

REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL DE ESTRUTURAS -REFORÇO DE LAJES DE EDIFÍCIOS EM BETÃO ARMADO-

Duarte Faria

Válter Lúcio

António Pinho Ramos

Departamento de Engenharia Civil - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

SUMÁRIO

A adopção de lajes fungiformes em edifícios é uma solução comum devido a ser um sistema económico, de fácil construção e rápido. Um dos maiores inconvenientes deste sistema tem a ver com a existência de uma elevada concentração de tensões na zona de ligação laje-pilar. Devido uso generalizado deste tipo de laje, surgiu também a necessidade de se estudarem métodos/sistemas de reforço adequados. Neste trabalho apresenta-se um sistema de reforço de lajes fungiformes desenvolvido na FCT/UNL, que permite a reabilitação sustentável de pisos construídos em laje fungiforme.

1. INTRODUÇÃO

As lajes fungiformes são lajes que apoiam directamente em pilares e apresentam várias vantagens das quais se destacam: permitem opções arquitectónicas mais arrojadas, grande versatilidade na ocupação dos espaços interiores, maior facilidade na execução das instalações técnicas e simplicidade e rapidez na construção. Com a vulgarização deste sistema estrutural, maior é o número de estruturas em que podem surgir problemas e em que seja necessário proceder a operações de reparação e reforço.

Estes reforços têm por objectivo solucionar determinados problemas causados por uma ou várias das seguintes razões:

- Correcção de deficiências devido a erros construtivos e/ou de projecto em que alguns elementos estruturais não tenham a capacidade resistente suficiente, devido a erros de cálculo e pormenorização, e a erros de colocação de armaduras, emendas incorrectas e a má qualidade dos materiais;
- Alteração de uso da estrutura que implique suportar cargas superiores às previstas no projecto original ou em casos em que a distribuição destas seja totalmente distinta das inicialmente consideradas.
- Causas acidentais que diminuam a capacidade resistente do conjunto da estrutura ou de alguns elementos constituintes da mesma (como cargas não previstas, choques, sismos, incêndios, etc.);
- Degradação dos materiais (corrosão das armaduras ou deterioração do betão).

2. ROTURA POR PUNÇOAMENTO

Um dos maiores inconvenientes deste sistema tem a ver com a existência de uma elevada concentração de tensões na zona de ligação laje-pilar. Um dos principais problemas que podem surgir neste tipo de estrutura é a ocorrência de uma rotura por punçoamento. Neste fenómeno o pilar “fura” a laje, tratando-se um mecanismo de colapso local do tipo frágil (Figura 1).

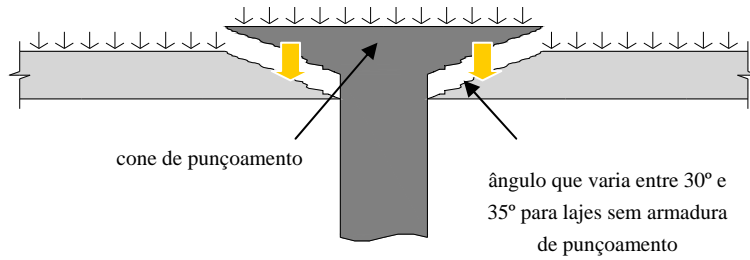


Figura 1: Rotura por punção

Quando ocorre a rotura por punção num dos pilares, dá-se um aumento da sollicitação dos restantes pilares, podendo este incremento de esforços levar à rotura por punção junto a estes. Este fenómeno pode originar um colapso progressivo parcial ou total da estrutura (Figura 2).

