

Reforço de Lajes com recurso a Pós-Tensão com Ancoragens por Aderência



Duarte Faria¹



Válder Lúcio²



António Ramos³

RESUMO

Este trabalho visa apresentar uma investigação experimental, cujo objectivo foi o de estudar um sistema de reforço de lajes fungiformes de betão armado que permite a redução das deformações e da fendilhação, assim como a redução dos esforços e correspondentes tensões, na laje, transferindo parte da carga aplicada na laje diretamente para o apoio. Esta transferência de carga é efetuada através das forças nas ancoragens e das forças de desvio do cordão sobre o pilar. Consiste na introdução de pós-tensão com ancoragens por aderência entre os cordões de aço de alta resistência e o betão, usando para tal, um agente de aderência. Este método traz algumas vantagens em relação ao reforço tradicional com pré-esforço, tais como: não tem ancoragens exteriores permanentes; é económico e fácil de instalar; não compromete a estética nem o espaço utilizável e as tensões nas zonas de ancoragem são introduzidas gradualmente ao longo de um comprimento de transmissão, enquanto que no sistema de reforço com pré-esforço tradicional existem forças concentradas junto às ancoragens. Para o estudo do sistema foram inicialmente realizados ensaios de aderência (*pull-out* e *push-in*) que permitiram averiguar o comportamento de cordões de pré-esforço selados num furo usando um agente de aderência de base epoxídica. Com base nos resultados obtidos, foram então realizados os ensaios em lajes, medindo 2300x2300 mm² com 100 mm e 120 mm de espessura, sem armadura específica de punçoamento, com pré-esforço unidireccional e bidireccional. São apresentados os resultados em termos de evolução da força nos cordões de pré-esforço e da deformação das lajes, sendo ainda feita uma comparação entre os resultados experimentais com os valores previstos para a resistência ao punçoamento segundo a filosofia da NP EN 1992-1-1(2010) [1], do ACI 318-11 (2011) [2] e do MC2010 (2012) [3] e a avaliação do aumento de capacidade de carga devido ao reforço.

Palavras-chave: lajes, punçoamento, reforço, pré-esforço, aderência

¹ Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, Caparica, Portugal. duamvf@gmail.com

² Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, Caparica, Portugal. vjgl@fct.unl.pt

³ Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, Caparica, Portugal. ampr@fct.unl.pt

1. INTRODUÇÃO

A maior parte dos sistemas de reforço são do tipo passivo, pelo que solucionam principalmente problemas relativos com o comportamento na rotura. De entre os sistemas activos, surgem os que usam pré-esforço com aço de alta resistência ou com polímeros reforçados com fibras. O pré-esforço com polímeros reforçados com fibras apresenta algumas desvantagens, como por exemplo, a impossibilidade de utilização de certo tipo de traçados mais eficientes e as dificuldades de execução das ancoragens. Assim, neste trabalho apresenta-se um sistema de reforço que recorre ao pré-esforço com cordões de aço ancorados ao betão com um agente de aderência, funcionando como uma ancoragem por aderência. A opção pelo reforço com pré-esforço 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, o que é uma vantagem para o seu comportamento em serviço. Esta solução permite executar o reforço sem necessidade de descarregar a estrutura durante os trabalhos. Como geralmente o efeito do pré-esforço é de sinal contrário ao efeito das acções, este contribui para a redução dos esforços e correspondentes tensões na laje, transferindo parte da carga aplicada na laje diretamente para o apoio. Da mesma forma, reduz a abertura de fendas e as deformações existentes.

O sistema aqui proposto pretende eliminar algumas das desvantagens do sistema tradicional de reforço com pré-esforço exterior, tais como a inexistência de ancoragens permanentes, tornando o sistema mais económico; a inexistência de forças concentradas nas ancoragens, as quais são substituídas por forças distribuídas ao longo do comprimento de transmissão da força de pré-esforço por aderência; a minimização dos efeitos estéticos da colocação de desviadores e ancoragens permanentes e a ocupação de espaço que estas implicam. Para que o sistema seja eficaz e se obtenham melhores resultados, os cordões deverão estar posicionados junto às faces dos pilares, ou se possível sobre estes (caso não haja continuidade do pilar). O sistema está patenteado, designando-se por “Sistema de pós-tensão com ancoragens por aderência para estruturas de betão”, sob o número PAT 103785 A (2009) [4] e insere-se nos sistemas de reforço por adição de pré-esforço.

