

Punçamento em Lajes com Utilização Racional de Betão de Elevada Resistência Sujeitas a Ações Verticais

Micael M. G. Inácio

RELATÓRIO 3

HiCon - Uso Racional de Betão de Elevada Resistência em Estruturas de Laje
Fungiforme Sujeitas a Ações Cíclicas e Sísmicas

(EXPL/EC M-EST/1371/2013)

Junho de 2015

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. DESCRIÇÃO DOS MODELOS.....	3
3. SISTEMA DE ENSAIO.....	7
4. MATERIAIS.....	8
5. INSTRUMENTAÇÃO.....	10
6. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	11
6.1. DESLOCAMENTOS VERTICAIS.....	11
6.2. EXTENSÃO DAS ARMADURAS LONGITUDINAIS.....	15
6.3. CAPACIDADE DE CARGA E COMPORTAMENTO NA ROTURA.....	18
6.4. SUPERFÍCIE DE ROTURA.....	21
7. CONCLUSÃO.....	23
8. AGRADECIMENTOS.....	24
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da secção transversal do modelo com utilização parcial de BER (adaptado de [1]).	2
Figura 2 – Geometria dos modelos ensaiados por Zohrevand <i>et al</i> [2].	2
Figura 3 – Esquema dos modelos ensaios por Bastien-Masse e Brühwiler [3].	3
Figura 4 – Relação do modelo de ensaio com o diagrama de momentos fletores de uma laje funiforme.	4
Figura 5 – Geometria dos modelos com utilização parcial de BER.	5
Figura 6 – Esquema das armaduras longitudinais (dimensões em mm).	5
Figura 7 – Rede hexagonal usada como molde da zona em BER (a) e betonagem localizada de BER (b).	6
Figura 8 – Vista geral após betonagem da zona em BER (a) e durante a betonagem com betão normal (b).	6
Figura 9 – Sistema de ensaio utilizado (dimensões em mm).	7
Figura 10 – Vista inferior do modelo SHSC7 sobre o macaco hidráulico.	8
Figura 11 – Sistema de aquisição de dados (a) e posicionamento dos defletómetros (b).	10
Figura 12 – Posicionamento dos defletómetros verticais nas faces superior (dimensões em mm).	10
Figura 13 – Posicionamento dos extensómetros na armadura longitudinal superior dos modelos.	11
Figura 14 – Evolução dos deslocamentos verticais com o carregamento dos modelos 4 a 9.	13
Figura 15 – Deformada para alguns patamares de carga dos modelos sem utilização de BER, nas direcções E-O (a) e N-S (b).	14
Figura 16 – Deformada para alguns patamares de carga dos modelos SHSC5 e SHSC9, nas direcções E-O (a) e N-S (b).	14
Figura 17 – Deformada para alguns patamares de carga dos modelos SHSC7 e SHSC8, nas direcções E-O (a) e N-S (b).	15
Figura 18 – Evolução da extensão na armadura superior dos modelos de referência e dos modelos com utilização parcial de BER.	16
Figura 19 – Distribuição transversal da extensão nos modelos de referência e nos modelos com utilização parcial de BER.	17
Figura 20 – Cargas de roturas dos modelos com utilização parcial de BER e dos modelos de referência.	18
Figura 21 – (a) Vista superior do modelo SHSC6 antes da rotura; (b) vista inferior do modelo SHSC7 após a rotura.	19
Figura 22 – Vista superior dos modelos 4 a 9 depois de ensaiados.	20
Figura 23 – Modelo SHSC8: (a) vista superior imediatamente antes da rotura; (b) vista superior após a rotura.	21
Figura Erro! Não existe nenhum texto com o estilo especificado no documento..24 – Vista pormenorizada da superfície de rotura do modelo SHSC8.	21
Figura 25 – Detalhes da superfície de rotura do modelo SHSC5.	22
Figura 26 - Vista da superfície de rotura dos modelos na direcção N-S.	22
Figura 27 - Vista da superfície de rotura dos modelos na direcção E-O.	23

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Altura útil média e percentagem geométrica dos modelos ensaiados.	6
Quadro 2 – Composições dos betões utilizados (kg/m^3).	8
Quadro 3 – Propriedades mecânicas dos betões utilizados (MPa).	9
Quadro 4 – Propriedades mecânicas do aço das armaduras longitudinais (MPa).	9
Quadro 5 – Rigidez fendilhada, deformação na rotura e energia dissipada dos modelos.	12
Quadro 6 – Deformação e carga correspondente à cedência das armaduras e ductilidade.	17
Quadro 7 – Inclinação média da superfície de rotura dos modelos de referência e com utilização racional de BER.	22

1. INTRODUÇÃO

Os ensaios experimentais apresentados no Relatório 2 referente ao trabalho realizado no âmbito do projeto HiCon mostraram que a utilização de BER em lajes fungiformes melhora o seu comportamento ao punçamento. A capacidade de carga dos modelos produzidos em BER foi superior em até 42% do valor obtido no modelo de referência, produzido com um betão convencional. Além do incremento da resistência ao punçamento, o BER levou ao aumento da rigidez dos modelos, registando-se para o mesmo nível de carga aplicada, deslocamentos muito inferiores no modelo em que foi usado BER.

Apesar da produção de BER não requerer necessariamente a utilização de materiais ou de técnicas de fabrico especiais, a sua produção está associada à seleção de materiais com características específicas e requer alguns procedimentos particulares, o que inevitavelmente leva a que este material de características melhoradas tenha um custo de produção significativamente maior do que o do betão convencional. Por este motivo faz sentido que se procure uma forma de utilização parcial de BER de maneira a usufruir das suas características na zona ou zonas da estrutura onde são mais importantes, minimizando a quantidade de material e constituindo assim uma solução técnica e economicamente mais vantajosa.

Foram realizados alguns trabalhos com o objetivo de estudar o comportamento ao punçamento de lajes fungiformes com utilização parcial de betões com características melhoradas.

Hallgren [1] ensaiou um modelo em que utilizou BER na zona localizada sobre o pilar e betão normal na parte remanescente, de acordo com a Figura 1. O resultado experimental da laje com utilização parcial de BER foi comparado com os resultados de lajes fabricadas totalmente em BER e o comportamento foi idêntico. A capacidade de carga foi semelhante à dos modelos análogos totalmente em BER, cerca de 60% superior à dos modelos em betão de resistência normal. A utilização parcial de BER levou a maiores deformações na rotura em comparação com os modelos produzidos apenas com BER.

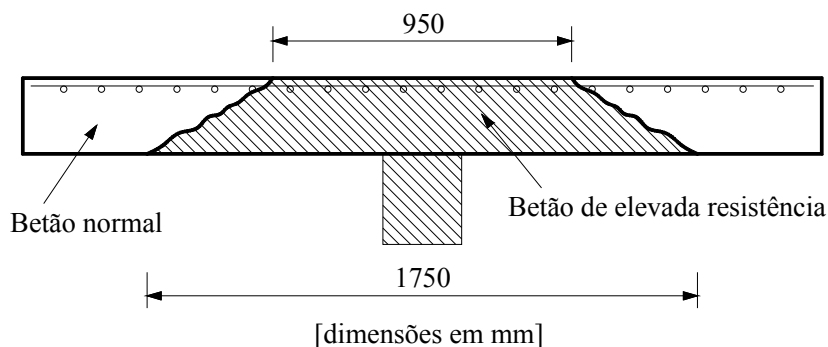


Figura 1 - Esquema da secção transversal do modelo com utilização parcial de BER (adaptado de [1]).

Zohrevand *et al* [2] ensaiaram dez modelos de laje fungiforme para estudar a utilização parcial de betão de desempenho muito elevado (UHPC). As variáveis foram a percentagem de armadura longitudinal, a área de utilização de UHPC e a espessura da camada de UHPC. Foram ensaiados dois modelos em betão de resistência normal, dois modelos em UHPC e seis modelos com utilização parcial de UHPC. A geometria dos modelos com utilização parcial de UHPC é apresentada na Figura 2.

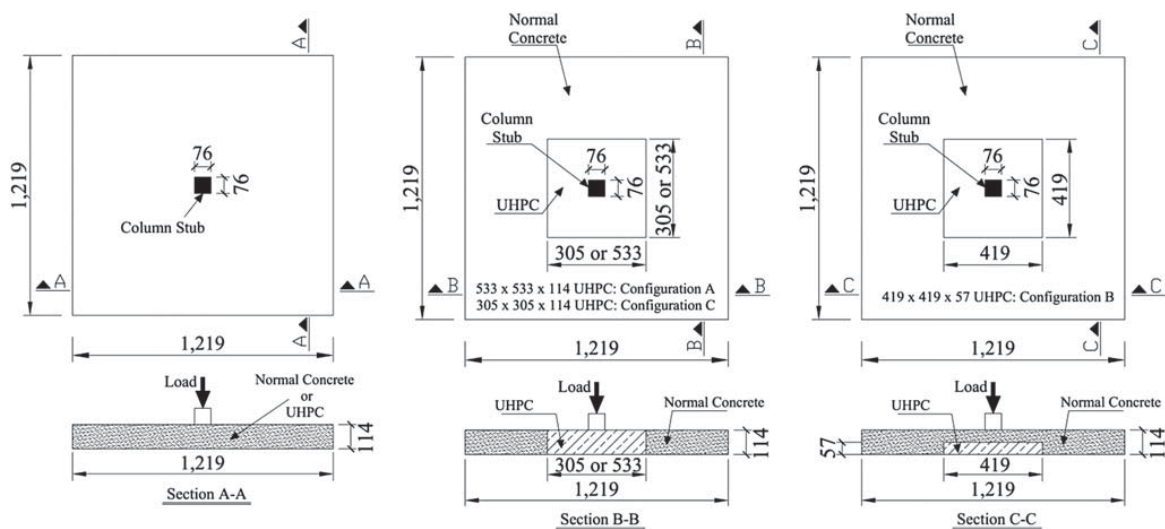


Figura 2 – Geometria dos modelos ensaiados por Zohrevand *et al* [2].

Os resultados experimentais obtidos mostraram que a utilização de uma camada de UHPC na face tracionada e com espessura igual a metade da espessura da laje resultou num aumento pouco significativo da capacidade de carga ao punçoamento. Comparando com os modelos de referência, o aumento da carga de rotura conseguido com a utilização parcial de UHPC foi de 4% e 11%, nos modelos com 0,6% e 1,8% de armadura longitudinal, respetivamente. No entanto, os modelos com a utilização de UHPC na zona da aplicação da carga e em toda a espessura da laje

registaram um acréscimo da capacidade de carga até 71% e 65%, no caso dos modelos com 1,8% e 0,6% de armadura longitudinal superior, respetivamente.

Bastien-Masse e Brühwiler [3] ensaiaram 6 modelos de laje fungiforme para estudar uma técnica de reforço com utilização parcial de betão de desempenho muito elevado com adição de fibras de aço (UHPFRC). Na face tracionada dos modelos foi adicionada uma camada de UHPFRC com espessuras de 25 mm e 50 mm. A Figura 3 mostra a geometria dos modelos e os pontos de aplicação das cargas.