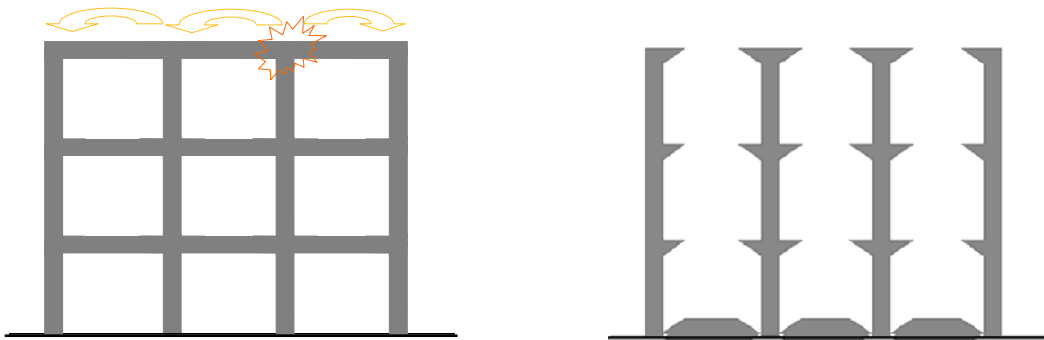
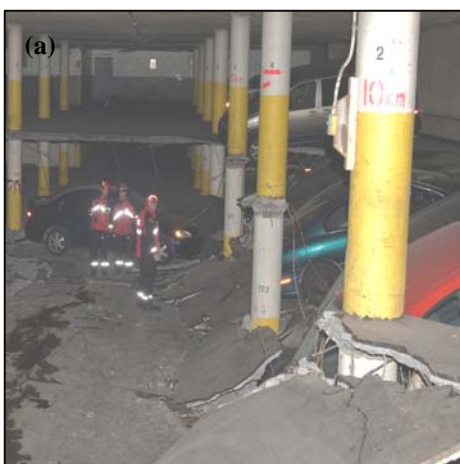


Figura 2: Esquema de desenvolvimento de um colapso progressivo total

Este tipo de fenómeno foi já registado em diversos acidentes tais como os que se podem visualizar na Figura 3. Em grande parte dos casos o colapso está relacionado com deficiências construtivas de cálculo e construtivas.



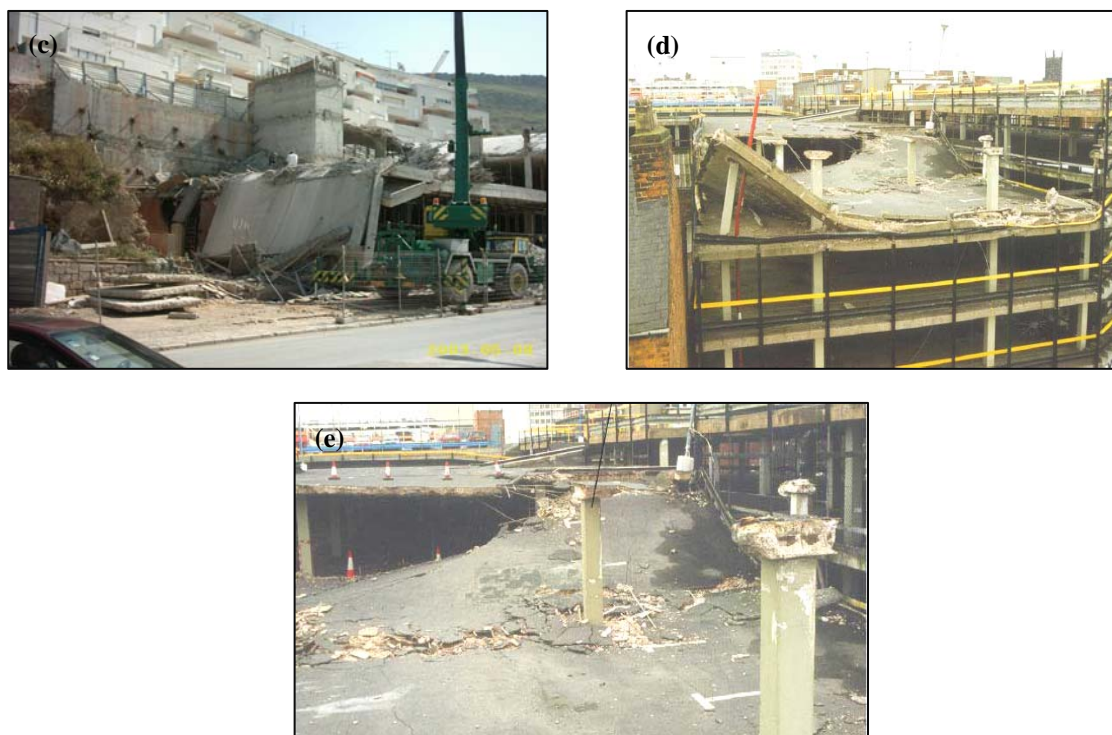


Figura 3: (a) St. Laurent, Canadá, 2008 (b) Seoul, Coreia do Sul, 1995 (c) Sesimbra, Portugal 2003 (d) e (e) Wolverhampton, Reino Unido, 1997.

