

Análise experimental de lajes de betão apoiadas em solo **Experimental analysis of concrete slabs on grade**

Joaquim António Oliveira Barros

Escola de Engenharia da Universidade do Minho

António Silva Cardoso

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Joaquim Azevedo Figueiras

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Sumário

Nos pavimentos industriais assentes num maciço terroso as acções cíclicas e de impacto são, na maior parte dos casos, aquelas que condicionam o dimensionamento. Nos pavimentos de betão simples o controlo da fendilhação requer a execução de juntas com mecanismos de transferência de carga entre os bordos de painéis adjacentes. As juntas além de encarecer a solução são por vezes fonte de perda de funcionalidade dos pavimentos. Para resistir às acções actuantes e controlar a fendilhação, os pavimentos têm sido reforçados com armaduras convencionais. Os custos da armadura e principalmente os encargos associados à mão de obra no corte e montagem das armaduras conduz a que esta solução seja bastante mais onerosa do que a solução em betão simples.

O betão reforçado com fibras tem nos pavimentos a sua aplicação por excelência, dado que o custo associado às fibras é largamente compensado pela economia de tempo de execução, pelo aumento do desempenho do material e pela diminuição do número de juntas. A resistência à fadiga, ao impacto e à flexão são substancialmente melhoradas pela correcta adição de fibras ao betão.

O comportamento de lajes de betão apoiadas em solo tem vindo a ser investigado na FEUP, ensaiando-se à rotura lajes de betão simples, armado com rede electrossoldada e reforçado com fibras de aço. As características mecânicas dos betões foram analisadas por meio de ensaios de compressão e flexão sobre provetes cilíndricos e prismáticos, respectivamente, em equipamento com controlo de deformações. O comportamento do solo foi analisado através de ensaio de placa sob controlo automático de força. A presente publicação é dedicada à descrição da investigação experimental desenvolvida e à apresentação de alguns resultados já obtidos.

Summary

In the design of industrial floors on grade the cyclic and impact loading effects are mandatory. The cracking control of plain concrete slabs on grade requires the execution of joints with mechanisms of load transfer between adjacent panels. These joints increase the construction price and often are the source of local damage and lost of the floor performance. Slabs reinforced with wire meshes have been used in order to improve the strength to applied loads and cracking control. However, the use of this conventional reinforcement increases the solution price mainly due to labour time spent on the reinforcement arrangement.

Fibre reinforced concrete is a high performance material well fitted for applications on industrial floors on grade. The cost of fibres is compensated by faster construction time and reduction in the number of expansion joints. The fatigue, impact and flexural strength are significantly improved when steel fibres are added to the concrete mix.

The behaviour of concrete slabs on grade are being investigated in Civil Engineering Dept. of University of Porto. The response up to collapse of plain concrete, wire mesh and fibre reinforced concrete slabs on grade have been studied. The concrete properties are determined by performing uniaxial compression and three-point-bending notched beams tests under displacement control. The soil behaviour was analysed carrying out automatic plate loading tests. The present work is devoted to describe the experimental research and to present some results already obtained

1 - INTRODUÇÃO

As propriedades mecânicas dos materiais de matriz cimentícia, principalmente a resistência às acções dinâmicas, cíclicas e de impacto são significativamente melhoradas quando na sua composição se inclui fibras em dosagens adequadas e com propriedades físicas e geométricas convenientes [1]. Comparativamente com os betões simples, BS, os betões reforçados com fibras, BRF, apresentam também melhor comportamento à fendilhação, dado que se desenvolve maior número de fendas, mas de menor abertura, pelo que fica aumentada a resistência à fendilhação. Sob acções estáticas, a resistência do compósito só é significativamente melhorada se se aplicar elevada percentagem de fibras ($> 60\text{Kg/m}^3$) e estas apresentarem elevada esbelteza (razão entre o comprimento e o diâmetro da fibra) [2]. O melhor desempenho dos BRF resulta fundamentalmente dos mecanismos de reforço proporcionado pelas fibras, sendo de destacar a energia necessária para as fazer deslizar relativamente à matriz envolvente ("pull-out") durante o processo de fendilhação. O reforço proporcionado pelas fibras pode ser ainda aumentado se elas tiverem uma configuração geométrica ou um tratamento de superfície que lhes garanta uma certa "ancoragem" ao material envolvente.