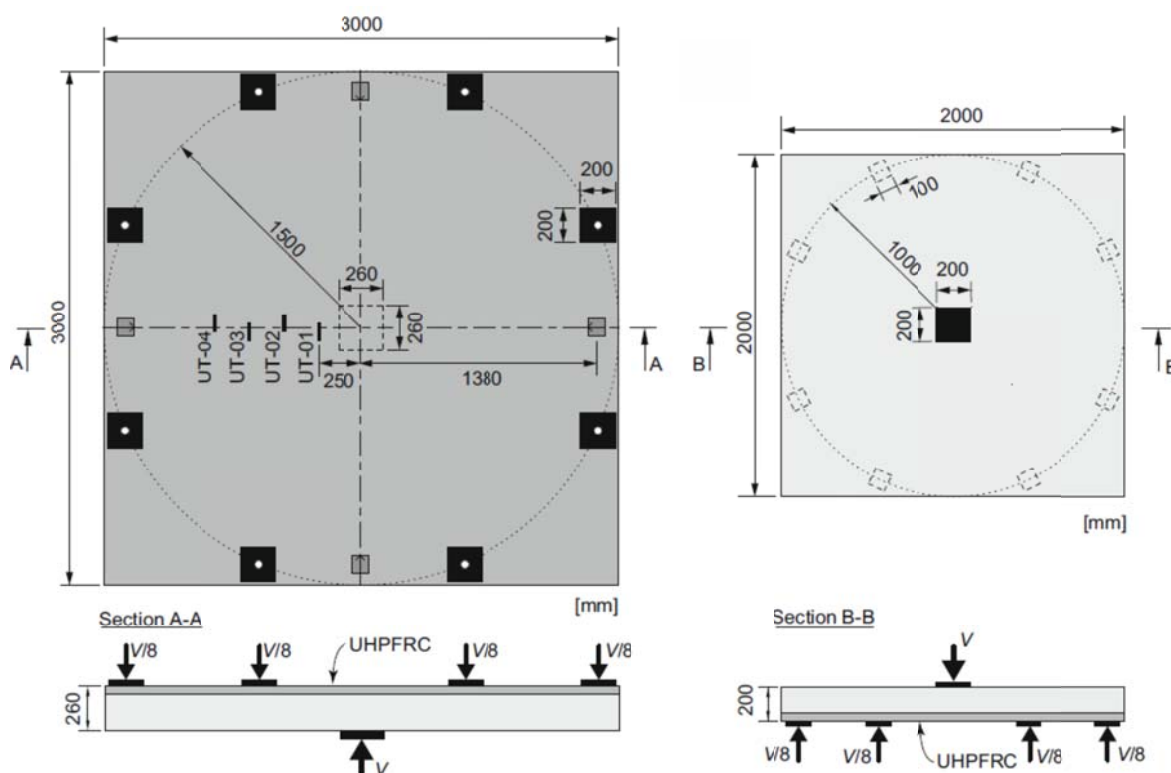


Figura 3 – Esquema dos modelos ensaios por Bastien-Masse e Brühwiler [3].

A colocação de uma camada de UHPFRC de 50 mm na face tracionada levou ao incremento da capacidade de carga até 75%. O modelo com uma camada de 25 mm de UHPFRC registou um aumento da carga de rotura de 31%.

2. DESCRIÇÃO DOS MODELOS

Os modelos utilizados consistiam em painéis quadrados de laje em betão armado. Estes tinham 1650 mm de lado, 125 mm de espessura e pretendiam simular a zona de laje, delimitada pela linha de momentos negativos, junto a um pilar interior de uma estrutura em laje fungiforme com 3,5 m de vão (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**). A esbelteza (l/h) dos

modelos utilizados foi de cerca 28, o que se enquadra na ordem dos valores habitualmente recomendados para o dimensionamento deste tipo de estruturas.

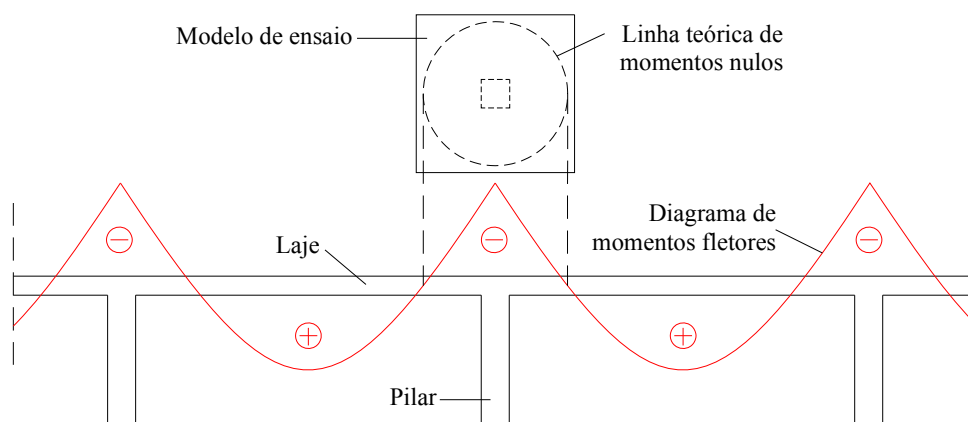


Figura 4 – Relação do modelo de ensaio com o diagrama de momentos fletores de uma laje fungiforme.

A armadura longitudinal inferior era constituída por uma malha de 8 varões $\phi 6$. Os dois varões da armadura inferior mais próximos do pilar foram afastados de forma a reduzir a sua eventual influência nos resultados e além disso outros varões foram ligeiramente desviados devido a condicionantes do sistema de ensaio.

O recobrimento da armadura longitudinal inferior e superior foi de aproximadamente 20 e 12 mm, respetivamente. Antes da betonagem dos modelos, procedeu-se à medição da altura útil das armaduras sendo o seu valor médio apresentado na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, assim como a percentagem geométrica de armadura longitudinal superior. A armadura superior com maior altura útil foi colocada na direção E-O.

Dos seis modelos que são apresentados neste documento, em quatro foi utilizado BER na zona junto ao pilar e dois foram totalmente fabricados com betão de resistência normal, por forma a servirem como modelos de comparação.

Nos modelos com utilização parcial de BER, a zona em BER era quadrada, com espessura igual a um terço da espessura das lajes e com diferentes geometrias em planta. Em duas lajes foi utilizada uma camada de BER com dimensões em planta iguais a uma vez e meia a espessura da laje para cada lado do pilar. Nas outras duas foi adotada uma camada de BER com maiores dimensões em planta, correspondendo a três vezes a espessura da laje para cada lado do pilar. A Figura 5 apresenta as duas geometrias utilizadas da zona com utilização de BER. O Quadro 1 apresenta as dimensões da zona em BER adotada para cada laje.

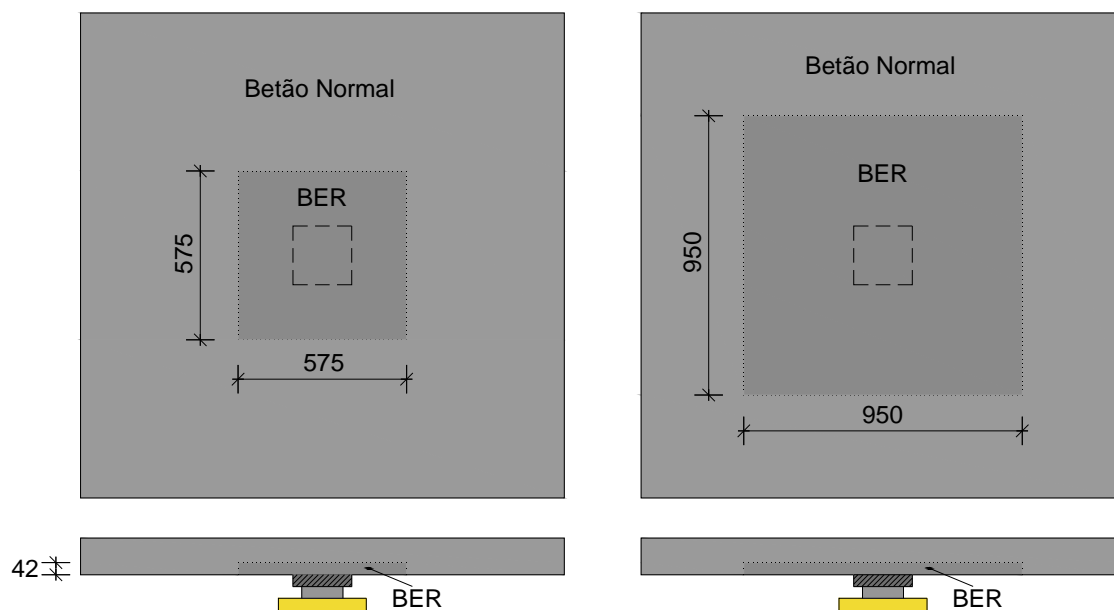


Figura 5 – Geometria dos modelos com utilização parcial de BER.

A armadura longitudinal adotada foi igual à do modelo totalmente em BER com percentagem intermédia de armadura. A Figura 6 apresenta as armaduras longitudinais superior e inferior. O recobrimento da armadura superior foi de 12 mm. A altura útil da armadura longitudinal superior foi registada antes da betonagem e o seu valor médio é apresentado no Quadro 1. A armadura superior orientada na direção E-O é a que tem maior altura útil. A cura dos modelos apresentados neste documento foi realizada da mesma forma que a cura dos modelos apresentados no relatório 2 do projeto HiCon.

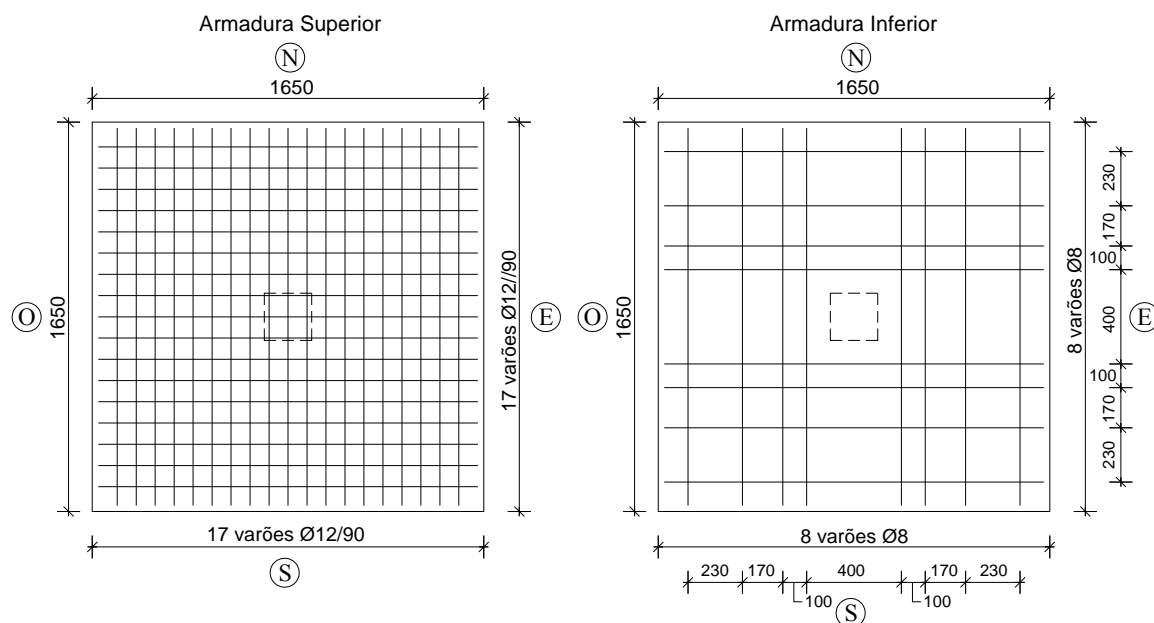


Figura 6 – Esquema das armaduras longitudinais (dimensões em mm).

Quadro 1 – Altura útil média e percentagem geométrica dos modelos ensaiados.