3. SISTEMA DE REFORÇO DESENVOLVIDO NA FCT/UNL

Este sistema para reforço de lajes de betão armado recorrendo a pré-esforço pretende ser uma evolução do sistema de reforço com pré-esforço tradicional. A escolha deste tipo de reforço justifica-se pelo seu carácter activo, uma vez que funciona não só para as cargas aplicadas após a execução do reforço, mas também para as cargas já instaladas na estrutura. A utilização do pré-esforço, com o intuito de reforçar estruturas ou elementos estruturais, permite a execução do reforço sem que seja necessário descarregar a estrutura durante os trabalhos, evitando a interrupção da utilização da estrutura. Pelo contrário, com os outros métodos de reforço, é necessário reduzir as cargas o máximo possível uma vez que os elementos de reforço só são mobilizados para as cargas que solicitam a estrutura após conclusão do mesmo, ou seja, necessitam de novas deformações para que o reforço entre em carga. Como geralmente o efeito do pré-esforço é de sinal contrário ao efeito das acções, este contribui para a redução dos esforços e níveis de tensões a que a mesma está sujeita, tanto em termos de flexão como de corte. Da mesma forma, reduz a abertura de fendas e as deformações existentes.

Relativamente ao sistema de reforço proposto, pode-se afirmar que possibilita a eliminação de algumas das desvantagens mencionadas anteriormente do sistema tradicional de reforço com pré-esforço. No sistema proposto os cordões são introduzidos em furos executados na laje, colocando sobre esta desviadores que promovem a curvatura dos cordões. Estes cordões são de seguida tensionados recorrendo a elementos provisórios. Após esta operação, o espaço entre os cordões e as paredes dos furos é injectado com um agente de aderência e após cura deste, os cordões são destensionados e a força instalada é transmitida por aderência ao elemento a reforçar. Na Figura 4 observa-se o aspecto final do reforço aplicado a uma laje, e indicam-se os ponto de aplicação das forças de desvio e das forças horizontais devidas ao pré-esforço.

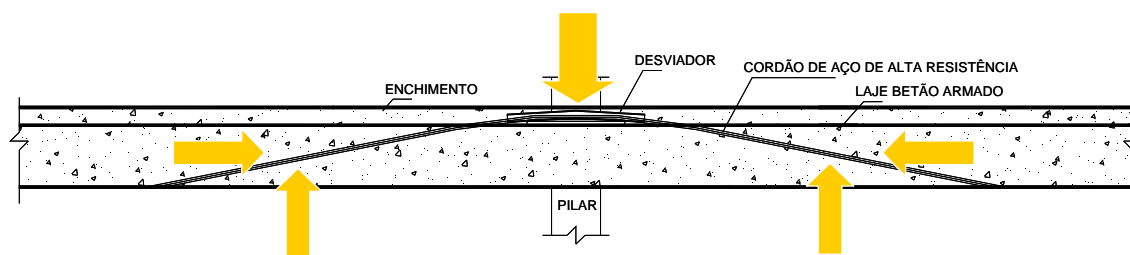


Figura 4: Aspecto final de uma laje reformada [1,2]

A inexistência de ancoragens permanentes, tornando o sistema mais económico e esteticamente menos intrusivo, e o facto de a força na ancoragem ser distribuída ao longo do comprimento de transmissão do pré-esforço, não introduzindo elevadas concentrações de tensões, são as suas principais vantagens relativamente ao sistema tradicional. Neste caso, os cordões ficam protegidos contra a corrosão e o vandalismo, uma vez que ficam embebidos na laje e na betonilha de enchimento do pavimento.

3.1. Processo Construtivo

De seguida descreve-se o processo construtivo do sistema:

3.1.1. Furação da laje e limpeza dos furos (Figura 5)

A primeira tarefa a ser realizada é a da furação da laje. Para o correcto funcionamento do sistema é fundamental que os furos fiquem correctamente posicionados na laje e com a inclinação prevista. Para obter a inclinação desejada foi concebido um dispositivo metálico, que consiste num tubo, com diâmetro interior superior ao diâmetro da broca, soldado a uma chapa, com a inclinação pretendida. A chapa é fixa à face superior da laje por intermédio de buchas para evitar que esta se desvie da posição durante a furação. Após a furação o furo deve ser convenientemente limpo de poeiras por intermédio de sopradores manuais e/ou mecânicos, recorrendo também a uma escova de aço, de acordo com as recomendações do fabricante do agente de aderência.