As aplicações que retirem o máximo proveito das vantagens do reforço oferecido pelas fibras são as mais adequadas a serem realizadas com BRF. Os pavimentos industriais são uma aplicação por excelência dos BRF dado que durante a sua vida útil são submetidos a acções cíclicas e de impacto que requerem do material uma adequada capacidade de absorção de energia por forma a garantir o grau de funcionalidade exigido. O melhor desempenho em termos de comportamento estrutural e de economia é a principal razão do significativo crescimento que se tem verificado nos últimos anos na aplicação de BRF em pavimentos industriais, na maior parte dos países industrializados [1,3-5]. No nosso país é ainda reduzido o número e importância das aplicações realizadas com BRF. O exíguo uso deste material deve-se fundamentalmente ao facto de se tratar de um material relativamente recente, pelo que a maior parte dos projectistas e empreiteiros desconhecem as técnicas de realização e aplicação, assim como o comportamento e dimensionamento de estruturas constituídas com este compósito.

Pretendendo-se estudar o comportamento de estruturas realizadas com BRF foi implementado na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) um plano de investigação que engloba as técnicas de fabrico de betões reforçados com fibras de aço (actualmente as mais indicadas para aplicações estruturais), uma componente de investigação experimental sobre provetes e elementos estruturais (vigas, faixas de laje e lajes apoiadas em solo) e finalmente uma componente numérica constituída pelo desenvolvimento dum código computacional direccionado à análise de estruturas laminares constituídas por este tipo de compósito. A presente comunicação refere-se fundamentalmente ao trabalho de investigação experimental desenvolvido sobre lajes de betão apoiadas em solo. O objectivo é comparar o comportamento estrutural de lajes reforçadas com fibras com o de lajes reforçadas com armadura convencional e com o de lajes de betão simples, por forma a analisar a capacidade das fibras poderem substituir

as armaduras convencionais, neste tipo de problema. Os resultados obtidos permitem ainda aferir as leis constitutivas incluídas no código computacional desenvolvido, tanto relativas ao terreno como ao BRF. Finalmente pretende-se elaborar um conjunto de sugestões que auxiliem os projectistas no dimensionamento de lajes de BRF apoiadas em solo, não sendo contudo este assunto tratado na presente publicação.

2 - DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS DE SIMULAÇÃO DOS PAVIMENTOS INDUSTRIAIS

O plano de investigação experimental é constituído por duas séries de ensaios, englobando cada série duas lajes reforçadas, uma, com 30 Kg/m^3 e outra com 45 Kg/m^3 de fibras de aço Dramix ZX60/.80, uma laje armada na face traccionada com rede electrossoldada (2CQ30 que corresponde a 20 Kg/m^3 de aço com tensão resistente de 760 MPa) e uma laje de BS. As lajes da primeira série de testes foram ensaiadas pela sequência acabada de apresentar. As fibras ZX60/.80 têm 60 mm de comprimento e 0.8 mm de diâmetro, apresentando uma resistência mínima à tracção de 1100 MPa [6]. As fibras são fornecidas em "pentes", dado que desta forma se diminui a esbelteza, melhorando-se a trabalhabilidade da mistura. Estas fibras possuem extremidades dobradas que lhes melhoram as propriedades de ancoragem. Durante a amassadura as fibras desagregam-se, recuperando a sua esbelteza própria, dando eficácia ao reforço pretendido.

Na Figura 1 apresenta-se uma fotografia e um esquema da estrutura de suporte utilizada nos ensaios. Trata-se de um conjunto de perfis HEB 300 constituindo um pórtico que oferece reacção ao macaco e um estrado no qual assenta uma caixa em madeira que inclui o solo. Na Figura 2 apresenta-se uma fotografia e um esquema do equipamento de aplicação de carga e de aquisição de resultados utilizado nos ensaios. A carga foi aplicada com um macaco hidráulico ao qual estava acoplado uma célula de carga de 1000 kN. Os deslocamentos foram medidos com transdutores lineares fixados a uma estrutura independente, que se apoiava no exterior. A aplicação da carga era controlada automaticamente, uma vez fixados a velocidade de aplicação e os ciclos de carga e descarga desejados.

O solo foi inicialmente compactado com um compactador mecânico ("saltitão") do tipo que se utiliza correntemente em obra. Após cada ensaio, a porção da camada de solo mais afectada pela aplicação da carga e que, provavelmente, entrava em cedência era removida, recolocada e recompactada. Contudo, durante a primeira série de ensaios, devido à não disponibilidade permanente do equipamento mecânico de compactação, o solo foi compactado manualmente, pelo que não foi possível repôr as condições iniciais, tendo-se verificado, no fim dessa série, que a porção de solo referida estava menos compactada que a restante. Esta será muito provavelmente a principal razão da diminuição da rigidez inicial registada nas respostas força-deslocamento obtidas nos sucessivos ensaios (ver figura 5).