Modelo	Geometria da zona em BER (mm)	d (mm)	ρ (%)
SHSC5	950x950x42	100,6	1,25
SNSC6	-	100,2	1,25
SHSC7	575x575x42	100,0	1,26
SHSC8	575x575x42	100,8	1,25
SHSC9	950x950x42	100,9	1,25

Os modelos com utilização parcial de BER foram produzidos em diversas fases. Inicialmente foi colocada a armadura longitudinal inferior e instalada uma rede hexagonal galvanizada que serviu de molde ao BER a colocar na zona central dos modelos (Figura 7 (a)). Na Figura 7 (b) é ilustrada a colocação e vibração do BER. Após a betonagem com BER procedeu-se à colocação da armadura longitudinal superior e à medição da sua altura útil (Figura 8 (a)). Finalmente foi realizada a betonagem da zona remanescente do molde com betão normal (Figura 8 (b)).



(a)



(b)

Figura 7 – Rede hexagonal usada como molde da zona em BER (a) e betonagem localizada de BER (b).



(a)



(b)

Figura 8 – Vista geral após betonagem da zona em BER (a) e durante a betonagem com betão normal (b).

3. SISTEMA DE ENSAIO

O sistema de ensaio utilizado está esquematizado na Figura 9. O carregamento vertical e centrado foi aplicado através de um macaco hidráulico com 1000 kN de capacidade colocado sob os modelos. A utilização de uma unidade de controlo de pressão hidráulica garantiu a aplicação da força a uma velocidade de carga de 0,25kN/s.

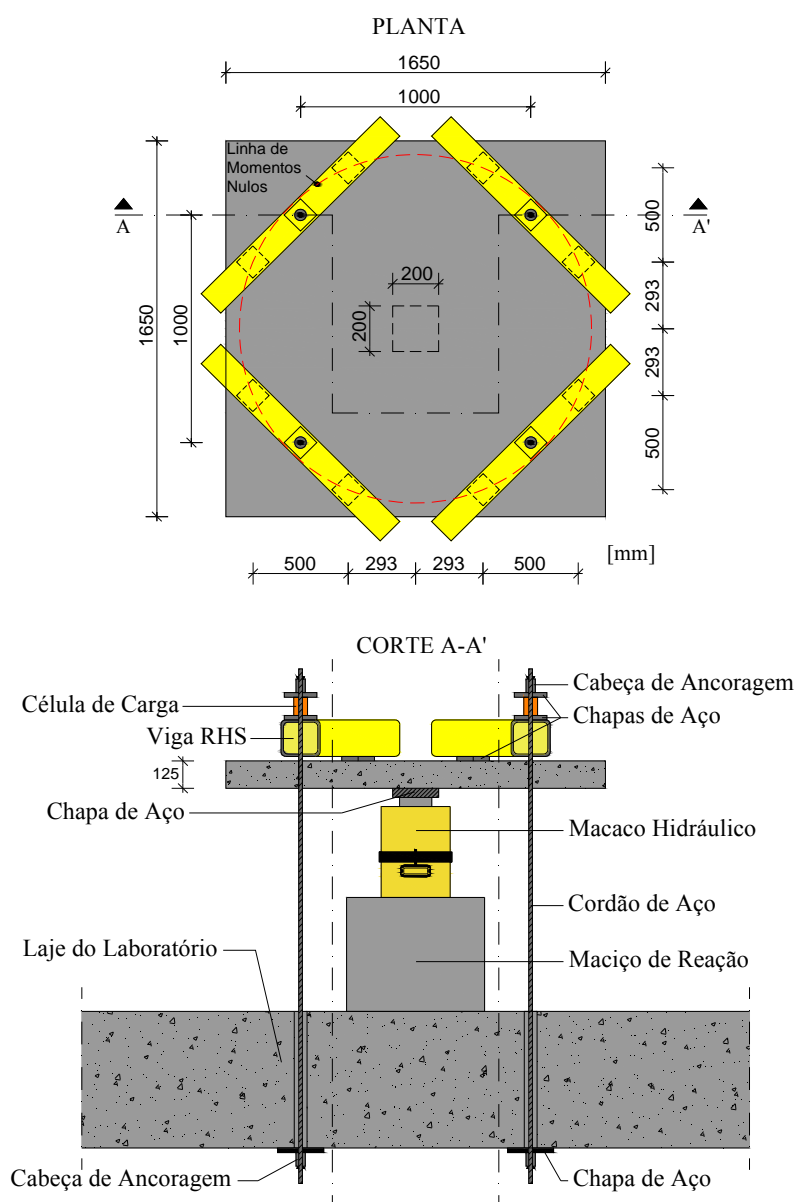


Figura 9 – Sistema de ensaio utilizado (dimensões em mm).

O pilar foi simulado usando uma chapa quadrada metálica com 50 mm de espessura e 200 mm de lado, colocado sobre o macaco (Figura 10). O deslocamento vertical das lajes foi impedido por quatro perfis metálicos RHS 150x150x10 mm apoiados na face superior dos modelos através de oito chapas de aço dispostas ao longo da linha de momentos nulos. As vigas metálicas foram

ancoradas à laje de reação do laboratório através de quatro cordões de aço de alta resistência com 0,6” de diâmetro.



Figura 10 – Vista inferior do modelo SHSC7 sobre o macaco hidráulico.

4. MATERIAIS

O BER utilizado nas lajes apresentadas neste documento é idêntico ao utilizado na fabricação das lajes totalmente em BER, cujo estudo da composição é apresentado no relatório 1 do presente projeto. O betão convencional utilizado foi produzido com agregados grossos de calcário e duas areias lavadas. As composições dos betões utilizados são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Composições dos betões utilizados (kg/m³).

	BER	Betão Normal		
		SHSC5	SNSC6 e SHSC7	SHSC8 e SHSC9
Cimento	500 CEM I 52,5R	450 CEM II/B-L 32,5 N	280 CEM II/B-L 32,5 N	320 CEM II/B-L 32,5 N
Sílica de fumo	50	-	-	-
Brita basalto (10/16)	249	-	-	-
Brita basalto (8/12,5)	839	-	-	-
Brita calcário (6/12,5)	-	871	880	906
Areia (0/4)	489	655	597	626
Areia (0/2)	249	117	311	286
Superplastificante	8,43	-	-	-
Água	139,1	208,2	163,4	184,3

Nos modelos com utilização parcial de BER foram moldados provetes com os dois betões. Com o BER foram produzidos nove provetes cilíndricos com 300 mm de altura e 150 mm de diâmetro e 6 provetes cúbicos de 100 mm de aresta para caracterização do BER. A utilização de provetes cúbicos com 100 mm de aresta em vez dos tradicionais provetes com 150 mm de aresta justifica-se pela falta de capacidade de carga da prensa para ensaiar à compressão os cubos com

150 mm de aresta. Para caracterização do betão normal foram produzidos nove provetes cilíndricos com 300 mm de altura e 150 mm de diâmetro e seis provetes cúbicos de 150 mm de lado.

Os ensaios à compressão dos provetes foram realizados de acordo com a NP EN 12390-3 [4] e a resistência à tração por compressão diametral foi obtida por ensaio de cilindros de acordo com a NP EN 12390-6 [5]. O módulo de elasticidade dos betões foi determinado através de ensaios de compressão em cilindros, de acordo com a especificação E-397 do LNEC [6]. Os cilindros, com exceção dos utilizados para o ensaio de tração por compressão diametral, foram sujeitos ao tratamento das faces de forma a garantir a sua planeza. Todos os ensaios de caracterização do betão foram realizados no mesmo dia do ensaio do modelo respetivo. A caracterização do aço das armaduras longitudinais foi feita através de ensaios de tração a três provetes por cada tipo de varão utilizado, de acordo com a EN 10002-1 [7]. Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos materiais são apresentados no Quadro 3 e Quadro 4.

Quadro 3 – Propriedades mecânicas dos betões utilizados (MPa).

Modelo		f_c	$f_{cc,150}$	$f_{cc,100}$	$f_{ct,sp}$	$E_c (x10^3)$
SHSC5	BER	118,5	-	118,4	8,0	53,1
	Betão Normal	58,0	58,8	-	4,0	40,2
SNSC6	BER	-	-	-	-	-
	Betão Normal	23,0	25,1	-	2,5	31,5
SHSC7	BER	127,3	-	132,1	7,2	53,0
	Betão Normal	24,7	24,3	-	2,6	34,0
SHSC8	BER	125,2	-	124,0	7,5	53,8
	Betão Normal	38,9	36,0	-	3,1	35,7
SHSC9	BER	125,8	-	125,9	7,9	52,5
	Betão Normal	39,1	37,2	-	2,8	37,2

f_c - Resistência à compressão do betão em cilindros 150x300;

$f_{cc,150}$ - Resistência à compressão do betão em cubos 150x150x150;

$f_{cc,100}$ - Resistência à compressão do betão em cubos 100x100x100;

$f_{ct,sp}$ - Resistência à tração do betão por compressão diametral em cilindros 150x300;

E_c - Módulo de elasticidade do betão.

Quadro 4 – Propriedades mecânicas do aço das armaduras longitudinais (MPa).

Modelo	Armadura Superior			Armadura Inferior	
	f_y	f_t	ϵ_y	f_y	f_t
SHSC5	523,4	671,4	2,62 ‰	549,7	697,3
SNSC6	523,4	671,4	2,62 ‰	549,7	697,3
SHSC7	523,4	671,4	2,62 ‰	549,7	697,3
SHSC8	532,3	642,6	2,66 ‰	549,7	697,3
SHSC9	532,3	642,6	2,66 ‰	549,7	697,3

f_y - Tensão de cedência do aço;

f_t - Tensão de rotura do aço;

ϵ_t - Extensão de cedência do aço.

5. INSTRUMENTAÇÃO

Durante os ensaios foram monitorizados os deslocamentos verticais, as forças aplicadas e a extensão em alguns varões da armadura longitudinal superior. A instrumentação utilizada foi conectada a quatro unidades de aquisição de dados em série (Figura 11).

Os deslocamentos verticais da face tracionada das lajes foram medidos através de 11 defletómetros eléctricos correntemente designados de LVDT (*linear variable displacement transducer*), posicionados nos dois alinhamentos ortogonais, conforme está esquematizado na Figura 12.

A força aplicada durante o ensaio pelo macaco posicionado sob os modelos foi medida por quatro células de carga com 200 kN de capacidade, uma por cada cordão de aço que faz a ancoragem dos modelos à laje de reação.



Figura 11 – Sistema de aquisição de dados (a) e posicionamento dos defletómetros (b).

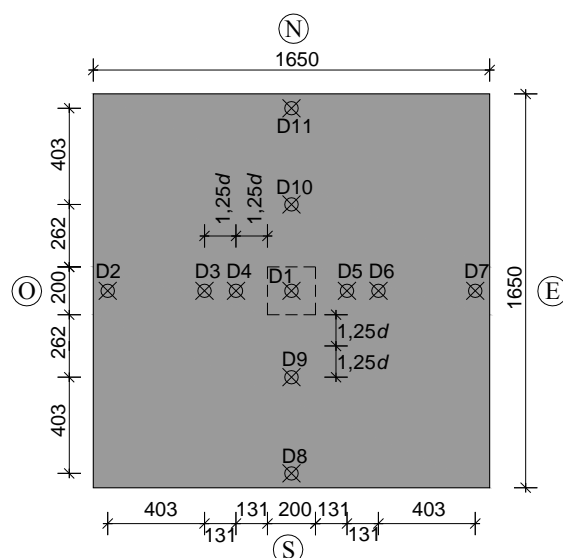


Figura 12 – Posicionamento dos defletómetros verticais nas faces superior (dimensões em mm).