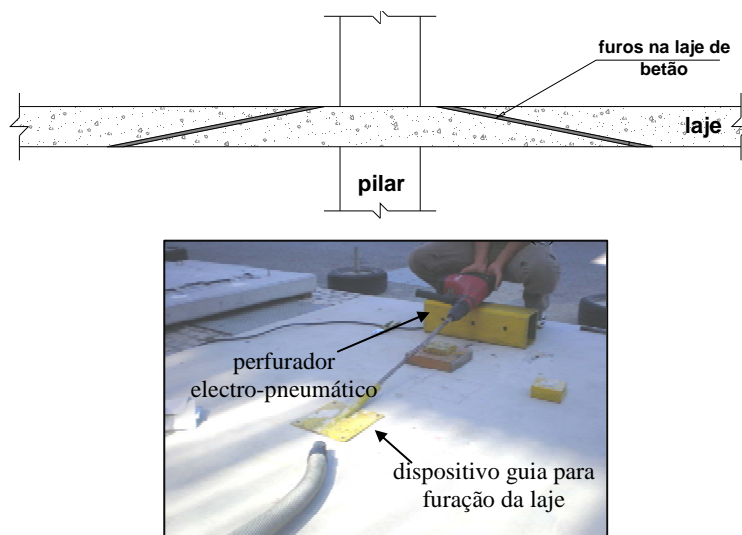


Figura 5: 1ª Etapa do processo construtivo [1,2]

3.1.2. Montagem dos desviadores e dos cordões de aço de alta resistência (Figura 6)

Os cordões são introduzidos a partir de um dos lados, a partir da face inferior da laje, passam sobre um desviador na face superior da mesma junto ao pilar e atravessam a laje no furo oposto ao da entrada. O interior do

desviador deverá ser liso, por forma a evitar danos no cordão e a garantir um atrito reduzido, e a sua base deverá ficar apoiada na face superior da laje, recorrendo a uma argamassa de assentamento, para garantir uma correcta distribuição das tensões na laje. Deve ser dada atenção especial, à limpeza dos cordões, uma vez que estes não deverão apresentar na sua superfície impurezas, óleos ou vestígios de ferrugem, que possam prejudicar a aderência, devendo ser limpos recorrendo a uma escova de aço.

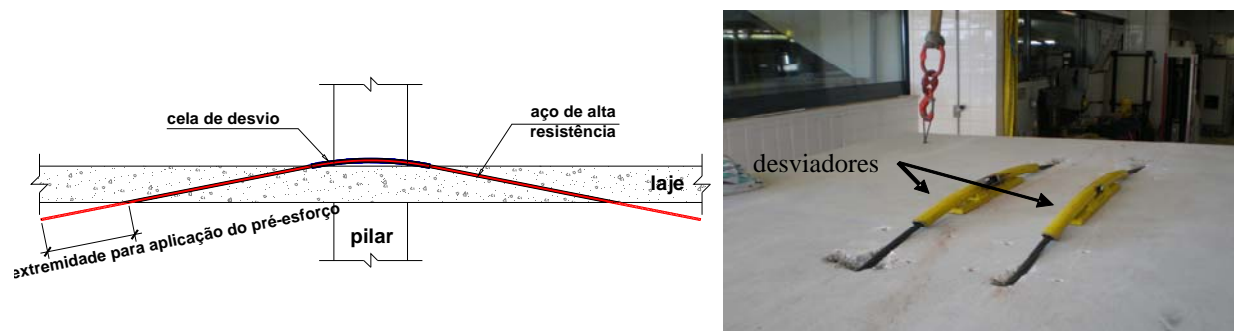


Figura 6: 2ª Etapa do processo construtivo [1,2]

3.1.3. Tensionamento dos cordões (Figura 7)

Para a aplicação do pré-esforço recorre-se à utilização de acessórios provisórios, que são, basicamente, constituídos por uma escora, dois actuadores e ancoragens nas extremidades de cada um dos cordões. Na escora são fixos, em cada uma das extremidades, actuadores mecânicos manuais e ancoragens provisórias, com os quais são tensionados os cordões.