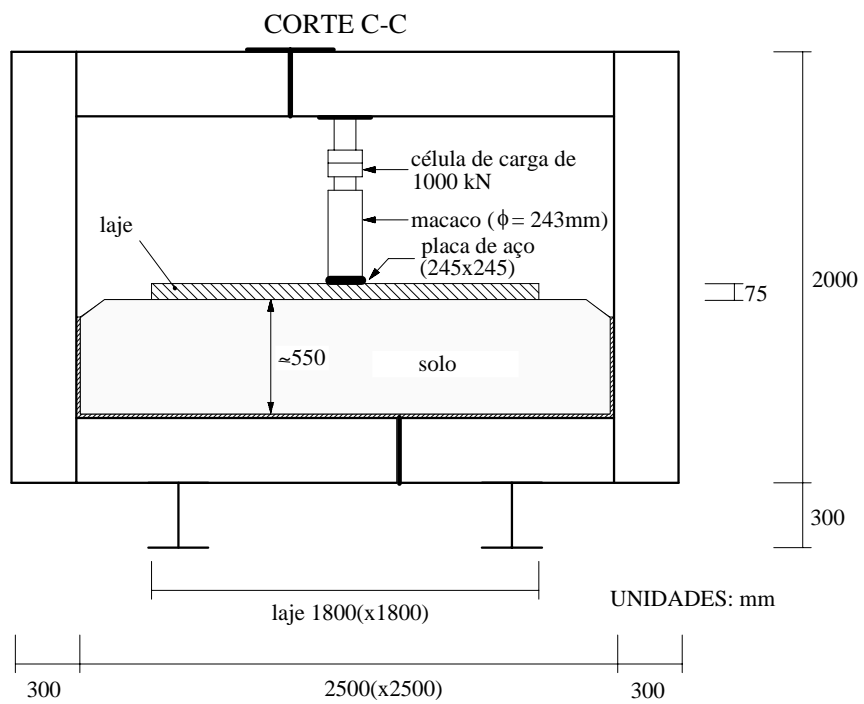


Figura 1 - Fotografia e esquema da estrutura de suporte utilizada nos ensaios.