A distribuição dos oito extensómetros elétricos na armadura longitudinal superior foi realizada de acordo com o esquema da Figura 13.

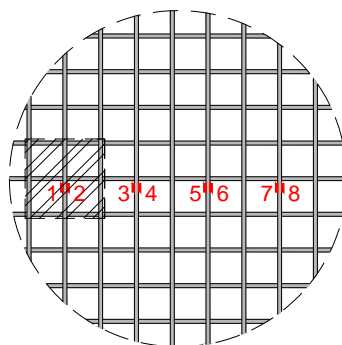


Figura 13 – Posicionamento dos extensómetros na armadura longitudinal superior dos modelos.

6. ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesta secção são apresentados os resultados dos ensaios experimentais dos modelos com utilização parcial de BER. Os deslocamentos verticais, a extensão da armadura longitudinal superior, a capacidade de carga, o modo de rotura e a inclinação da superfície de rotura são analisados e comparados com os modelos produzidos exclusivamente em betão convencional. A análise destes resultados irá permitir avaliar o desempenho ao punçoamento da solução apresentada de lajes fungiformes com utilização parcial de BER.

As cargas referidas ao longo desta secção correspondem à soma das forças medidas nas células de carga utilizadas no sistema de ensaio, do peso próprio dos elementos do sistema de ensaio e de monitorização colocados sobre a laje e do peso próprio da laje excluindo a área de laje dentro do perímetro de controlo de referência definido a 2d das faces do pilar. O valor inicial de força apresentado nos vários gráficos corresponde ao peso próprio do sistema de ensaio e da área de laje fora do perímetro de controlo, o que perfaz um total de 12,75 kN.

6.1. Deslocamentos verticais

Na Figura 14 são apresentados diagramas com a evolução dos deslocamentos verticais relativos ao centro dos modelos em função da força aplicada. Para além dos modelos com utilização parcial de BER são apresentados os gráficos força-deslocamento para os modelos de comparação SNSC4 e SNSC6. A deformação dos modelos foi monitorizada através de 11 defletómetros elétricos posicionados na face superior dos modelos, de acordo com a Figura 12. Em cada direção foi calculado o valor médio do deslocamento de cada par de defletómetros colocados à mesma distância do centro da laje.

À semelhança do comportamento observado nos modelos exclusivamente em BER, a deformação medida na direção N-S é ligeiramente superior aos valores observados na direção E-O, devido à menor rigidez fendilhada das lajes na direção N-S, em consequência da armadura superior com menor altura útil estar orientada nessa direção.

O Quadro 5 apresenta para as lajes abordadas neste documento a rigidez fendilhada (k_f), a deformada para a carga de rotura (Δ_u), a carga de rotura (P_u) e a energia dissipada no ensaio. O comportamento força-deslocamento é em geral semelhante em todos os modelos apesar das diversas diferenças entre eles.

Comparando os dois modelos produzidos inteiramente em betão normal, SNSC4 e SNSC6, verifica-se que a carga para a qual se inicia a fendilhação é ligeiramente inferior no modelo SNSC6. Além disso, o modelo SNSC6 apresenta um comportamento pós-fendilhação com menor rigidez e ligeiramente maior capacidade de dissipação de energia. As diferenças referidas no comportamento dos modelos de referência justificam-se pela maior resistência à compressão do betão usado do SNSC4.

O efeito da variação da resistência à compressão do betão normal usado nos modelos com utilização parcial de BER pode ser analisado comparando a evolução dos gráficos carga-deslocamento e os parâmetros apresentados no Quadro 5 para os pares de modelos SHSC5-SHSC9 e SHSC7-SHSC8. Em termos de rigidez fendilhada não se verificam diferenças assinaláveis mas quanto à capacidade de dissipação de energia, nos modelos em que o betão normal é mais resistente observa-se uma tendência para apresentarem uma quantidade de energia dissipada ligeiramente superior.

Quadro 5 – Rigidez fendilhada, deformação na rotura e energia dissipada dos modelos.

Parâmetro	Modelo					
	SNSC4	SHSC5	SNSC6	SHC7	SHSC8	SHSC9
k_f (kN/mm)	29,1	31,2	26,9	31,2	30,7	32,6
Δ_u (mm)	8,5	12,0	9,6	11,4	11,4	11,0
P_u (kN)	310	417	305	405	428	424
Energia dissipada (kN·mm)	1695	3317	1938	2936	3202	3093

k_f – Rigidez fendilhada da laje;

Δ_u - Deformada para a carga de rotura da laje;

P_u – Carga de rotura da laje.

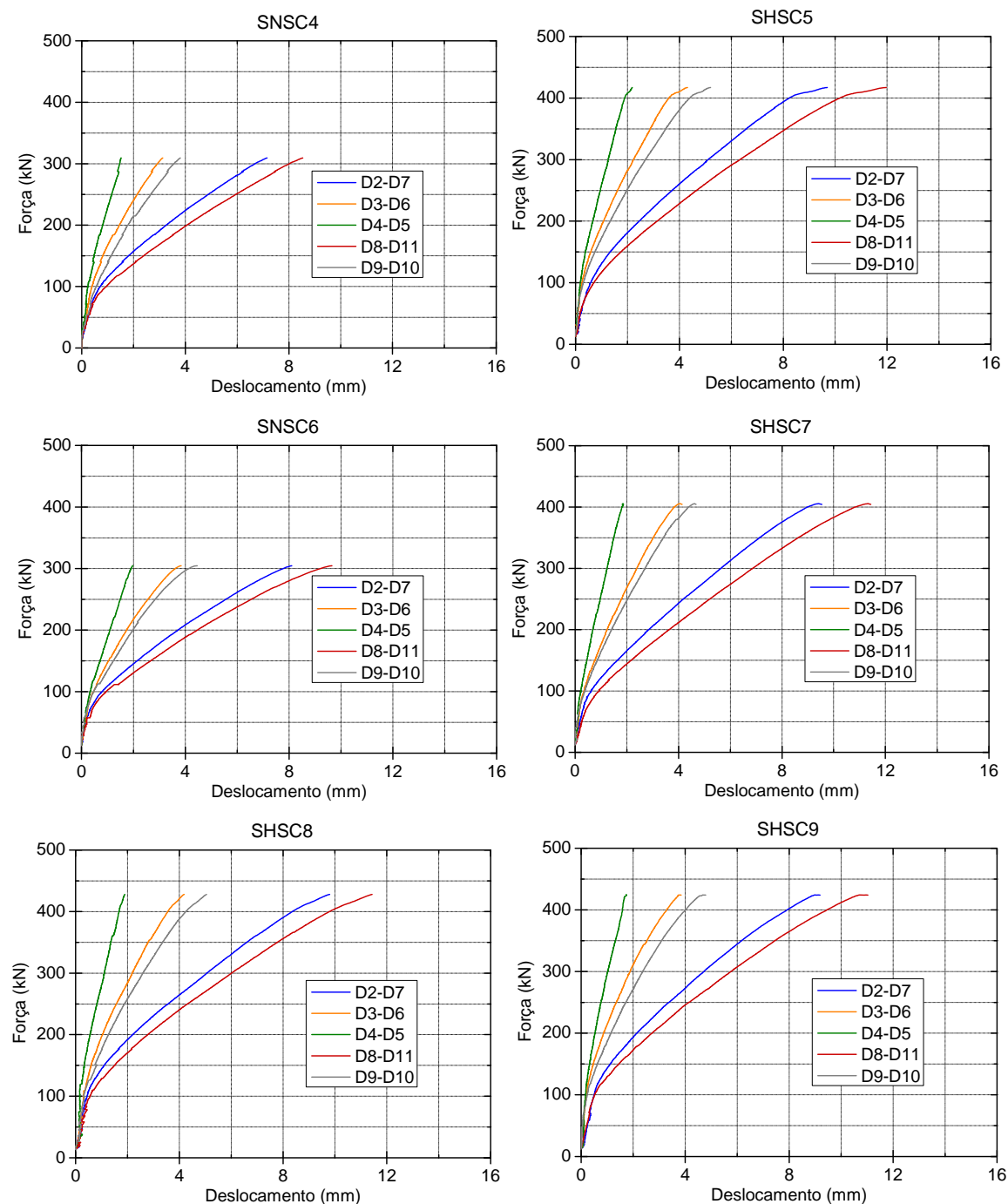


Figura 14 – Evolução dos deslocamentos verticais com o carregamento dos modelos 4 a 9.

Comparando os resultados dos modelos SHSC8 e SHSC9, que apenas diferem na quantidade de BER utilizado, verifica-se que o modelo com maior volume de BER (SHSC9) apresenta um comportamento um pouco mais rígido na fase fendilhada. No entanto, o modelo SHSC9 apresentou uma capacidade de dissipação de energia ligeiramente inferior.

Os modelos com utilização parcial de BER apresentaram um aumento da rigidez fendilhada, em comparação com os modelos SNSC4 e SNSC6. A capacidade de dissipação de energia

durante o ensaio foi muito aumentada com a utilização racional de BER. No modelo SHSC7 verificou-se um aumento de 51%, em comparação com o modelo SNSC6, e nos modelos SHSC8 e SHSC9 registou-se um aumento médio de 86% em relação ao modelo de referência SNSC4.

A posição deformada para alguns níveis de carga são apresentados na Figura 15, Figura 16 e Figura 17, para ambas as direções.

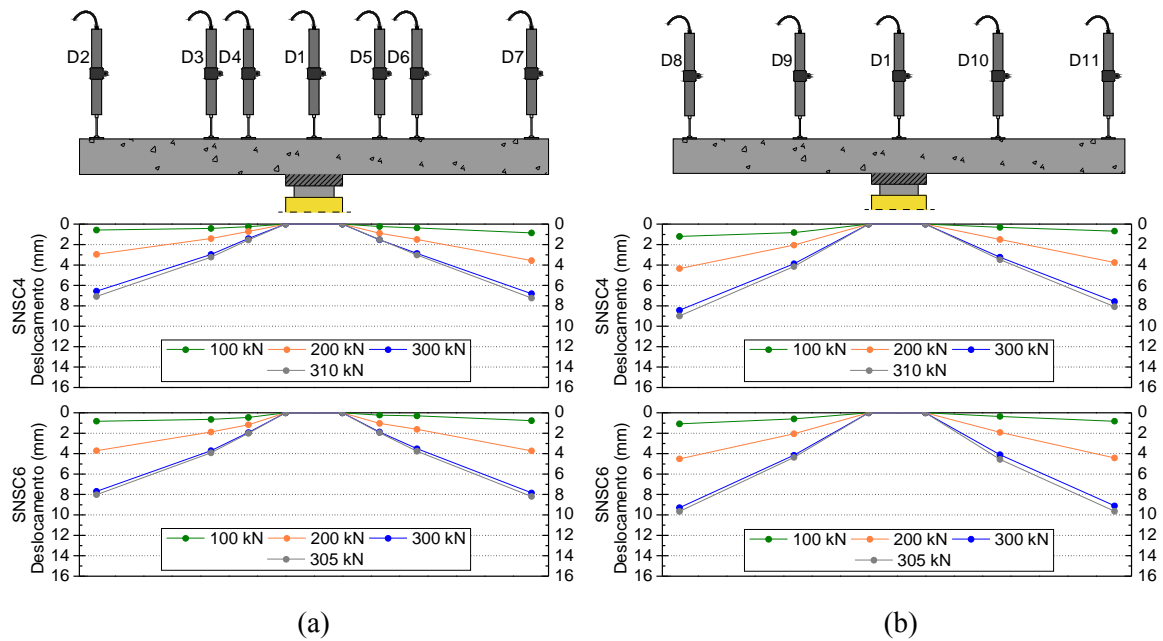


Figura 15 – Deformada para alguns patamares de carga dos modelos sem utilização de BER, nas direções E-O (a) e N-S (b).