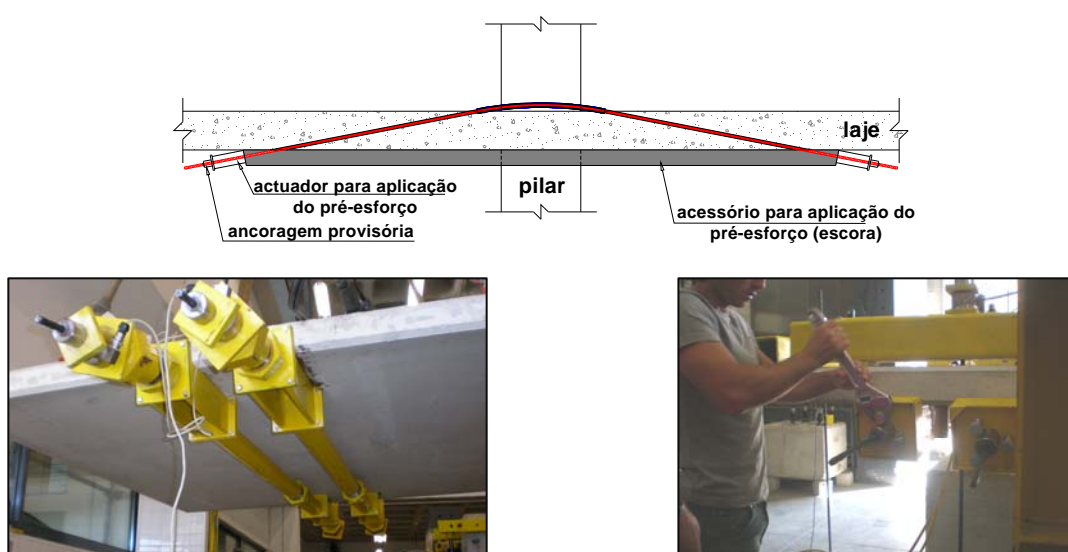


Figura 7: 3ª Etapa do processo construtivo [1,2]

3.1.4. Injecção com agente de aderência (Figura 8)

Para a injecção do agente de aderência é usado um tubo de PVC de pequeno diâmetro, introduzido previamente no furo e posicionado entre o cordão e a parede do furo. Após a sua introdução, a entrada do furo é selada usando betume de pedra ou outro material com características semelhantes, para evitar o refluxo do agente de aderência. A injecção dos furos com o agente de aderência deverá ser feita de baixo para cima, até que o agente de aderência saia pela extremidade superior do furo. Desta forma evitam-se vazios no interior do furo ao longo do comprimento de selagem do cordão.

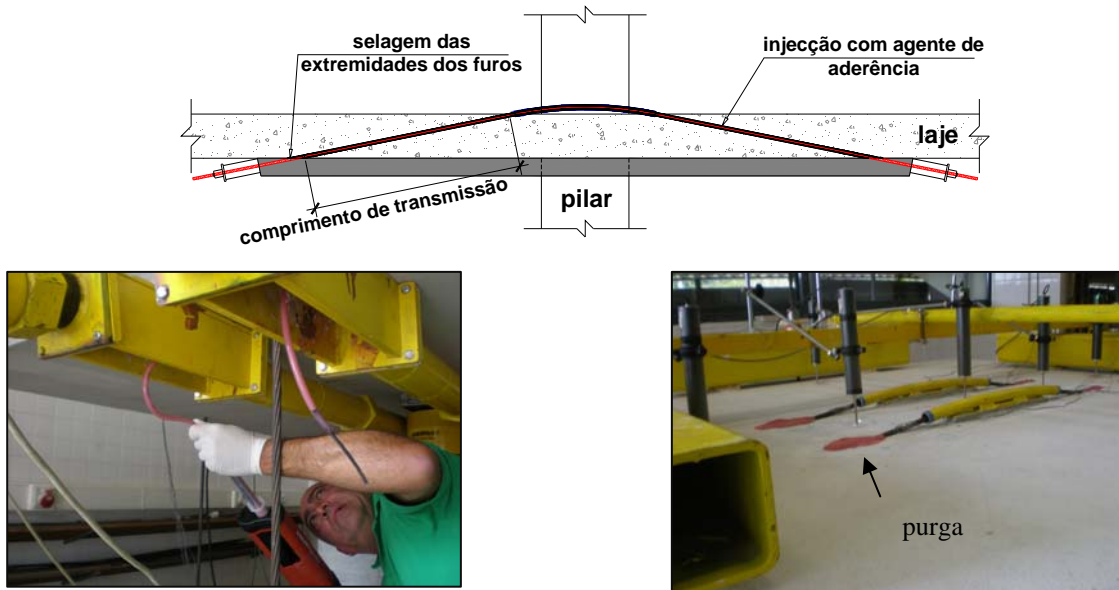


Figura 8: 4ª Etapa do processo construtivo [1,2]

