, Departamento de Engenharia Civil, Universidade NOVA de Lisboa, Julho de 2014.
- [6] Relatório Final do Projecto HiCon – Rational Use of High Strength Concrete in Flat Slab Structures under Cyclic and Seismic Actions, Departamento de Engenharia Civil, Universidade NOVA de Lisboa, Outubro de 2015.