2. O SISTEMA DE REFORÇO

2.1 Processo construtivo

O faseamento construtivo deste sistema será descrito de seguida, e consta, basicamente, dos seguintes passos: (Fig. 1a) Furação da laje e limpeza dos furos; (Fig. 1b) Montagem dos desviadores e dos cordões de aço de alta resistência; (Fig. 1c) Tensionamento dos cordões; (Fig. 1d) Injecção com agente de aderência; (Fig. 1d) Retirada elementos provisórios/Transmissão da força de pré-esforço.

2.2 Equipamento

A aplicação do pré-esforço é efectuada usando equipamento que é retirado após a cura do agente de aderência. Este equipamento é composto por uma escora capaz de suportar a componente horizontal da força de pré-esforço (Figura 2a,b) e por actuadores mecânicos (Figura 2c,d) que permitam manter a força de tensionamento dos cordões durante o período de cura do agente de aderência. Além deste equipamento são utilizados, mas com carácter definitivo, os desviadores, referidos na secção anterior e o agente de aderência.

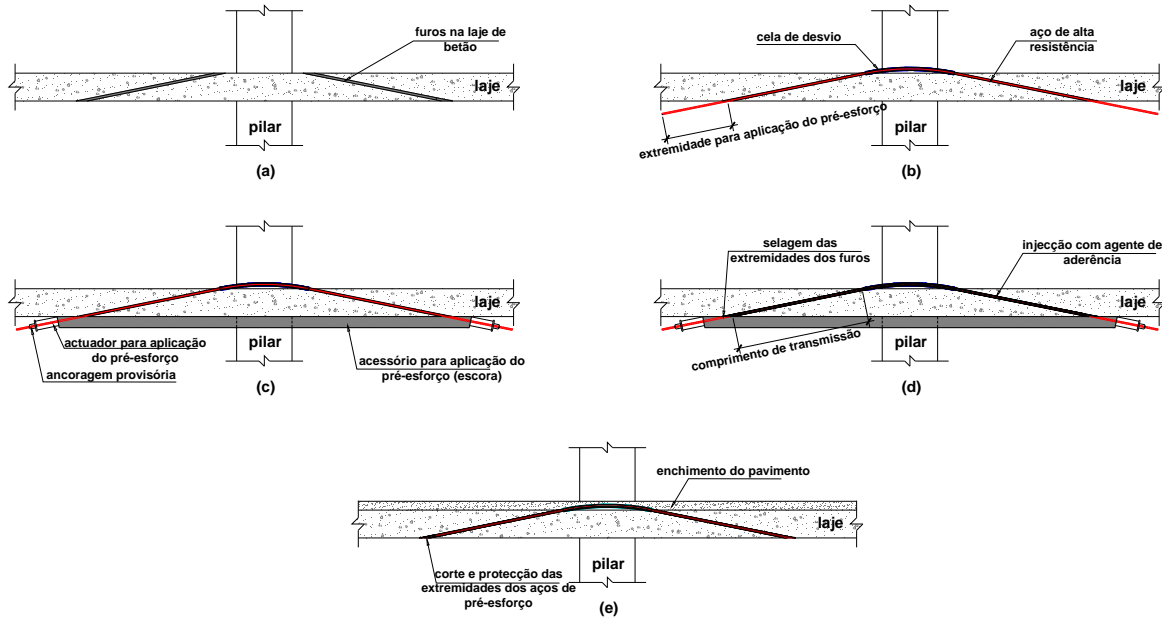


Figura 1. Processo construtivo.

A escora usada neste trabalho foi concebida de forma a poder acomodar diferentes comprimentos. A escora foi dividida em dois troços tubulares (Figura 2a,b), em que um dos lados é introduzido no outro, e o ajuste é feito por intermédio de duas porcas, que deslizam numa rosca, permitindo, assim, o ajuste do comprimento total da escora. Estas porcas funcionam como batentes transmitindo o esforço axial de um troço para o outro. Os actuadores (Figura 2c,d) consistem em duas chapas paralelas e três parafusos. As extremidades dos parafusos apoiam na chapa inferior enquanto o seu corpo enrosca numa porca soldada à chapa superior. Ao aparafusar os parafusos dá-se um afastamento entre as chapas, provocando assim o tensionamento do cordão.