3.1.5. Transmissão da força de pré-esforço (Figura 9)

Após a cura do agente de aderência, libertam-se as ancoragens provisórias pela ordem inversa ao do tensionamento dos cordões, e retiram-se todos os acessórios. Posteriormente, as extremidades dos cordões são cortadas à face da laje.

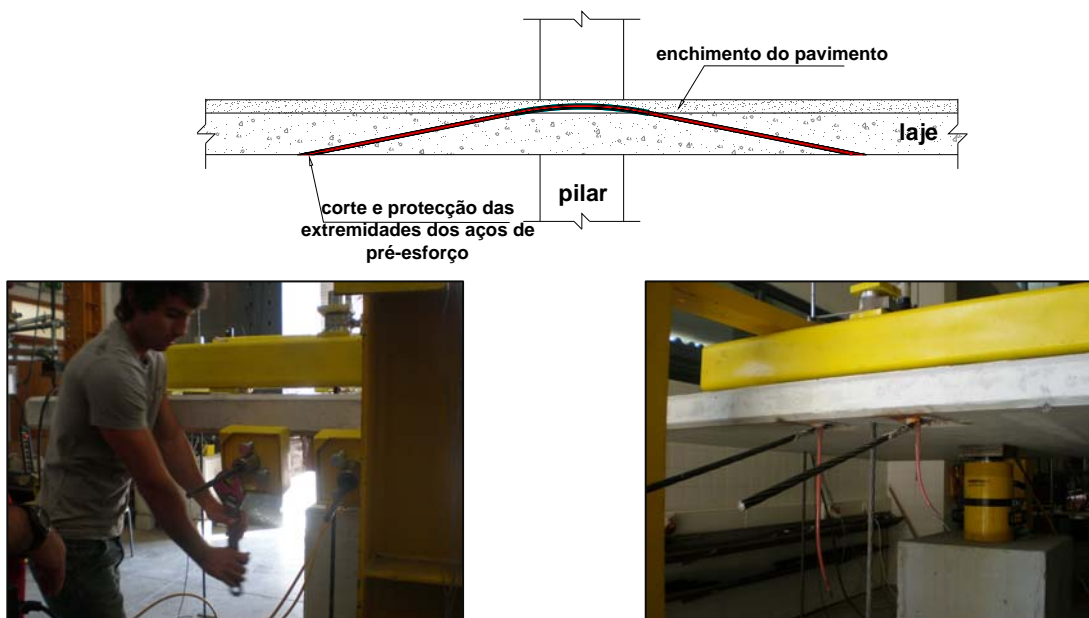
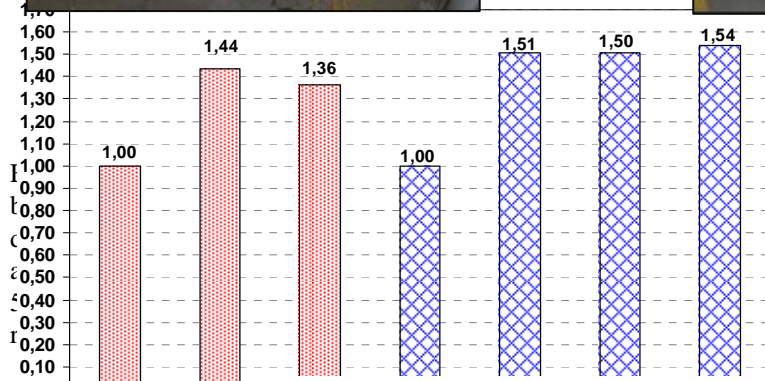
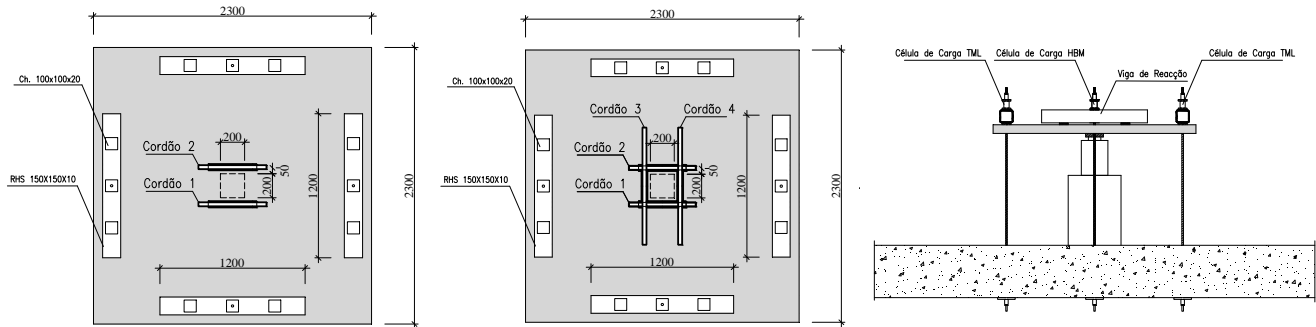