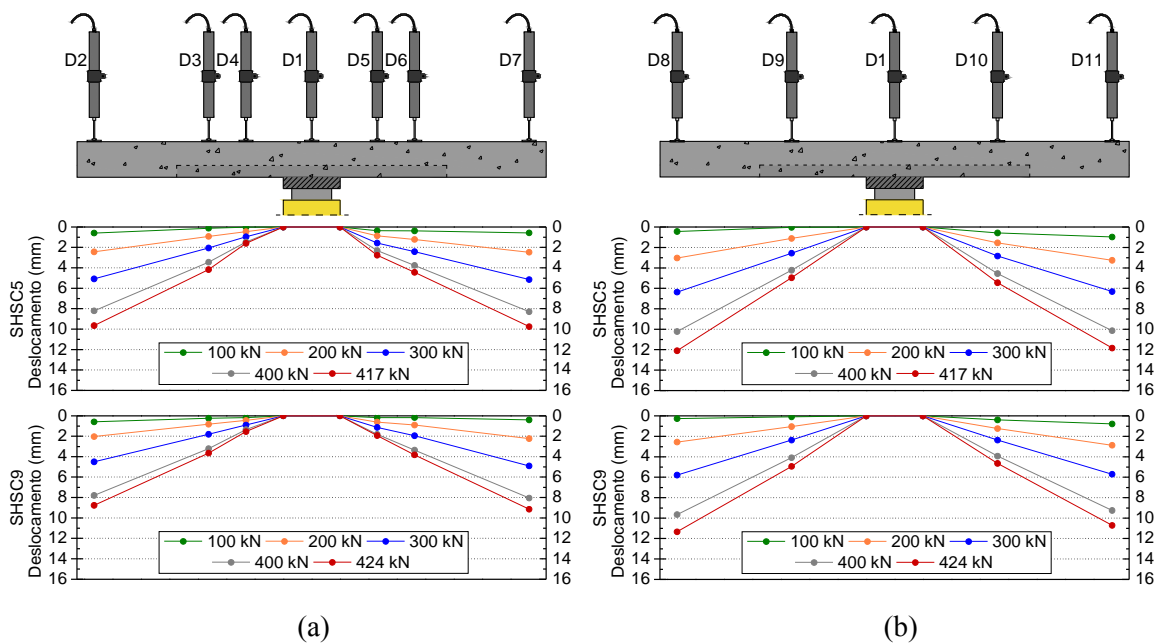


Figura 16 – Deformada para alguns patamares de carga dos modelos SHSC5 e SHSC9, nas direções E-O (a) e N-S (b).

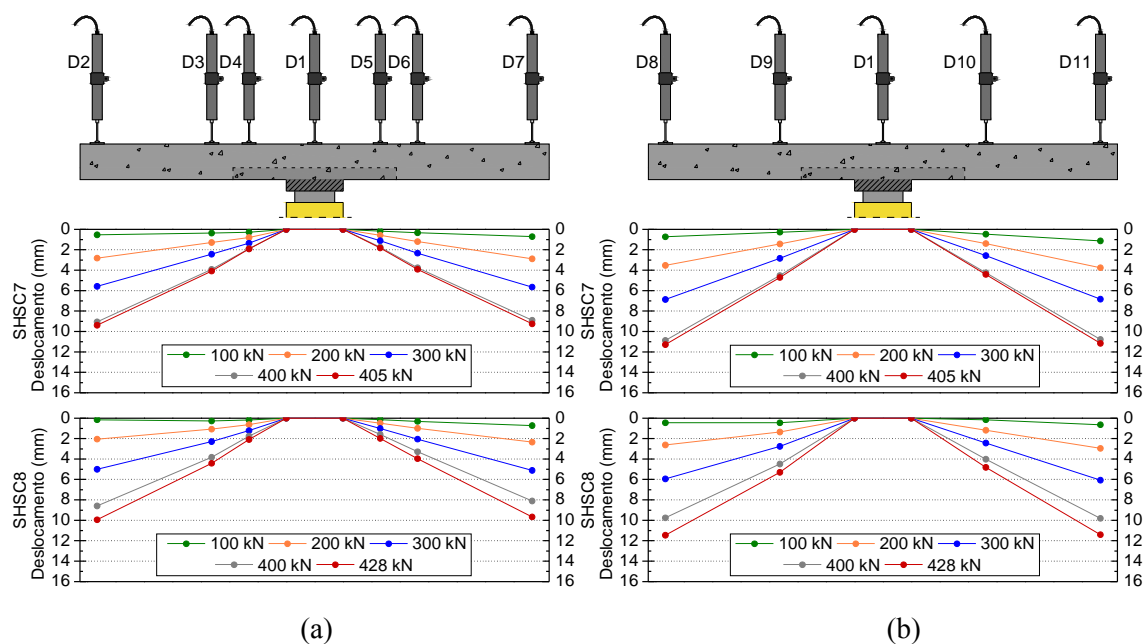


Figura 17 – Deformada para alguns patamares de carga dos modelos SHSC7 e SHSC8, nas direções E-O (a) e N-S (b).

A deformada de todos os modelos apresenta uma configuração similar entre si, caracterizando-se pela sua linearidade e pela elevada rotação junto à periferia da área carregada. A utilização parcial de BER e a alteração da geometria da sua aplicação não originou alterações evidentes, para além da maior deformação atingida.

6.2. Extensão das armaduras longitudinais

A extensão de alguns varões da armadura longitudinal superior foi monitorizada através de oito extensómetros eléctricos. Os extensómetros foram colados em pares, na armadura orientada na direção de maior altura útil (E-O), de acordo com o posicionamento esquematizado na Figura 13.

Foram elaborados gráficos com a evolução da extensão nos varões instrumentados em função da carga vertical aplicada nas lajes, que são apresentados na Figura 18. O valor inicial do carregamento corresponde ao peso próprio dos modelos e de todo o sistema de ensaio e de monitorização colocado sobre os modelos. Os valores de extensão apresentados correspondem à média dos valores medidos no par de extensómetros colados em cada varão instrumentado. Alguns extensómetros avariaram e nesse caso usou-se o valor registado apenas no extensómetro funcional. Na Figura 19 são apresentados diagramas com a distribuição transversal de extensões para alguns patamares de carga.

Nos gráficos apresentados nas Figura 18 e Figura 19 foi marcada uma linha a traço interrompido para identificar os valores correspondentes à extensão de cedência das armaduras de cada modelo, os quais são apresentados no Quadro 4.

No Quadro 6 são apresentados os valores da força aplicada na laje (P_y) e do deslocamento (Δ_y) no momento em que se verifica a entrada em cedência do primeiro varão. É ainda apresentada a ductilidade dos modelos, calculada como a relação Δ_u/Δ_y .

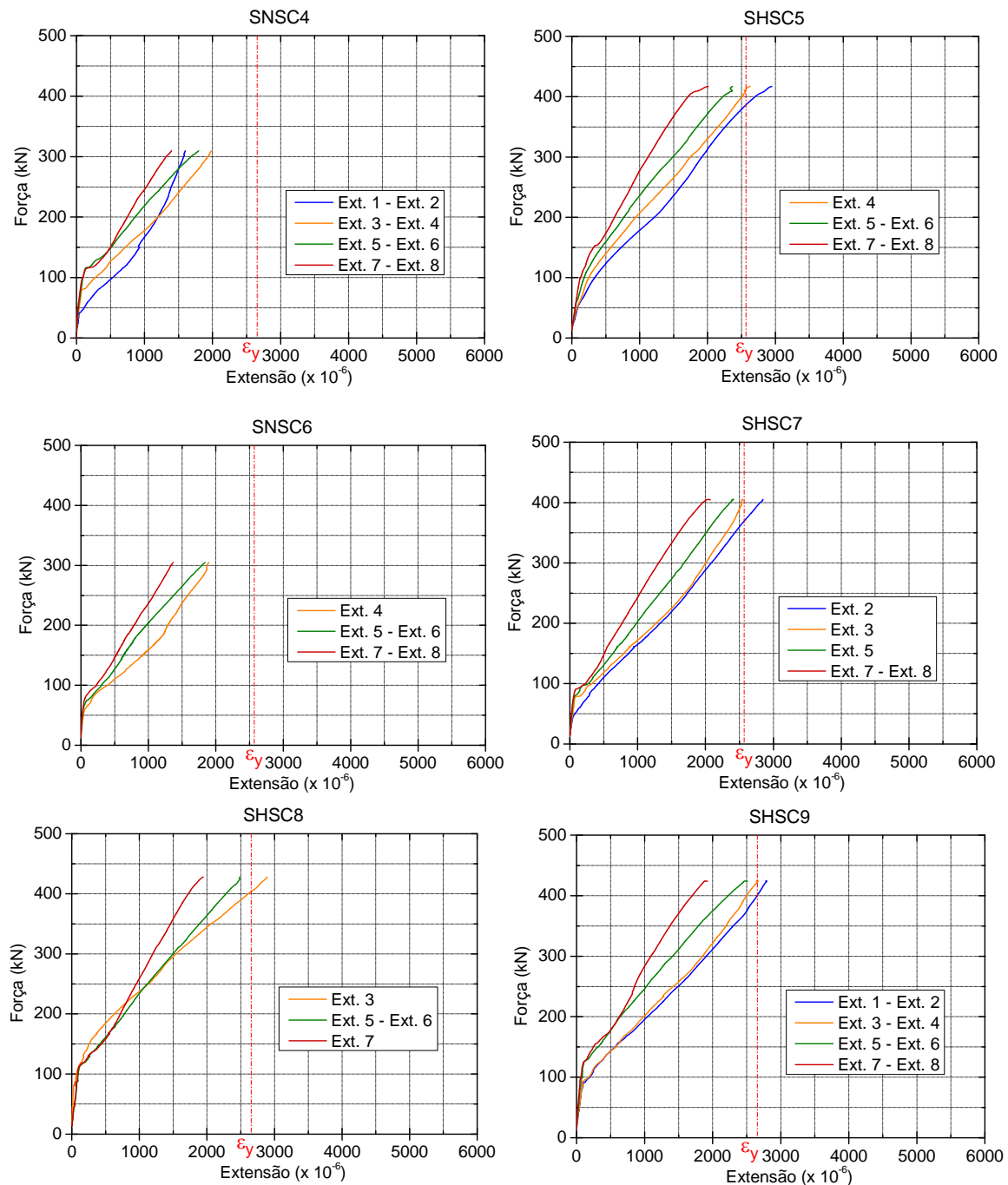


Figura 18 – Evolução da extensão na armadura superior dos modelos de referência e dos modelos com utilização parcial de BER.

Quadro 6 – Deformação e carga correspondente à cedência das armaduras e ductilidade.

Parâmetro	Modelo					
	SNSC4	SHSC5	SNSC6	SHSC7	SHSC8	SHSC9
Δ_y (mm)	-	9,8	-	9,7	10,0*	9,5
P_y (kN)	-	392	-	376	404*	402
Ductilidade (Δ_u/Δ_y)	-	1,22	-	1,18	1,14	1,16

Δ_y – Deformada para a carga correspondente à cedência do primeiro varão;
 P_y - Carga correspondente à cedência do primeiro varão.