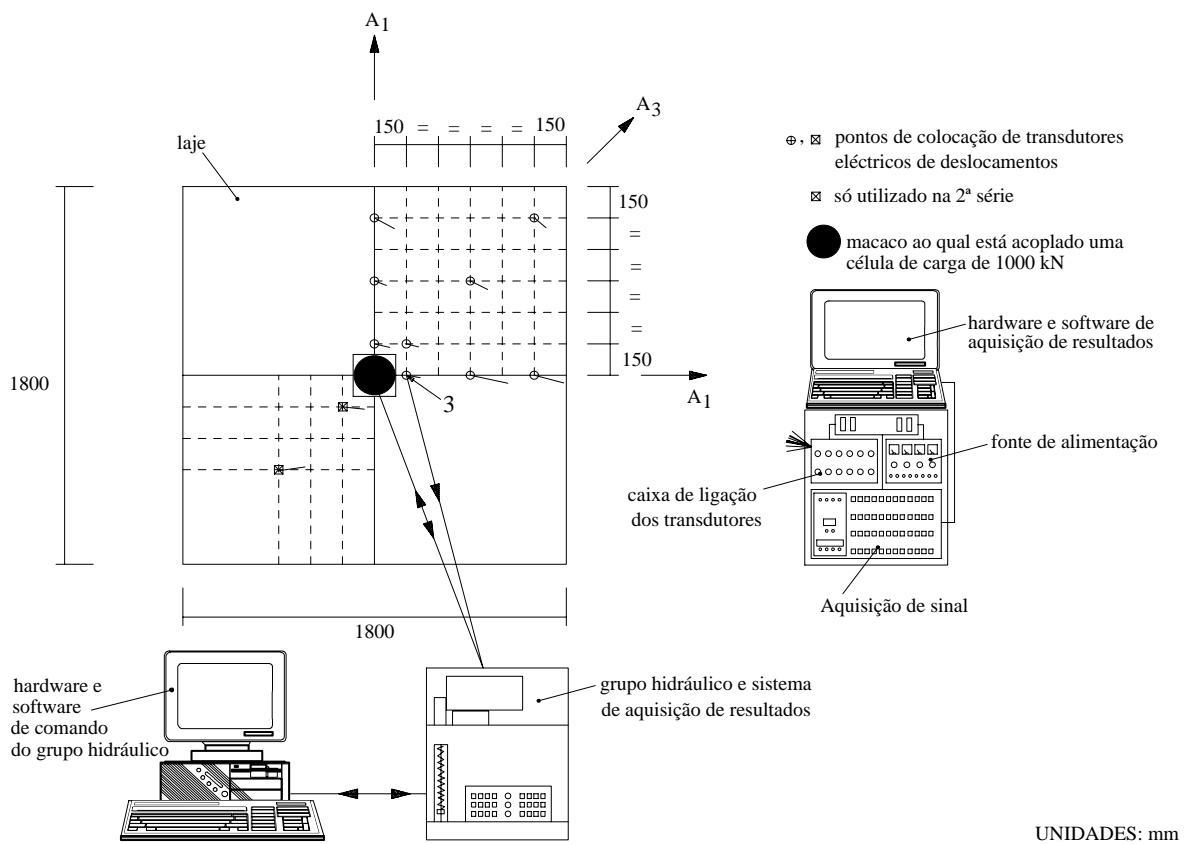


Figura 2 - Fotografica e esquema do equipamento de aplicação da carga e de aquisição de resultados utilizado nos ensaios.

As lajes, com 75 mm de espessura, foram betonadas num molde de madeira forrado a chapa zincada. Durante a primeira semana, a laje e correspondentes provetes ficavam cobertos por tecidos humedecidos, permanecendo no ambiente natural do laboratório até ao dia do ensaio. Dois a cinco dias antes do ensaio, o solo colocado na caixa era coberto por uma folha de polietileno, sobre a qual era vertida uma leitada de argamassa de aproximadamente 5 mm de espessura onde a laje assentava. Desta forma diminuía-se o atrito entre a laje e o solo, procurando-se ao mesmo tempo simular, o melhor possível, as condições reais de execução de pavimentos de BRF [7]. As lajes não foram betonadas contra o terreno, tal como é feito em obra, no sentido de aumentar o ritmo dos ensaios.

3 - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.1 - Betão

Comparativamente com uma composição típica de betão convencional, a composição de BRF tem como principal particularidade o ter maior percentagem de cimento e inertes finos [1]. O tempo de amassadura deve ser um pouco superior por forma a que as fibras se dispersem homogeneamente na mistura. Para se aferir a trabalhabilidade da mistura não deve ser utilizado o ensaio de abaixamento do cone de Abrams mas sim o ensaio de vibração do cone invertido ou o ensaio de vibração e compactação Vêbê [8].

No Quadro 1 apresenta-se a composição do betão. Por cada laje betonada foram realizados, no mínimo, dois provetes prismáticos de 600(ou 525)x150x150 mm³ e dois provetes cilindros, de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, para serem ensaiados à flexão e à compressão respectivamente. Os ensaios nestes provetes foram realizados sob controlo de deslocamentos por forma a obter a resposta total carga-deslocamento, dado que é fundamentalmente após o início da fendilhação que a importância do reforço das fibras é relevante [9,10].

Quadro 1 - Composição do betão aplicado.

Componente	Quantidade (Kg/m ³)
Cimento (c)	450
Areia	732
Brita 0-5 mm	527.5
Brita 5-15 mm	527.5
Água (a)	171
	Relação a/c=0.38
Aditivo (ad) (Rheobuild 561)	2.25 % de aditivo=0.5
Fibras	0; 30; 45

Nos provetes prismáticos correspondentes à laje não armada (SL1s00) foi aplicado um entalhe a meio vão de 75 mm de profundidade e de 37.5 mm nos provetes correspondentes às lajes reforçadas com fibras (SL1s30 e SL1s45) e armada com rede

electrossoldada (SL1sms). Estes provetes foram submetidos a ensaios de flexão com controlo de deslocamentos [9].

Os provetes de betão simples foram ensaiados à velocidade de deformação de 2 $\mu\text{m/s}$, enquanto os provetes fibrosos foram submetidos a uma velocidade de deformação de 4 $\mu\text{m/s}$ até aos 2 mm seguida duma velocidade de 15 $\mu\text{m/s}$ até ao final do ensaio. Na Figura 3 apresenta-se as respostas obtidas nestes ensaios, podendo-se concluir que a propriedade mais favorecida pelo reforço das fibras é a energia de fractura, isto é, a energia dispendida na formação de uma fenda com área unitária [11]. A resistência à flexão aumenta ligeiramente com a percentagem de fibras.