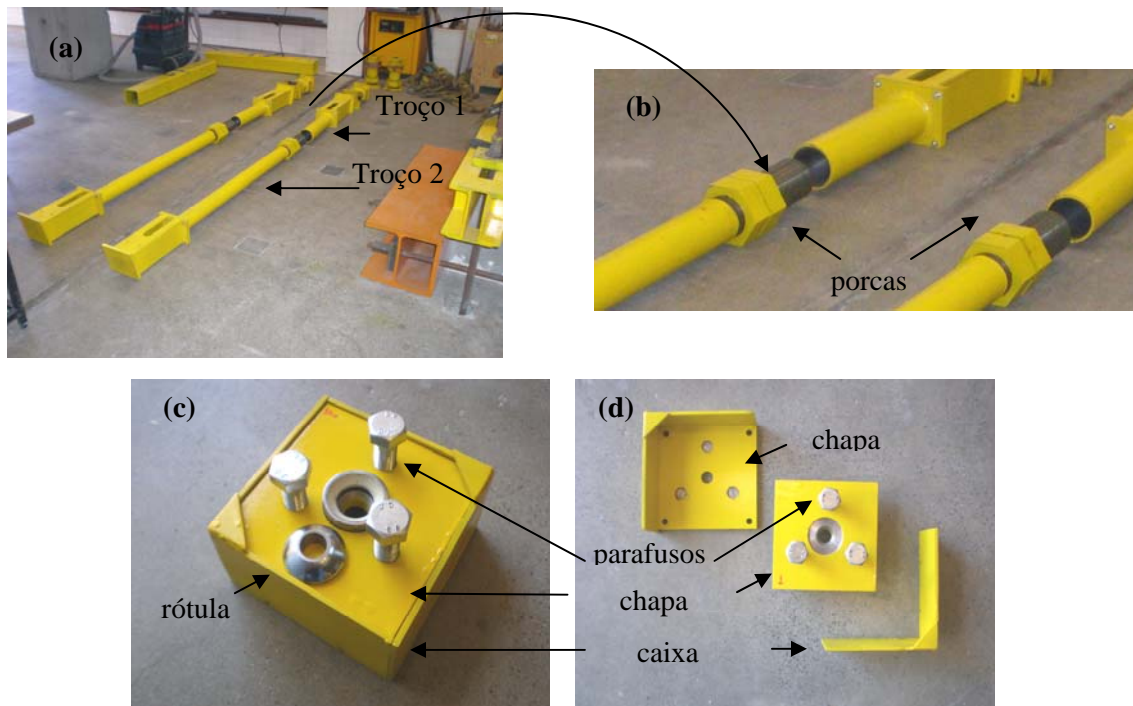


Figura 2. Processo construtivo.

3. TRABALHOS EXPERIMENTAIS

3.1 Ensaios de aderência

Como se verificou no capítulo anterior, o sistema proposto para reforço de lajes com pré-esforço depende em grande parte da capacidade aderente do agente de aderência escolhido. Foram realizados ensaios de *pull-out* (também conhecidos por ensaios de arrancamento) e ensaios *push-in*. Estes ensaios tiveram como objectivo simular dois tipos de condições. Nos ensaios *pull-out* (Fig. 3a) simula-se a situação em que o cordão, após estar instalado e selado, é solicitado à medida que a laje é carregada. Nos ensaios de *push-in* (Fig. 3b), simula-se a situação em que após o tensionamento do cordão, injeccção e cura do agente de aderência, se liberta o pré-esforço das ancoragens provisórias e a força instalada no cordão é transmitida para o betão por aderência.

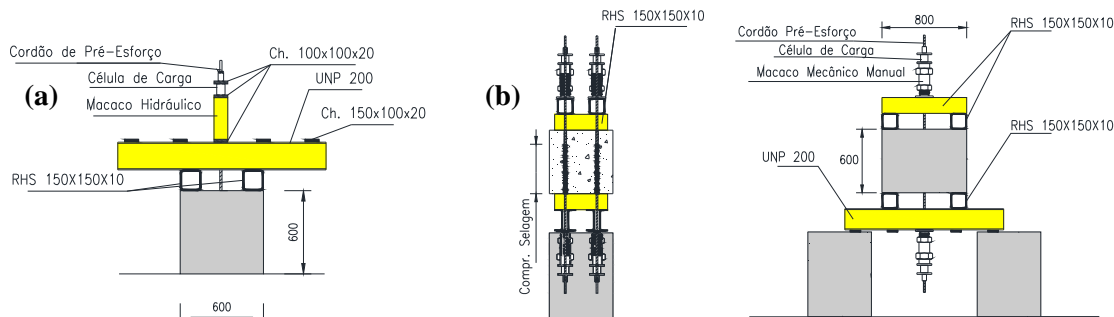


Figura 3. Sistema de ensaio (a) *pull-out* e (b) *push-in* (dimensões em mm).