Nos diagramas da evolução da extensão são visíveis as três fases distintas da resposta dos modelos: comportamento em regime elástico e linear, fase de transição em que surgem fendas de flexão e se verifica uma perda de rigidez e fase de resposta em regime fendilhado.

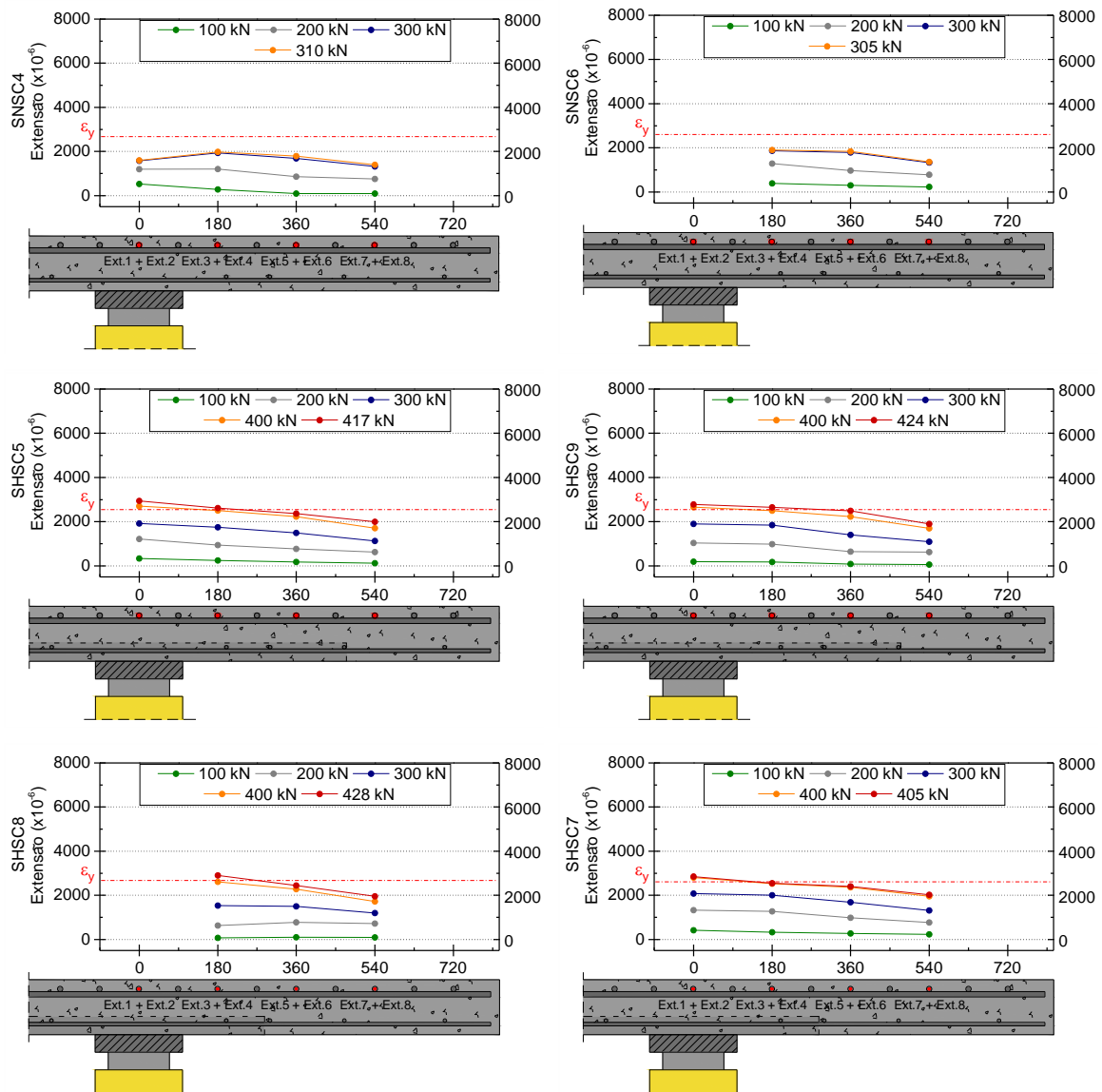


Figura 19 – Distribuição transversal da extensão nos modelos de referência e nos modelos com utilização parcial de BER.

Nos modelos de referência, SNSC4 e SNSC6, produzidos em betão convencional nenhum varão atingiu a extensão de cedência. Comparando a evolução das extensões nos modelos de referência observa-se que no modelo SNSC6 o início da fendilhação ocorre para uma carga ligeiramente inferior, o que é justificado pela menor resistência do betão.

Em todos os modelos com utilização racional de BER verificou-se a entrada em cedência dos dois varões instrumentados mais próximos do centro dos modelos. No caso do modelo SHSC8 não foi possível obter as extensões no varão do centro do modelo devido a avaria dos extensómetros durante o ensaio, no entanto, admitindo a distribuição de extensões observada nos restantes modelo, conclui-se que este varão atingiu a cedência.

A distribuição transversal da extensão da armadura longitudinal superior das lajes com utilização parcial de BER segue o comportamento observado nas lajes produzidas totalmente em betão convencional e em BER. Os varões mais próximos do centro dos modelos são os que apresentam maior valor de extensão decrescendo à medida que o afastamento dos varões à área carregada aumenta.

6.3. Capacidade de carga e comportamento na rotura

A Figura 20 mostra graficamente a carga de rotura dos vários modelos com utilização parcial de BER e ainda dos modelos de referência, produzidos totalmente em betão normal. Para facilitar a interpretação dos resultados, no gráfico de barras foi adicionada informação acerca das características de cada modelo, tais como a resistência à compressão dos betões utilizados no seu fabrico e a percentagem de BER utilizado, no caso dos modelos com utilização parcial de BER.

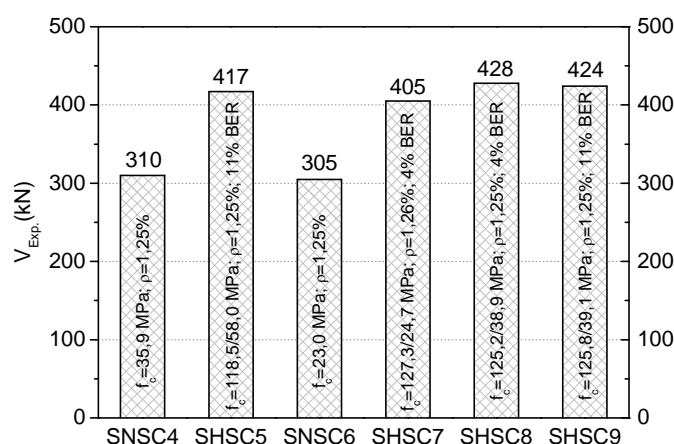


Figura 20 – Cargas de roturas dos modelos com utilização parcial de BER e dos modelos de referência.

Todos os modelos atingiram rotura por punçoamento. Na Figura 21 são apresentadas fotografias da face superior do modelo SNSC6 imediatamente antes da rotura e da face inferior do modelo SHSC7 após atingir a carga de colapso.

Os resultados obtidos nos ensaios experimentais mostram que a utilização parcial de BER na zona do pilar conduziu ao aumento significativo da capacidade resistente ao punçoamento dos modelos de laje funfiforme utilizados, com o incremento da capacidade de carga a atingir os 38%, em relação ao modelo produzido integralmente em betão convencional.

Nos modelos com o betão convencional de resistência mais baixa (SNSC6 e SHSC7) foi registado o aumento da capacidade resistente em cerca de 33% com a utilização parcial de BER. No entanto, nos modelos similares onde foi utilizado betão convencional com resistência mais elevada (SNSC4 e SHSC8) verificou-se um aumento da carga de rotura em 38%. A qualidade do betão convencional utilizado na face tracionada dos modelos com utilização parcial de BER influenciou ligeiramente o desempenho das lajes ao punçoamento.

Quanto ao efeito da variação da geometria em planta da zona em BER, observa-se que os modelos SHSC8 e SHSC9 apresentaram comportamentos muito próximos, com o modelo com maior volume de BER a atingir a rotura para uma carga aplicada ligeiramente inferior. A diferença do valor da carga de rotura dos modelos referidos é justificada pela dispersão associada à realização de ensaios laboratoriais desta natureza.

A comparação dos resultados dos modelos SHSC5 e SHSC9 evidenciam a importância da resistência à compressão do betão na face comprimida para o aumento da resistência das lajes ao punçoamento. Apesar da resistência à compressão do betão convencional do modelo SHSC5 ser cerca de 48% superior à do modelo SHSC9, a sua carga de rotura foi inferior à do modelo SHSC9, condicionada pela utilização de BER com resistência à compressão ligeiramente inferior.

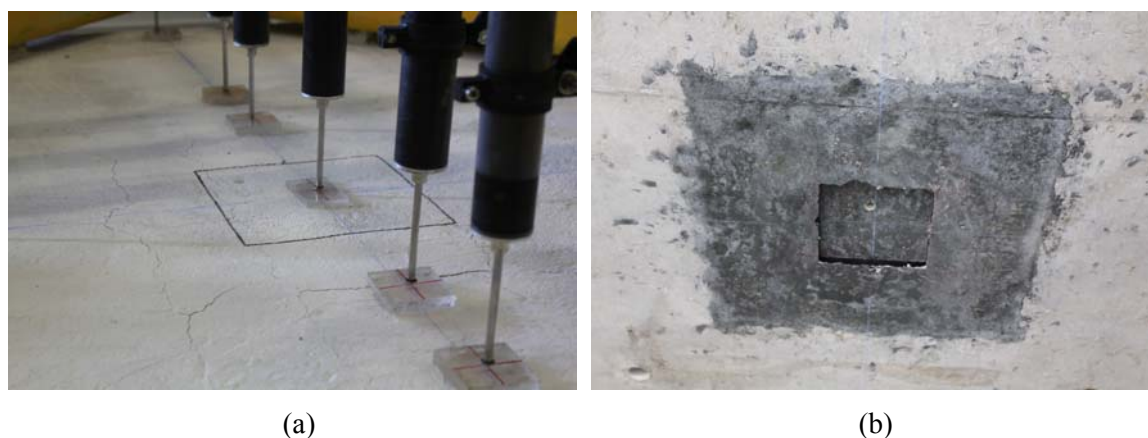


Figura 21 – (a) Vista superior do modelo SNSC6 antes da rotura; (b) vista inferior do modelo SHSC7 após a rotura.

Durante o ensaio dos vários modelos foi observado um padrão de fendilhação similar, com as primeiras fendas a serem tangenciais e a surgirem junto às faces da zona carregada, desenvolvendo-se posteriormente fendas radiais junto ao contorno da zona carregada. Para valores de carga aplicada elevados surgiram fendas tangenciais ao contorno da área carregada que originaram à superfície de rotura por punçamento. A Figura 22 mostra a face superior dos modelos com utilização racional de BER e dos modelos de referência, onde pode ser observado o padrão de fendilhação após a rotura. A Figura 23 mostra a face superior do modelo SHSC8 durante o ensaio, imediatamente antes e após a rotura.