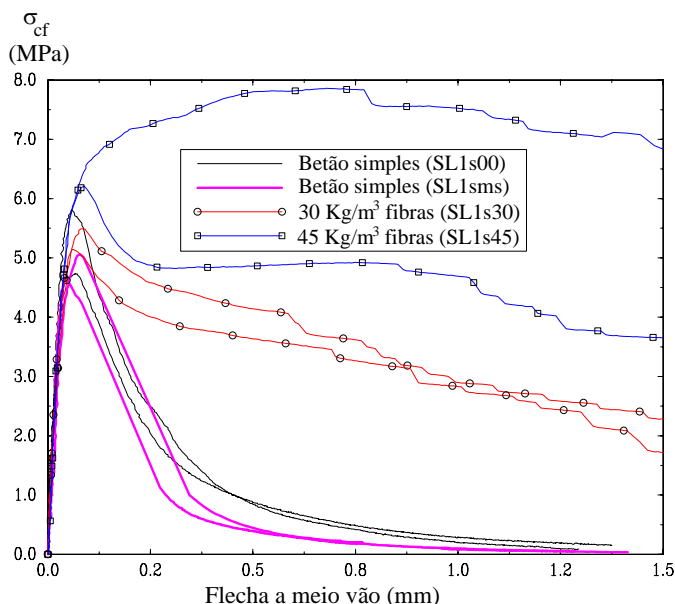


Figura 3 - Respostas tensão de flexão na secção do entalhe-flecha a meio vão obtidas nos ensaios de flexão em provetes prismáticos entalhados ("three-point-bending test on notched beams").

No Quadro 2 resumem-se os valores de algumas propriedades avaliadas nos ensaios dos provetes.

Quadro 2 - Valores médios de algumas propriedades obtidas nos ensaios dos provetes correspondentes às lajes da primeira série de ensaios.

Provetes correspondentes à laje	Ensaio de compressão		Ensaio de flexão ⁽⁵⁾		
	f_{cm} ($t_1^{(1)}/t_2^{(2)}/28^{(3)}$) (MPa)	$\epsilon_{cmo}^{(4)}$ ($\times 10^{-3}$)	Resistência na secção do entalhe (MPa)	Energia de fractura [9] (N/mm)	Resistência equivalente [9] (MPa)
SL1s30	48.7/48.8/43.4	4.55	5.3 aos 228 dias	2.893/25 mm ⁽⁶⁾	2.45
SL1s45	58.1/56.8/51.9	4.66	7.0 aos 190 dias	7.679/25 mm ⁽⁶⁾	4.94
SL1sms	45.0/43.4/41.0	3.64	4.8 aos 161 dias	0.207/2 mm ⁽⁶⁾	0.39
SL1s00	42.3/38.3/40.8	3.81	5.2 aos 139 dias	0.223/2mm ⁽⁶⁾	0.49

- (1) - Tensão à data do ensaio do provete.
- (2) - Tensão à data do ensaio da laje, obtida através da expressão proposta no código modelo do CEB-FIP de 1990 [12].
- (3) - Tensão aos 28 dias, obtida através da expressão proposta no código modelo do CEB-FIP de 1990 [12].
- (4) - Extensão correspondente à máxima tensão.
- (5) - Resultados relativos à data do ensaio.
- (6) - Flecha última estimada.

3.2 - Solo

Para simular um maciço terroso utilizou-se o solo cujas características e propriedades se incluem no Quadro 3.

Quadro 3 - Características e propriedades do solo.

Classificação do solo	Areia siltosa bem graduada, não plástica; SM (SP) na classificação unificada; A-1-6(0) na classificação para fins rodoviários
Ensaio Proctor modificado	Peso específico seco máximo $\gamma_{dmax} = 19.4 \text{ kN/m}^3$ Teor em água óptimo $W_{opt} = 11.2 \%$
CBR	30 %

Dos ensaios de controlo efectuados no local onde o solo foi colocado verificou-se que o teor em água de compactação foi elevado, da ordem dos 16.5%, tendo-se atingido um grau de compactação da ordem dos 90%, inicialmente.