Com base nos resultados destes ensaios, foi possível verificar que tanto a força máxima que pode ser transmitida por aderência na fase de transmissão da força do cordão para o betão como a máxima força mobilizável nos cordões por arrancamento, varia de uma forma aproximadamente linear com o comprimento de selagem, pelo que é razoável assumir um modelo de tensão uniforme, podendo-se adoptar um valor de $\tau_{\max}=12.0$ MPa e $\tau_{\text{trans}}=5.2$ MPa, para a fase de arrancamento e de transmissão, respectivamente. Foi também realizada uma análise teórica do comportamento aderente que mostrou ser capaz de reproduzir correctamente o comportamento aderentes dos cordões, nomeadamente, a evolução força/escorregamento, tanto na fase de transmissão como de arrancamento, para qualquer comprimento de selagem, mas que por razões de espaço não é aqui apresentada, podendo ser consultada em [5,6]

3.2 Ensaios em lajes

Relativamente a ensaios em lajes, os modelos aqui descritos pretendem simular a zona junto ao pilar, limitada pelas linhas de inflexão, onde os momentos são nulos. Foram executados ensaios com reforço por pré-esforço numa direcção (modelos DF2 e DF3, DF5 a DF6) e em duas direcções ortogonais (DF7) e ainda ensaiados modelos padrão (DF1 e DF4), sem reforço, para comparação. Todos os modelos foram ensaiados até à rotura através da aplicação de cargas verticais no centro da laje por intermédio de um macaco hidráulico. Os modelos ensaiados consistiam em painéis quadrados de laje em betão armado, cujas dimensões em planta eram de 2300×2300 mm², sendo que três lajes tinham 100 mm de espessura (DF1 a DF3) e quatro tinham 120 mm de espessura (DF4 a DF7). O pilar central foi simulado por uma placa de aço com dimensões de 200×200 mm² e 50 mm de espessura. A geometria dos modelos está representada na Fig. 4.

Durante a elaboração dos modelos foi feito um levantamento altimétrico das armaduras ordinárias superiores, permitindo a determinação da sua altura útil média. O valor da espessura (h), altura útil média (d), percentagem de armadura longitudinal (ρ) e resistência à compressão do betão medida em provetes cúbicos com 150 mm de lado (f_{ccm}) para cada um dos modelos é apresentada no Quadro 1.

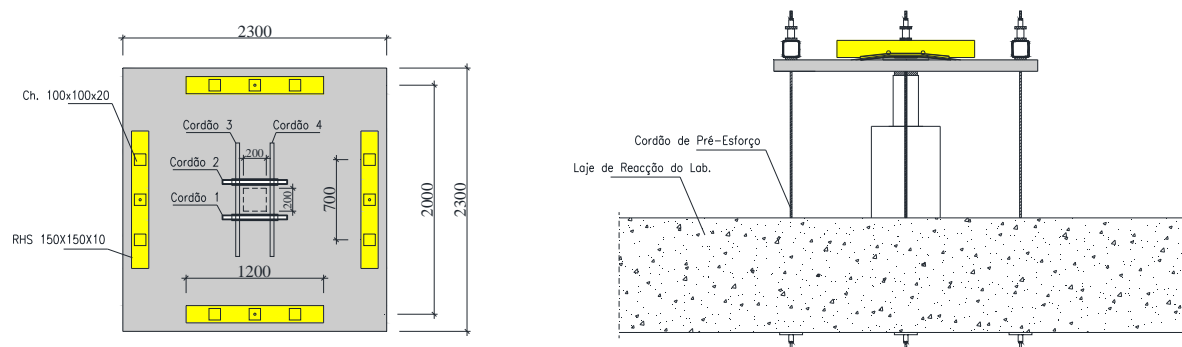


Figura 4. Esquema de ensaio de laje com reforço bidireccional (dimensões em mm).

Quadro 1. Resumo das principais características dos modelos.

Modelo	DF1	DF2	DF3	DF4	DF5	DF6	DF7
h (mm)	100	100	100	120	120	120	120
d (mm)	69	67	67	88	85	84	89
ρ_l (%)	1.91	1.97	1.97	1.20	1.24	1.26	1.19
f_{ccm} (MPa)	31.0	33.0	31.5	24.7	26.0	26.3	27.0