Figura 9: 5ª Etapa do processo construtivo [1,2]

3.2. Investigação Experimental

Foram ensaiados sete modelos experimentais de lajes fungiformes com 2300x2300 mm² em planta e com espessuras de 100 mm e 120 mm. O pilar central foi simulado por uma placa de aço com dimensões de 200x200mm² e 50 mm de espessura (Figura 10).



os [1,2]

ada por ser de carácter repentino. Com mitiu reduzir as deformações até cerca s até cerca de 80%. Verificou-se um odelos com 100 mm de espessura e de s modelos de referência, DF1 e DF4,

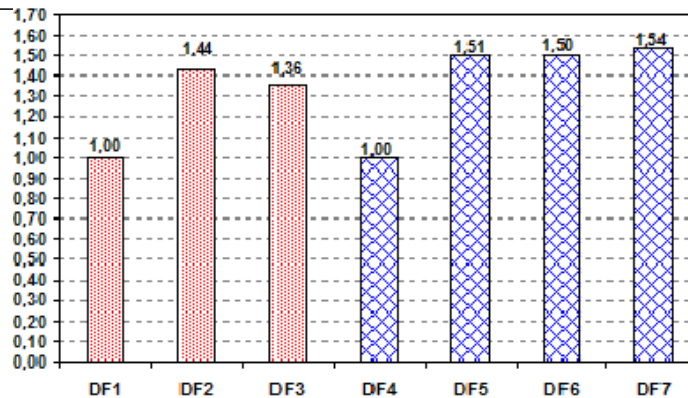


Figura 11: Capacidade de carga relativa entre os vários modelos ensaiados [1,2]

Assim, é possível afirmar que o sistema desempenha o papel que lhe é exigido, uma vez que permite melhorar consideravelmente o comportamento em serviço, além de que permite uma melhoria da capacidade resistente. Na Figura 12 compara-se o comportamento de uma laje não reforçada com uma laje reforçada. Verifica-se que no instante de aplicação do pré-esforço dá-se uma considerável diminuição dos deslocamentos e constata-se a maior carga de rotura.

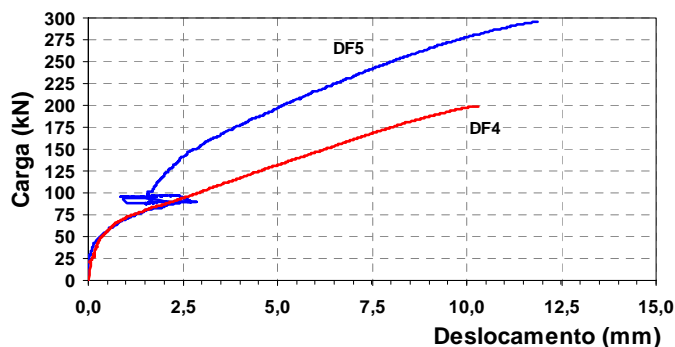


Figura 12: Comparação entre o comportamento de uma laje não reforçada (DF4) e de uma laje reforçada (DF5) [1,2].

Os resultados foram comparados com o EC2 [3] e com o MC2010 [34] tendo-se obtido uma relação média entre a carga de rotura experimental e a carga prevista de 0.96 e 1.15, respectivamente, para o EC2 e para o MC2010. Importa referir que o MC2010 permite estimar as rotações dos modelos com uma boa aproximação, tendo-se obtido uma relação média entre a rotação registada e a prevista de 1.02 com um COV de 0.15.