Dado que o modelo numérico desenvolvido simula o solo como um conjunto de molas com comportamento elasto-plástico, procurou-se definir a lei constitutiva do solo através de ensaios de placa. Para tal utilizou-se uma placa de 300 mm de diâmetro, dado que é a que melhor simula as pressões que serão registadas nos ensaios das lajes apoiadas no solo. Nos ensaios de placa utilizou-se um macaco hidráulico com uma célula de carga de 1000 kN e três transdutores de deslocamentos formando 120 graus entre si. A velocidade de carga foi de 2.5 kN por minuto e as leituras foram efectuadas de 5 em 5 segundos.

Na Figura 4 apresenta-se a resposta força-deslocamentos obtida no ensaio de placa realizado antes de se processar a primeira série de ensaios com as lajes apoiadas no solo.

Constata-se que o módulo de reacção inicial do solo é da ordem dos 115 MN/m³. Verifica-se ainda que a lei do solo, simulado por elementos de mola, pode ser definida por uma função multilinear (bi-ou trilinear) ou por uma função que inclui um primeiro ramo linear seguido duma parábola de segundo grau.

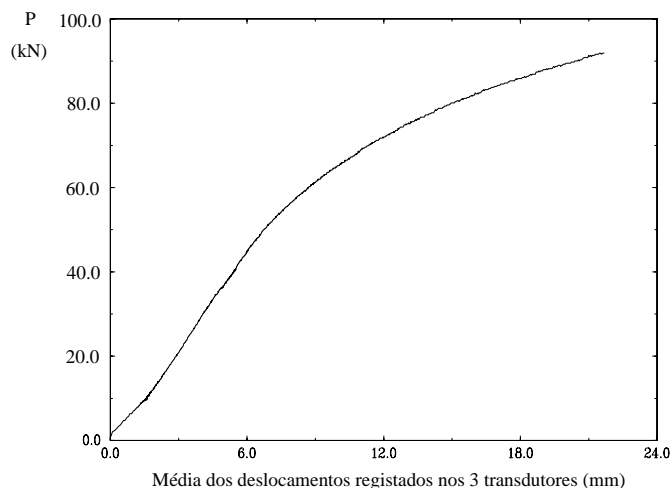


Figura 4 - Resposta obtida no ensaio de placa ($\phi=300 \text{ mm}$) do solo realizado previamente à primeira série de ensaios com as lajes apoiadas no solo.

4 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE SIMULAÇÃO DOS PAVIMENTOS INDUSTRIAIS

A velocidade de aplicação da carga nos ensaios das lajes apoiadas no terreno foi de 2.5 kN por minuto. Na primeira série de ensaios, aos 50 kN e 100 kN fez-se um ciclo de descarga-recarga. Na laje armada com rede electrossoldada procedeu-se à descarga quando se atingiram 250 kN, nível para o qual começaram a desenvolver-se grandes deformações no sistema solo-laje. Nos restantes casos a carga foi levada até um nível em que se verificou a ocorrência de grandes deformações sem significativo aumento da carga.

Na Figura 5 apresenta-se, para as lajes da primeira série de ensaios, as respostas força-deslocamento registadas no transdutor nº 3 (ver Figura 2). No Quadro 4 indicam-se as cargas últimas e descrevem-se os modos de rotura ocorridos na série de lajes ensaiadas.

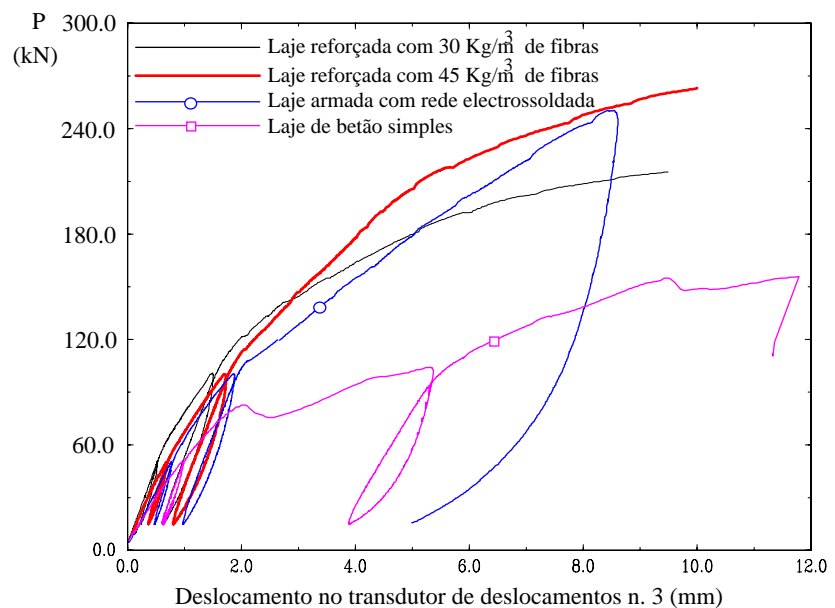


Figura 5 - Relações força-deslocamento registadas no transdutor nº 3 (ver Figura 2) relativas à primeira série de ensaios.