A armadura longitudinal superior dos modelos DF1 a DF3 era constituída por uma malha de $\phi 10/0.06$. O reforço com pré-esforço foi feito na direcção da menor altura útil da armadura longitudinal ordinária superior. A armadura longitudinal superior dos modelos DF4 a DF7 era constituída por uma malha de $\phi 10/0.075$. Também neste caso, o reforço com pré-esforço foi feito na direcção da menor altura útil da armadura longitudinal ordinária superior, com excepção do modelo DF7, reforçado em ambas as direcções. Em todas as lajes, a armadura longitudinal inferior era constituída por uma malha de $\phi 6/0.20$. Foram sujeitos ao ensaio de tracção provetes de cada diâmetro do aço utilizado como armadura longitudinal dos modelos. No Quadro 2 apresentam-se os valores médios da tensão de cedência à tracção, no caso dos varões com 10 mm de diâmetro (f_y) e da tensão limite convencional de proporcionalidade a 0.2% à tracção no caso dos varões com 6 mm de diâmetro ($f_{0.2}$). São ainda indicados os valores médios da tensão de rotura à tracção do aço (f_t). As características do aço usado na armadura de pré-esforço e as do agente de aderência são as descritas na secção 3.1.

Quadro 2. Resumo das principais características dos modelos.

Diâmetro Varão	Tipo	Valor médio de f_y ou $f_{0.2}$ (MPa)	Valor médio de f_t (MPa)
<i>Modelos DF1 a DF3</i>			
$\phi 6$	ER	537	656
$\phi 10$	NR	541	637
<i>Modelos DF4 a DF7</i>			
$\phi 6$	ER	561	678
$\phi 10$	NR	537	648

No que diz respeito aos cordões, estes ficaram afastados cerca de 50 mm da face dos “pilares” e o raio da curvatura adoptado para o desviador foi de 2500 mm (Fig. 6). A inclinação no troço recto adoptada foi de cerca de 1/5, ou seja, aproximadamente 11.3°.

Para medir os deslocamentos verticais da laje foram instalados deflectómetros eléctricos, apoiados num pórtico metálico, por intermédio de bases magnéticas. Durante a aplicação do pré-esforço nas lajes foi colocada numa das extremidades de cada um dos cordões uma célula de carga, com o objectivo de monitorizar a força de pré-esforço instalada durante a fase de aplicação do pré-esforço. Em relação à monitorização de evolução da força de pré-esforço nos cordões durante o ensaio procedeu-se da seguinte forma: colou-se um par de extensómetros em cada um dos cordões, e à medida que estes eram pré-esforçados, obteve-se uma relação entre a força medida nas células de carga colocadas em cada cordão e os valores médios medidos pelo par de extensómetros correspondente. Durante a fase de aplicação do pré-esforço, verificou-se que esta relação era aproximadamente linear para o nível de cargas atingido. Após determinação desta relação e com base nas leituras que se iam obtendo no decorrer dos ensaios (já sem a escora provisória), pelo par de extensómetros, foi possível determinar a evolução das forças nos cordões na fase de ensaio até à rotura e mesmo em pós-rotura. A carga vertical foi aplicada a uma velocidade constante de 150 N/s, tendo-se procedido a leituras com um intervalo de um segundo, de todas as grandezas instrumentadas, até se atingir a rotura por punçoamento, cujas cargas (V_{exp}) são apresentadas no Quadro 3.

3.2.1 Evolução das forças nos cordões de pré-esforço

Numa primeira fase os modelos DF2, DF3, DF5 e DF6 foram carregados da mesma forma que os modelos de referência até se atingir um valor de cerca de 40% da carga de rotura do modelo DF1, no caso das lajes DF2 e DF3 e de cerca de 40% da carga de rotura do modelo DF4, no caso das lajes DF5 e DF6. Após ter-se atingido o valor referido, a carga foi mantida através da opção “load maintainer” do grupo hidráulico. Nesta altura procedeu-se à aplicação do pré-esforço de cada par de cordões simultaneamente, sendo que cada um deles foi pré-esforçado alternadamente pelas duas extremidades. A força inicial aplicada nos cordões foi escolhida tendo em conta os comprimentos mínimos aderentes, e também tendo em conta que a tensão média τ_{trans} obtida nos ensaios de *push-in* que foi de 5.2 MPa. Posteriormente procedeu-se à injeção do agente de aderência. Após a cura do agente de aderência, 24 horas após a injeção, transferiu-se a força de pré-esforço para a laje por aderência e retirou-se o sistema de aplicação de pré-esforço. Por fim a laje foi carregada até atingir a rotura por punçoamento. Na Figura 5 apresenta-se uma vista da rotura dos modelos DF6 e DF7.



Figura 5. Rotura dos modelos (a) DF6 e (b) DF7.