Posteriormente aos ensaios de rotura ao punçoamento foram executados ensaios para estudar o comportamento na pós-rotura. Verificou-se que logo após a rotura por punçoamento dá-se uma diminuição rápida na carga aplicada na laje, acompanhada de grandes deslocamentos. Nesta nova fase do carregamento os modelos desenvolveram alguma resistência, embora a rigidez seja muito inferior à registada durante o ensaio até à rotura, sendo que o comportamento foi semelhante na maior parte dos ensaios (Figura 13).

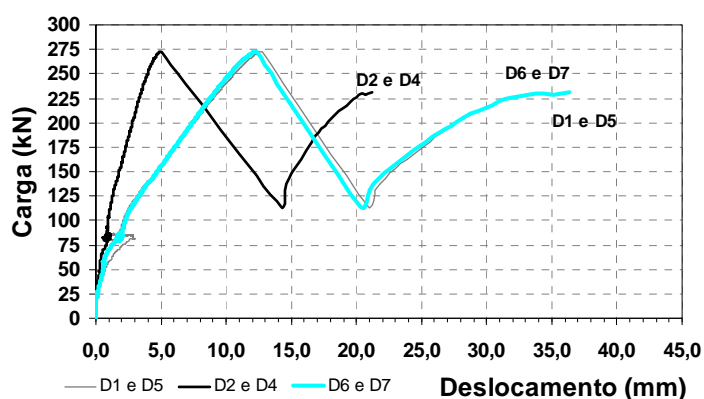


Figura 13: Comportamento de uma laje na fase de pós-rotura por punçoamento [1,5]

O facto dos modelos reforçados terem desenvolvido uma importante resistência na fase pós-colapso indica que este sistema permite evitar que ocorra o fenómeno de pós-colapso generalizado, tal como ocorreu nos casos referidos na Figura 3, e é portanto, um aspecto importante deste sistema de reforço. A resistência na fase de pós-rotura foi promovida pelas componentes verticais da força nas armaduras longitudinais superiores, uma vez que estas se encontravam “presas” pelos desviadores dos cordões que apoiavam sobre estas (Figura 14).



Figura 14: Aspecto de uma laje após colapso [1,5]

Importa referir que previamente aos ensaios das lajes foi desenvolvido um programa experimental com o objectivo de estudar o comportamento aderente dos cordões de aço quando selados com um agente de aderência. Com base nos resultados obtidos é possível determinar qual os níveis de força que é possível desenvolver nos cordões tanto na fase de transmissão das mesmas para a laje, como durante o carregamento da laje até que se atinja a rotura. Estes resultados podem ser consultados em [1,6].

4. AGRADECIMENTOS

Estes trabalhos tiveram o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia - Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior através de uma bolsa de doutoramento número SFRH/BD/37538/2007 e do Projecto PTDC/ECM/114492/2009. Gostaríamos também de agradecer à Concremat pela execução dos modelos em betão armado, à HILTI Portugal pelo adesivo HIT RE-500 e pelo equipamento de furação e à VSL pelos cordões de pré-esforço.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Faria, D.: *Reforço de Lajes de Betão Armado usando Pós-Tensão com Ancoragens por Aderência*, Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil, Especialidade de Estruturas, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, 2011, <http://run.unl.pt/handle/10362/6652>.
- [2] Duarte Faria, Válder Lúcio e António Ramos, Strengthening of Flat Slabs with Post-Tensioning using Anchorages by Bonding, *Engineering Structures* 33, (2011), pp. 2025-2043.
- [3] Instituto Português da Qualidade, “*NP EN 1992-1-1 Eurocódigo 2: Projecto de Estruturas de Betão – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios*”, 2010.
- [4] Federation International du Beton. Model Code 2010, First Complete Draft, fib Bulletins N° 55 and 56, 2010.

[5] Duarte Faria, Válder Lúcio e António Ramos, Post-Punching Behaviour of Flat Slabs Strengthened with a New Technique using Post-Tensioning, *Engineering Structures* 40, (2012), pp. 383-397.

[6] Duarte Faria, Válder Lúcio e António Ramos, Pull-Out and Push-In Tests of Bonded Steel Strands, *Magazine of Concrete Research*, Vol 63, Issue 9 (2011), pp. 689-705.