Quadro 4 - Cargas e modos de rotura das lajes correspondentes à primeira série de ensaios.

Referência da laje	Idade da laje à data do ensaio (dias)	Carga de rotura (kN)	Comentários
SL1s30	103	211	As fendas não atingiram a superfície superior da laje. Rotura por flexão.
SL1s45	72	257	As fendas não atingiram a superfície superior da laje. Rotura por flexão.
SL1sms	46	245	As fendas não atingiram a superfície superior da laje. Rotura por flexão.
SL1s00	34	153	As fendas atravessaram a espessura da laje desagregando-a em fragmentos. Rotura por punção

Da análise da Figura 5 e do Quadro 4 conclui-se que a maior capacidade de carga foi registada na laje reforçada com 45 Kg/m³ de fibras, sendo contudo só ligeiramente

superior à laje armada com rede electrossoldada. A capacidade de carga da laje reforçada com 30 Kg/m³ foi aproximadamente 15 % inferior à registada na laje reforçada com 45 Kg/m³. As lajes reforçadas com fibras e a laje armada com rede electrossoldada apresentaram rotura dúctil, dado que acompanharam as deformações do terreno desenvolvendo diversas fendas de pequena abertura. O mesmo não ocorreu na laje de betão simples pois a rotura ocorreu violentamente por volta dos 150 kN, tendo-se a laje separado em diversas partes (ver Figura 7d) e a placa de transmissão da carga perfurado a laje, por punçoamento.

Na Figura 6 apresenta-se a deformabilidade registada nos transdutores de deslocamentos dispostos no alinhamento A3 (ver Figura 2), para os níveis de carga de 50 kN, 100 kN, 150 kN e 200 kN.