Na Figura 6 apresenta-se a evolução das forças nos cordões durante o ensaio a partir da fase de transmissão do pré-esforço e durante a fase de carregamento até que se atinja a rotura das lajes. O primeiro troço, para carga constante, corresponde à perda de pré-esforço inicial que ocorre durante a transmissão do pré-esforço da escora para a laje. Após a operação de transmissão do pré-esforço, a laje volta a ser carregada até se atingir a rotura por punçoamento, ocorrendo um incremento no valor do pré-esforço com o carregamento da laje. Este incremento de carga é benéfico para o comportamento da laje, uma vez que implica um aumento das forças de desvio, traduzindo a eficiência do sistema na diminuição das cargas efectivas na laje junto ao pilar, até durante a fase de carregamento da mesma.

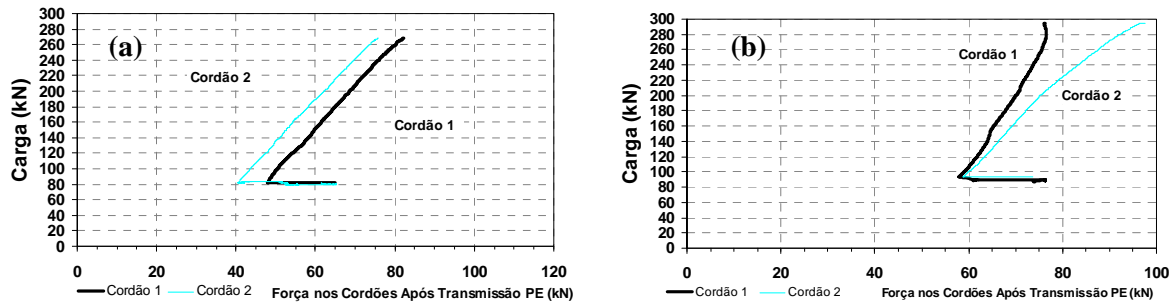


Figura 6. Evolução das forças nos cordões de pré-esforço (a) modelo DF2 e (b) modelo DF7.

Relativamente ao modelos DF2, verifica-se um aumento constante de força nos cordões com o aumento de carga na laje até se atingir a rotura por punçoamento. A inclinação das linhas de ambos os cordões é semelhante, indicando que não houve nenhum desequilíbrio durante o carregamento da laje. No modelo DF5 verifica-se que a perda instantânea é sensivelmente a mesma para ambos os cordões, mas que a evolução dos valores das forças diverge com o carregamento da laje. Estas diferenças podem surgir, devido a desequilíbrios durante o carregamento da laje, implicando um incremento de força num dos cordões e diminuição em valor semelhante no outro.

3.2.2 Deslocamentos Verticais

Relativamente à evolução dos deslocamentos verticais, apresenta-se na Fig. 7 a comparação entre os modelos DF2 e DF1 e os modelos DF5 e DF4, em que a linha vermelha representa o modelo não reforçado e a preta o modelo reforçado. No modelo DF2 verifica-se uma diminuição considerável dos deslocamentos com a aplicação do pré-esforço, para uma carga de cerca de 85 kN, tendo-se atingido reduções de cerca de 35%, após transmissão da força de pré-esforço. No modelo DF5 obtiveram-se resultados semelhantes já que foram registadas reduções de deslocamentos na ordem de 40% após transmissão da força de pré-esforço. Adicionalmente, verificou-se que comparando os modelos DF2 e DF3 com DF1, houve uma diminuição das deformações em média cerca de 50% para os patamares de carga de 150 kN e 180 kN e que no caso dos modelos DF5 e DF6, quando comparados com o modelo DF4 verificaram-se também reduções médias nas deformações de cerca de 55% na direcção do pré-esforço e de 30% na direcção não pré-esforçada. Em relação ao modelo DF7, verificou-se uma diminuição da deformação de cerca de 70% quando comparado com o modelo DF4.

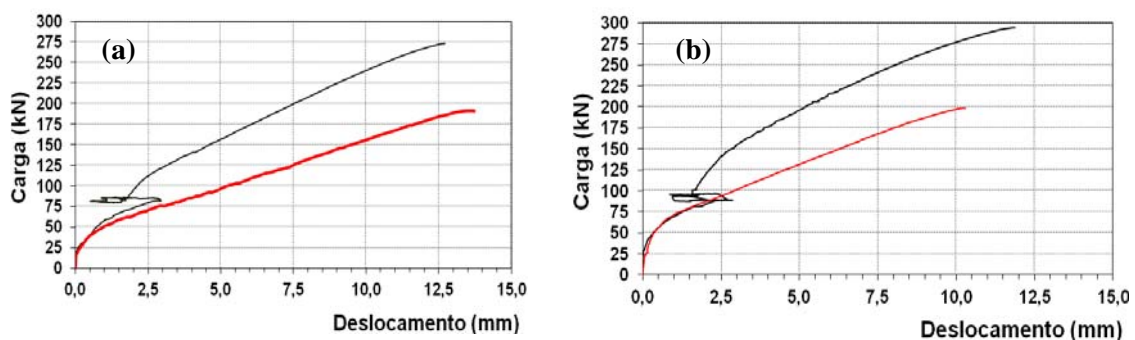


Figura 7. Evolução dos deslocamento nos (a) modelos DF1/DF2 e (b) modelos DF4/DF5.