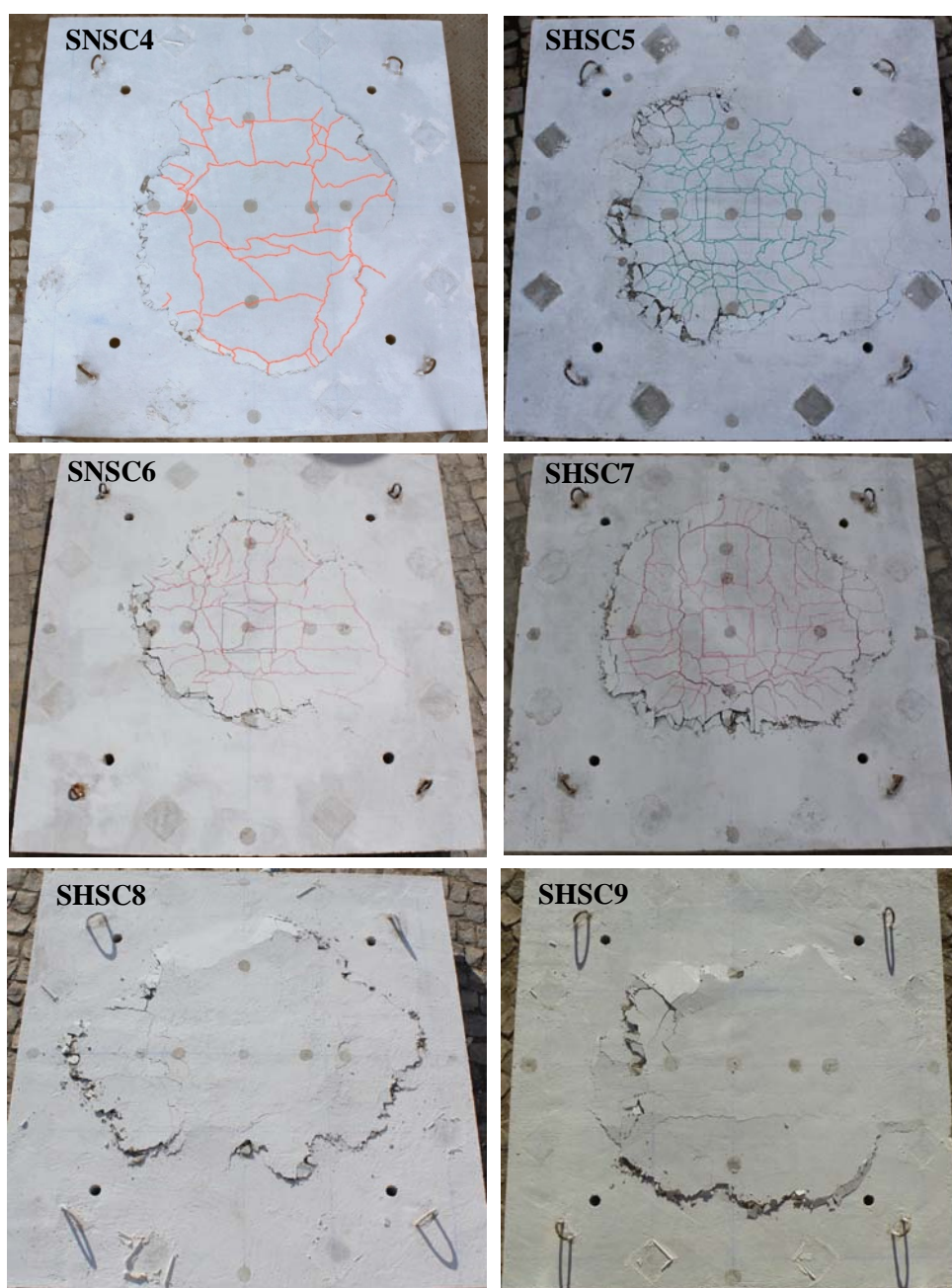


Figura 22 – Vista superior dos modelos 4 a 9 depois de ensaiados.



Figura 23 – Modelo SHSC8: (a) vista superior imediatamente antes da rotura; (b) vista superior após a rotura.

6.4. Superfície de rotura

Após o ensaio dos modelos procedeu-se ao seu corte nas duas direções perpendiculares, conforme esquematizado na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** Para evitar que os cortes coincidissem com o varão colocado no centro dos modelos este foi realizado ligeiramente desviado do centro. Na Figura **Erro! Não existe nenhum texto com o estilo especificado no documento.**24 são apresentadas fotografias da superfície de rotura do modelo SHSC8 onde se pode verificar a integridade da ligação entre o BER e o betão convencional utilizado.



Figura **Erro! Não existe nenhum texto com o estilo especificado no documento.**24 – Vista pormenorizada da superfície de rotura do modelo SHSC8.

Após o corte do modelo SHSC5, procedeu-se à demolição do betão em forma de tronco de pirâmide invertida que se formou no momento da rotura por punçoamento e a Figura 25 mostra a superfície de rotura em detalhe. Não se observam, por inspeção visual, alterações significativas na

rugosidade ou inclinação das superfícies de rotura na transição entre o BER e o betão convencional.



Figura 25 – Detalhes da superfície de rotura do modelo SHSC5.

A Figura 26 e a Figura 27 mostram a vista em corte dos modelos nas direções N-S e E-O, respetivamente. Foi realizada a medição da inclinação das superfícies de rotura com o plano da laje e os resultados médios são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Inclinação média da superfície de rotura dos modelos de referência e com utilização racional de BER.

Modelo	SNSC4	SHSC5	SNSC6	SHSC7	SHSC8	SHSC8
$\alpha_{\text{médio}} (^{\circ})$	25°	25°	32°	23°	23°	23°

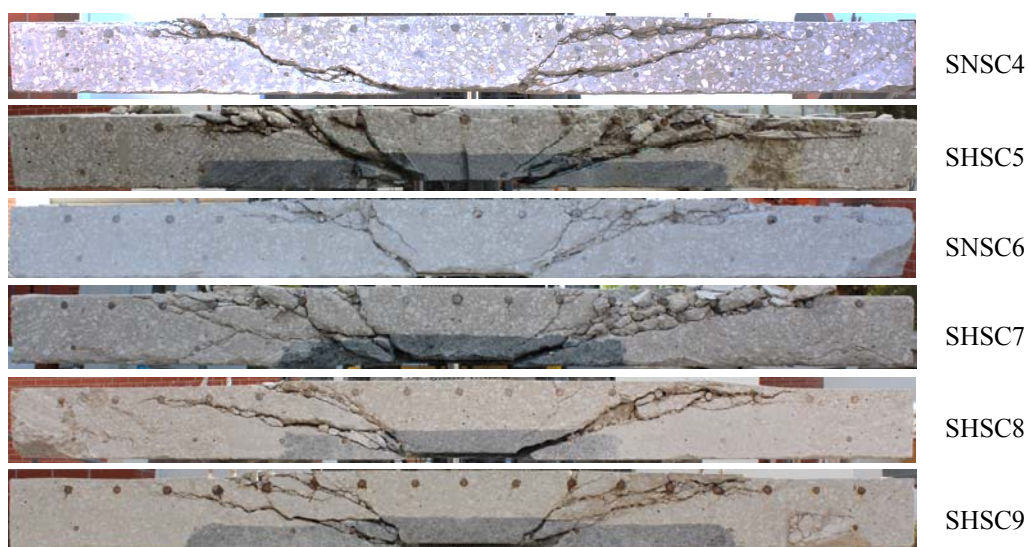


Figura 26 - Vista da superfície de rotura dos modelos na direção N-S.

A inclinação média da superfície de rotura dos modelos com utilização parcial de BER é da mesma ordem de grandeza dos valores obtidos nos modelos de referência, os quais foram produzidos totalmente em betão convencional. A inclinação média da superfície de rotura do modelo SHSC2, produzido totalmente em BER e com a mesma percentagem geométrica de armadura longitudinal superior, cujos resultados são apresentados no Capítulo 4, foi de 41°, substancialmente superior à inclinação registada nos modelos com utilização racional de BER.

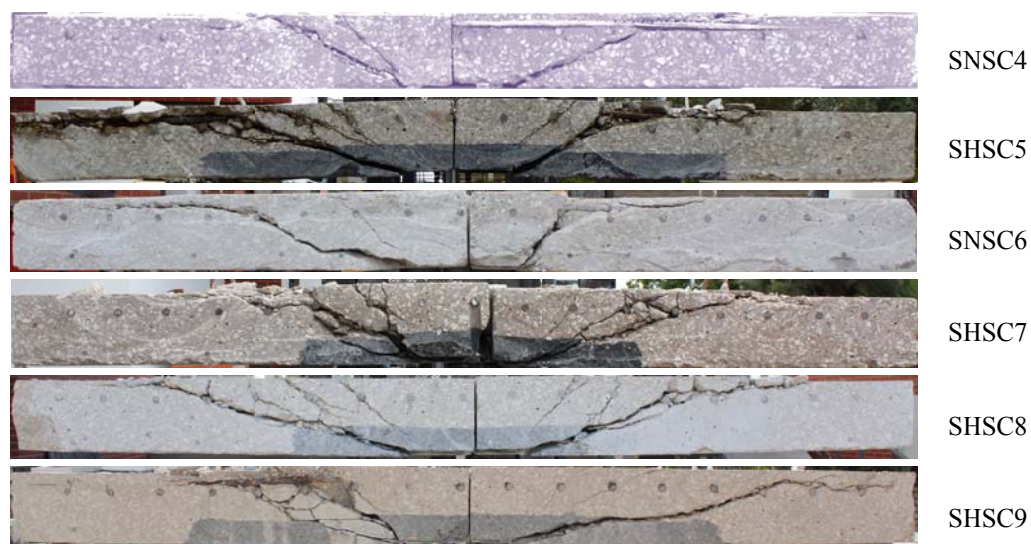


Figura 27 - Vista da superfície de rotura dos modelos na direção E-O.

7. CONCLUSÃO

As vantagens de utilização de BER no comportamento ao punçoamento de lajes fungiformes ficaram patentes nos resultados experimentais apresentados no Relatório 2 do presente projeto. Contudo, e apesar da produção do BER não requerer a utilização de materiais ou de técnicas de fabrico especiais, a sua produção exige a seleção de materiais com características específicas e alguns procedimentos particulares, o que origina um custo de produção deste material substancialmente superior ao de produção de um betão convencional.

No presente Relatório estudou-se uma solução para a utilização do BER de uma forma racional para melhorar o comportamento ao punçoamento de lajes fungiformes. Foram ensaiados quatro modelos com utilização parcial de BER e os resultados foram comparados com modelos de referência, produzidos totalmente em betão normal.

Os resultados experimentais das lajes com utilização parcial de BER mostraram que a solução apresentada melhora significativamente o comportamento ao punçoamento de lajes fungiformes sujeitas ao carregamento vertical e centrado. O incremento máximo da capacidade de carga ao punçoamento atingido nos modelos com utilização parcial de BER foi de 38%, apenas

ligeiramente inferior ao incremento de resistência de 42% registado no modelo produzido totalmente em BER.

8. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi elaborado no âmbito do projeto HiCon - Uso Racional de Betão de Alta Resistência em Estruturas de Laje Fungiforme Sujeitas a Ações Cíclicas e Sísmicas (EXPL/EC M-EST/1371/2013), com o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia - Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior.