As reduções na deformação, e conseqüentemente na fendilhação, são consideráveis, pelo que se pode afirmar que o sistema é eficaz no que diz respeito ao comportamento em utilização. Esta redução de deslocamentos está directamente associada a uma redução das tensões nas armaduras longitudinais superiores [5,7], reduzindo portanto o momento flector actuante e conseqüentemente reduzindo também a carga efectiva de punçoamento.

4. COMPARAÇÃO COM A NP EN 1992-1-1, ACI318-11 E MC2010

4.1 Análise das cargas de rotura

Nesta secção apresentam-se comparações entre as cargas de roturas experimentais com as previstas com as normas europeias (NP EN 1992-1-1 [1]) e norte americana (ACI 318-11 [2]) e com o MC2010 [3], por forma a verificar a sua aplicabilidade no dimensionamento deste tipo de reforço em termos de punçoamento. No Quadro 4 apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos, comparando as cargas de rotura experimentais, com os valores dos esforços resistentes previstos usando as normas referidas, em termos de valores médios. Importa referir que no caso do ACI 318-11 [2] a força de desvio é colocada no lado da resistência, enquanto no caso da NP EN 1992-1-1 [1] e do MC2010 [3] esta é colocada do lado da acção.

Quadro 3. Comparação entre as cargas de rotura experimentais e as previstas usando a força de desvio final do pré-esforço.

<i>Modelo</i>	$V_{exp}^{(1)}$ (kN)	<i>Norm.</i>	$V_{eff}^{(2)}$ (kN)	$V_{Rm}^{(3)}$ (kN)	V_{eff}/V_{Rm}
<i>DF1</i>	190.7	NP EN 1992-1-1	190.7	202.6	0.94
		ACI 318	190.7	137.8	1.38
		MC2010 (II)	190.7	156.4	1.22
		MC2010 (III)	190.7	160.3	1.19
<i>DF2</i>	272.9	NP EN 1992-1-1	211.6	207.4	1.02
		ACI 318	272.9	191.8	1.42
		MC2010 (II)	211.6	168.2	1.26
		MC2010 (III)	211.6	170.3	1.24
<i>DF3</i>	254.6	NP EN 1992-1-1	191.5	204.0	0.94
		ACI 318	254.6	190.3	1.34
		MC2010 (II)	191.5	168.8	1.12
		MC2010 (III)	191.5	167.8	1.14
<i>DF4</i>	199.0	NP EN 1992-1-1	199.0	217.4	0.92
		ACI 318	199.0	167.5	1.18
		MC2010 (II)	199.0	180.6	1.10
		MC2010 (III)	199.0	185.1	1.07
<i>DF5</i>	295.0	NP EN 1992-1-1	215.4	221.6	0.97
		ACI 318	295.0	236.6	1.25
		MC2010 (II)	215.4	193.7	1.11
		MC2010 (III)	215.4	195.7	1.10
<i>DF6</i>	292.7	NP EN 1992-1-1	208.3	220.0	0.95
		ACI 318	292.7	240.0	1.22
		MC2010 (II)	208.3	193.2	1.08
		MC2010 (III)	208.3	195.0	1.07
<i>DF7</i>	319.5	NP EN 1992-1-1	234.6	235.5	1.00
		ACI 318	319.5	256.4	1.25
		MC2010 (II)	234.6	207.6	1.13
		MC2010 (III)	234.6	209.8	1.12

⁽¹⁾ carga de rotura experimental ao punçoamento; ⁽²⁾ V_{eff} - força efectiva de punçoamento: NP EN 1992-1-1 e MC2010- $V_{eff} = V_{exp} - V_{desvio,fin}$; ACI 318-08 $V_{eff} = V_{exp}$; ⁽³⁾ valor médio da resistência ao punçoamento.