Este projeto sobre o comportamento de lajes fungiformes com a utilização racional de betão de elevada resistência sob a ação de cargas gravíticas e sísmicas deu já origem a várias publicações [8-44], servindo estas de meio de divulgação da investigação realizada.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Hallgren, M., “Punching Shear Capacity of Reinforced High Strength Concrete Slabs,” Department of Structural Engineering, Royal Institute of Technology, 1996.
- [2] Zohrevand, P., Asce, M., Yang, X., Asce, M., Jiao, X., Asce, M., Mirmiran, A., and Asce, F., “Punching Shear Enhancement of Flat Slabs with Partial Use of Ultrahigh-Performance Concrete,” pp. 1–10, 2004.
- [3] Bastien-Masse, M. and Brühwiler, E., “Experimental investigation on punching resistance of R-UHPFRC–RC composite slabs,” *Mater. Struct.*, 2015.
- [4] IPQ, “NP EN 12390-3: Ensaios do betão endurecido - Parte 3: Resistência à compressão dos provetes de ensaio.” Instituto Português da Qualidade (IPQ), Caparica, Portugal, p. 21, 2003.
- [5] IPQ, “NP EN 12390-6: Ensaios do betão endurecido - Parte 6: Resistência à tração por compressão de provetes.” Instituto Português da Qualidade (IPQ), Caparica, Portugal, p. 14, 2003.
- [6] LNEC, “E397 - Determinação do módulo de elasticidade em compressão.” Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, p. 2, 1993.
- [7] IPQ, “NP EN 10002-1: Materiais metálicos. Ensaio de tração - Parte 1: Método de ensaio.” Instituto Português da Qualidade (IPQ), Caparica, Portugal, p. 35, 1990.
- [8] RAMOS, A. M. P. e LÚCIO, V. - Post-Punching Behaviour of Prestressed Concrete Flat Slabs. Magazine of Concrete Research, Thomas Telford, 60, no. 4, Maio, 2008.
- [9] FARIA, D., BISCAIA, H., LÚCIO, V. e RAMOS, A – *Punching of reinforced concrete slabs and experimental analysis and comparison with codes*. Proceedings of IABSE-Fib

- Codes in Structural Engineering – Developments and Needs for International Practice, Cavtat, Dubrovnik, Croácia, Maio 2010.
- [10] GOMES, J. e RAMOS, A. *Estudo Experimental do Punçoamento em Lajes Reforçadas com Armadura Transversal Aderente Pós-Instalada*, Encontro Nacional Betão Estrutural 2010, Lisboa, Novembro, 2010.
- [11] PAIAS, J. e RAMOS, A. - *Estudo Experimental do Punçoamento em Lajes de Betão Reforçado com Fibras de Aço*, Encontro Nacional Betão Estrutural 2010, Lisboa, Novembro, 2010.
- [12] RAMOS, A. P., LÚCIO, V e REGAN, P.E. - *Punching of flat slabs with in-plane forces*, Engineering Structures, Volume 33, Issue 3 , Março, 2011.
- [13] FARIA, D.; LÚCIO, V.; RAMOS, A. – *Strengthening of flat slabs with post-tensioning using anchorages by bonding*. Engineering and Structures, Volume 33, Junho 2011, págs. 2025-2043.
- [14] FARIA, D., BISCAIA, H., LÚCIO, V. e RAMOS, A - *Material and geometrical parameters affecting punching of reinforced concrete flat slabs with orthogonal reinforcement*. Short Paper, fib Symposium PRAGUE 2011 – Concrete Engineering for Excellence and Efficiency, Praga, República Checa, Junho 2011.
- [15] RAMOS, A., LÚCIO, V., FARIA, D. e INÁCIO, M. - *Punching Research at Universidade Nova de Lisboa*. Design Of Concrete Structures and Bridges Using Eurocodes, Bratislava, Eslováquia, Setembro 2011.
- [16] FARIA, D., LÚCIO, V., e RAMOS, A. - *Pull-out and push-in tests of bonded steel strands*. Magazine of Concrete Research, Thomas Telford, Volume 63, Issue 9, pp 689-705, September, 2011.
- [17] FARIA, D., INÁCIO, M., LÚCIO, V. e RAMOS, A. - *Punching of Strengthened Concrete Slabs – Experimental Analysis and Comparison with Codes*, IABSE, Structural Engineering International, No. 2 – “Codes of Practice in Structural Engineering”, Maio 2012.

- [18] GOMES, J. e RAMOS, A. P. - *Punçoamento em Lajes Fungiformes Reforçadas com Parafusos Transversais Aderentes (Parte 1)*. Revista Internacional Construlink, Nº 30, Junho de 2012, Vol. 10, 23-33.
- [19] GOMES, J. e RAMOS, A. P. - *Punçoamento em Lajes Fungiformes Reforçadas com Parafusos Transversais Aderentes (Parte 2)*. Revista Internacional Construlink, Nº 30, Junho de 2012, Vol. 10, 34-43
- [20] FARIA, D., LÚCIO, V., e RAMOS, A., *Post-Punching Behaviour of Flat Slabs Strengthened with a New Technique using Post-Tensioning*, Engineering Structures, Volume 40, Julho 2012, pp 382-397.
- [21] MAMEDE, N., RAMOS, A. e FARIA, D. - *Análise do efeito de características mecânicas e geométricas que afetam o comportamento ao Punçoamento de lajes fungiformes*, Encontro Nacional Betão Estrutural 2012, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Outubro de 2012.
- [22] FARIA, D.; LÚCIO, V. e RAMOS, A. - *Reforço de lajes com recurso a pós-tensão com ancoragens por aderência*, Encontro Nacional Betão Estrutural 2012, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Outubro de 2012.
- [23] INÁCIO, M.; RAMOS, A.; LÚCIO, V. e FARIA, D. - *Punçoamento de lajes fungiformes reforçadas com parafusos – efeito da área e posicionamento da ancoragem*, Encontro Nacional Betão Estrutural 2012, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Outubro de 2012.
- [24] INÁCIO, M.; RAMOS, A.; FARIA, D. – *Strengthening of flat slabs with transverse reinforcement by introduction of steel bolts using different anchorage approaches*. Engineering and Structures, Volume 44, Novembro 2012, págs. 63-77.
- [25] CLÉMENT, T., RAMOS, A. P., FERNÁNDEZ RUIZ, M. e MUTTONI, A. - *Design for punching of prestressed concrete slabs*. Structural Concrete, 14: 157–167. 2013.
- [26] MAMEDE, N.; RAMOS, A., FARIA, D. – *Experimental and parametric 3D nonlinear finite element analysis on punching of flat slabs with orthogonal reinforcement*. Engineering and Structures, Volume 48, Março 2013, p. 442-457.

- [27] INÁCIO, M.; RAMOS, A., LÚCIO, V. e FARIA, D. - *Punching of High Strength Concrete Flat Slabs - Experimental Investigation*, Proceedings of fib symposium Tel Aviv 2013, 4p, Tel Aviv, Abril de 2013.
- [28] FARIA, D.; LÚCIO, V. e RAMOS, A. - *Development of a Design Proposal for a Slab Strengthening System using Prestress with Anchorages by Bonding*, Proceedings of fib symposium Tel Aviv 2013, Tel Aviv, Abril 2013.
- [29] GOUVEIA, N.; FERNANDES, N., FARIA, D.; RAMOS A. e LÚCIO, V. - *Punching of Steel Fibre Reinforcement Concrete Flat Slabs*, Proceedings of fib symposium Tel Aviv 2013, Tel Aviv, Abril, 2013.
- [30] SILVA, R.; FARIA, D.; RAMOS, A.; INÁCIO, M. - *A physical approach for considering the anchorage head size influence in the punching capacity of slabs strengthened with vertical steel bolts*, Structural Concrete, Junho, 2013.
- [31] Nuno D. Gouveia, Nelson A.G. Fernandes, Duarte M.V. Faria, António M.P. Ramos, Válder J.G. Lúcio, *SFRC flat slabs punching behaviour – Experimental research*, Composites Part B: Engineering, Volume 63, July 2014, Pages 161-171, ISSN 1359-8368, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.04.005>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836814001486>)
- [32] Thibault Clément, António Pinho Ramos, Miguel Fernández Ruiz, Aurelio Muttoni, *Influence of prestressing on the punching strength of post-tensioned slabs*, Engineering Structures, Volume 72, 1 August 2014, Pages 56-69, ISSN 0141-0296, <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.04.034>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029614002478>)
- [33] A. Pinho Ramos, Válder J.G. Lúcio, Duarte M.V. Faria, *The effect of the vertical component of prestress forces on the punching strength of flat slabs*, Engineering Structures, Volume 76, 1 October 2014, Pages 90-98, ISSN 0141-0296, <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.06.039>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029614003952>)

- [34] Duarte M. V. Faria, Jürgen Einpaul, António M. P. Ramos, Miguel Fernández Ruiz, Aurelio Muttoni, *On the efficiency of flat slabs strengthening against punching using externally bonded fibre reinforced polymers*, Construction and Building Materials, Volume 73, 30 December 2014, Pages 366-377, ISSN 0950-0618, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.084>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061814011003>)
- [35] Micael M.G. Inácio, André F.O. Almeida, Duarte M.V. Faria, Válder J.G. Lúcio, António Pinho Ramos, *Punching of high strength concrete flat slabs without shear reinforcement*, Engineering Structures, Volume 103, 15 November 2015, Pages 275-284, ISSN 0141-0296, <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.09.010>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029615005738>)
- [36] Gouveia, N.D., Faria, D.M.V. e Ramos, A. M. P. *Punçoamento em lajes de betão com fibras de aço*. Revista Internacional tech ITT, N° 34, Outubro de 2013, Vol. 11, 22-31.
- [37] Válder Lúcio, Duarte Faria, António Ramos e João Ferreira, *Reabilitação Estrutural de Edifícios com Pós-Tensão*, REHABEND 2014, Santander, Espanha, April 2014, pp 1591-1599, DOI: 10.13140/2.1.2334.0807.
- [38] Nuno Gouveia, Ana Luísa Custódio, Duarte Faria, António Ramos, *A Minimization Procedure for the Determination of SFRC Tensile Behaviour*, EngOpt 2014, 4th International Conference on Engineering Optimization, Lisbon, September 2014, DOI: 10.13140/2.1.1416.5767.
- [39] André Almeida, Micael Inácio, Válder Lúcio and António Ramos, *Flat Slab Punching Behaviour under Cyclic Horizontal Loading*, Short Paper, Proceedings of fib symposium Copenhagen 2015, Concrete – Innovation and Design, 2p, Copenhagen, Denmark, May 2015.
- [40] Gouveia, N.D., Custódia, A.L., Faria, D.M., Ramos, A.P. *Determinação de Relações Tensão-Abertura de Fendas de BRFA através de Análise Inversa*, 9º Congresso Nacional de Mecânica Experimental, Aveiro, Outubro de 2014.
- [41] André Almeida, Micael Inácio, Válder Lúcio e António Ramos. *Punçoamento em Lajes Fungiformes Sujeitas a Ações Cíclicas horizontais – Estudo Experimental*, 5^{as} Jornadas

Portuguesas de Engenharia de Estruturas, Encontro Nacional de Betão Estrutural 2014, 9º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica, Lisboa, Novembro, 2014.

[42] Elaine Albuquerque, Guilherme Melo, António Ramos e Válder Lúcio. *Estudo Teórico-Experimental da Resistência ao Punçoamento de Lajes Fungiformes de Betão Aramado com Pilar de Canto Reentrante sem Armadura de Punçoamento*, 5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, Encontro Nacional de Betão Estrutural 2014, 9º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica, Lisboa, Novembro, 2014.

[43] Nuno Mamede, Duarte Faria e António Ramos. *Análise Numérica do Punçoamento em Lajes Fungiformes Pré-Esforçadas*, 5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, Encontro Nacional de Betão Estrutural 2014, 9º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica, Lisboa, Novembro, 2014.

[44] Micael Inácio, Duarte Faria, Válder Lúcio e António Ramos. *Punçoamento em Lajes Fungiformes de Betão de Elevada Resistência – Estudo Experimental*, 5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, Encontro Nacional de Betão Estrutural 2014, 9º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica, Lisboa, Novembro, 2014.