Para os modelos reforçados, verifica-se que a NP EN 1992-1-1 [1] apresenta valores para a resistência média ao punçoamento ligeiramente superiores aos obtidos experimentalmente, atingindo um valor médio para a razão V_{eff}/V_{Rm} de cerca de 0.98 (próximo do valor ideal de 1.00); em relação ao ACI 318-11[2] a razão V_{eff}/V_{Rm} média é de cerca de 1.30; o MC2010 [3] apresenta um valor médio para razão V_{eff}/V_{Rm} de 1.15 e de 1.13, para o Nível II e Nível III, respectivamente, posicionando-se entre as restantes normas.

5. EFEITO DO REFORÇO NA CAPACIDADE DE CARGA

Nesta secção pretende-se analisar qual o efeito do reforço na capacidade de carga ao punçoamento, tendo em conta os resultados obtidos experimentalmente. Por forma a ter em conta as variações da altura útil, da percentagem de armadura e da resistência à compressão do betão, as cargas experimentais foram divididas pela resistência calculadas de acordo com expressão preconizada na NP EN 1992-1-1 [1], na qual se desprezou a limitação do factor k. Os valores obtidos foram posteriormente divididas pelas relações para as lajes DF1 (para as lajes com 100 mm de espessura) e DF4 (para as lajes com 120 mm de espessura). Desta forma é possível isolar os efeitos do reforço. Os resultados obtidos para a capacidade de carga adimensionalizada corrigida (eixo das ordenadas) para cada um dos modelos é então apresentada no gráfico da Fig. 8.

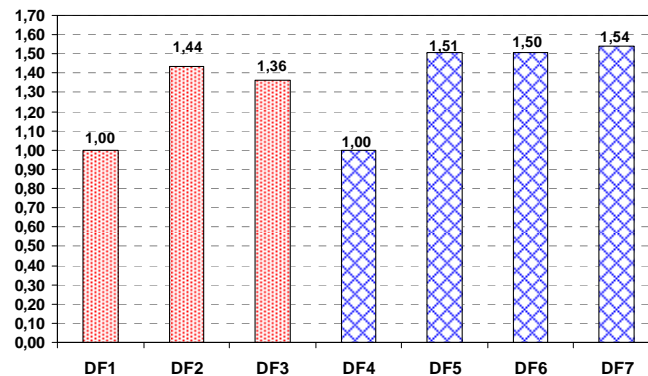


Figura 8. Capacidade de carga adimensionalizada para os vários modelos.

Comparando os valores obtidos para os modelos DF2 e DF3 com o valor obtido para o modelo DF1, verifica-se um aumento médio da capacidade de carga ao punçoamento de 40%, enquanto se se comparar os valores obtidos para os modelos DF5, DF6 e DF7 com o valor obtido para o modelo DF4, verifica-se um aumento médio da capacidade de carga ao punçoamento de 52%.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados é possível verificar a eficiência do sistema proposto em relação à melhoria do comportamento em utilização e em relação aos estados limites últimos. Verificou-se que o sistema é capaz de reduzir consideravelmente as deformações existentes na laje e consequentemente a sua fendilhação. Além disso, a introdução das forças de desvio devidas ao pré-esforço provoca uma diminuição dos esforços e correspondentes tensões na laje, transferindo parte da carga aplicada na laje diretamente para o apoio. Esta transferência de carga é efetuada através das forças nas ancoragens e das forças de desvio do cordão sobre o pilar. Verificou-se um aumento médio da capacidade de carga ao punçoamento de 40% para os modelos com 100 mm de espessura e de 52% para os modelos com 120 mm de espessura, relativamente aos seus modelos de referência, DF1 e DF4, respectivamente. Pode-se concluir também que a NP EN 1992-1-1 [1] prevê adequadamente as cargas de rotura enquanto o ACI 318-11 [2] é algo conservador. Já os resultados obtidos com base no MC2010 [3] situam-se entre os resultados obtidos pelas restantes normas. Foi também proposto um método de cálculo para o sistema proposto que contempla o comportamento em descarga de elementos

de betão armado e o desenvolvimento da força nos cordões de pré-esforço devido ao carregamento da laje, tendo em conta o comportamento aderente dos cordões, mas que por motivos de limitação de espaço não foram aqui expostas, pelo que se recomenda a consulta de [5].

AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve 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.

REFERÊNCIAS

- [1] 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.
- [2] American Concrete Institute: ACI 318-11. Building Code Requirements Structural Concrete and Commentary, ACI Committee 318; 2011.
- [3] Federation International du Beton. Model Code 2010, Final Draft, fib Bulletins N° 65 and 66, 2012.
- [4] FCT UNL e Lúcio, V., "Sistema de pós-tensão com ancoragens por aderência para estruturas de betão", PT 103785 A, Janeiro 2009.
- [5] 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>.
- [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.
- [7] 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.