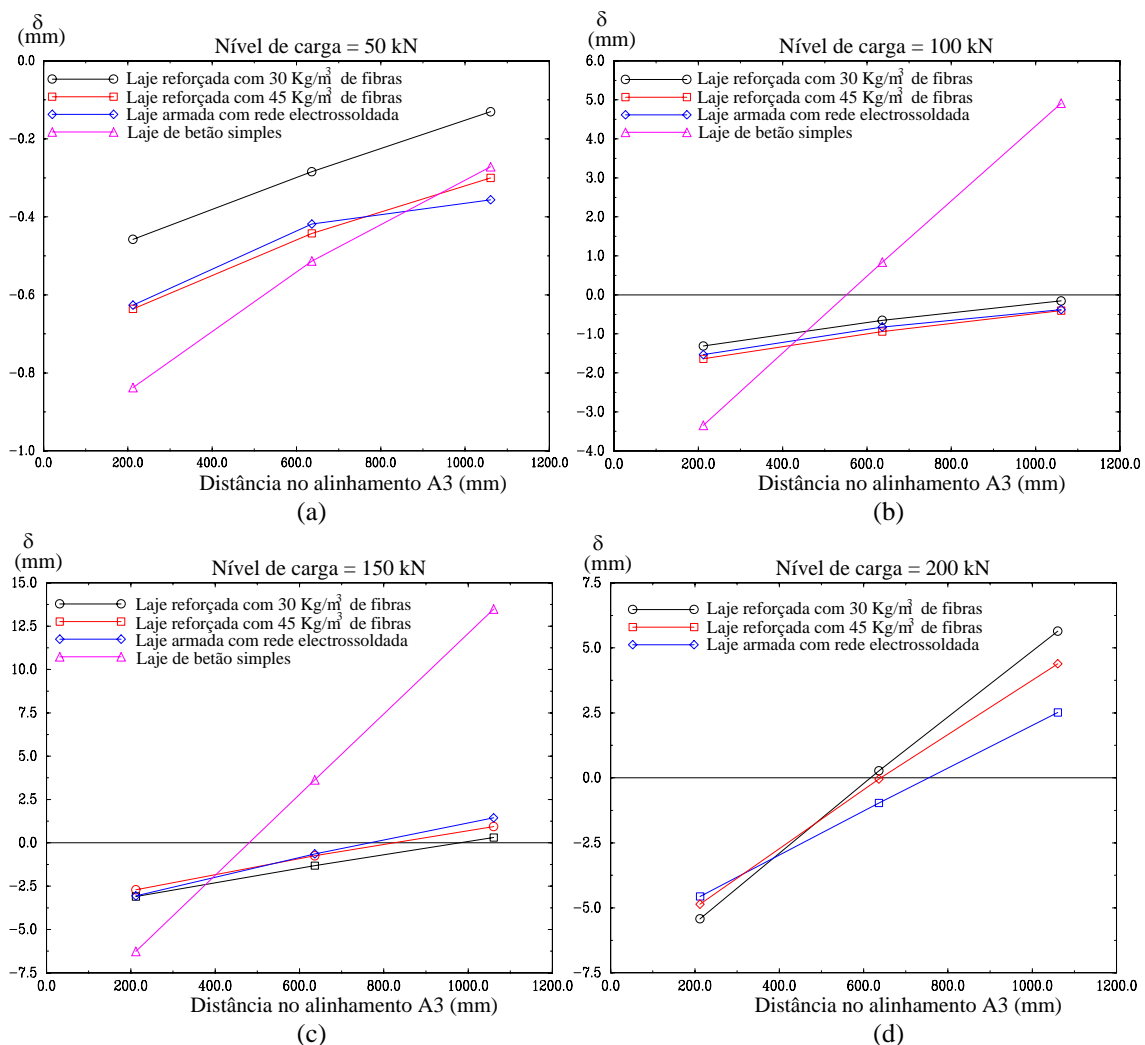


Figura 6 - Deformabilidade registada nos transdutores de deslocamentos colocados no alinhamento A3 (ver Figura 2), para quatro níveis de carga: (a) 50 kN, (b) 100 kN, (c) 150 kN e (d) 200 kN. Até uma carga próxima dos 150 kN a laje reforçada com 30 Kg/m³ de fibras foi a que apresentou menor deformabilidade. Tal facto deve-se muito provavelmente ao maior

grau de compactação que o terreno teria no início da série de ensaios, dado que esta foi a primeira laje a ser ensaiada. Pelo contrário, o menor grau de compactação observado no fim do ensaio da laje de BS deve ter contribuído para a excessiva deformabilidade registada no respectivo ensaio. Contudo, perto da rotura a deformabilidade do sistema laje-solo está mais dependente da ductilidade do material da laje, pelo que a menor deformabilidade foi registada na laje reforçada com 45 Kg/m³. Até à carga de aproximadamente 100 kN, somente na laje de BS foi registado descolamento relativamente ao solo. A partir desta carga, o afundamento da zona anexa à área de carga (zona circunscrita a um raio próximo de 0,4 m a partir do centro da laje) foi acompanhado pelo descolamento da laje relativamente ao solo, iniciando-se este descolamento pelos pontos mais distantes da área de aplicação da carga.

Após terem sido ensaiadas, as lajes foram colocadas ao alto (tal não foi possível na laje de BS dado se ter desintegrado), a camada de recobrimento aplicada à face inferior traccionada foi removida e o padrão de fendilhação foi demarcado através da pintura das fendas desenvolvidas. Na Figura 7 mostram-se fotografias do padrão de fendilhação observado nas lajes correspondentes à primeira série de ensaios.

Nas lajes reforçadas com fibras e na laje armada com rede electrossoldada o padrão de fendilhação não foi muito diferente. Contudo na laje reforçada com 45 Kg/m³ de fibras desenvolveu-se maior número de fendas, o que justifica a maior capacidade de carga registada. A laje de BS deixou de ter qualquer capacidade resistente e qualquer tipo de funcionalidade acima da sua carga de rotura, dado se ter desintegrado. Para as restantes lajes verificou-se que a abertura de fendas era bastante diminuta, pelo que se fossem submetidas a acções cíclicas teriam ainda capacidade de carga para garantir funcionalidade.

5 - NOTA SOBRE O USO DA EXPRESSÃO DE WESTERGAARD

Os ensaios de flexão sobre prismas (ver Figura 3 e Quadro 2) mostram que a tensão máxima nas lajes correspondentes ao início da fendilhação varia entre 5 e 6 MPa. Por outro lado a tensão máxima de tracção em flexão numa laje apoiada numa fundação elástica sujeita a uma carga circular centrada pode ser calculada pela expressão de Westergaard [13]. Considerem-se duas hipóteses para o valor do raio da carga aplicada: uma em que se supõe não haver degradação da carga na espessura da laje e, outra, em que se admite uma degradação a 45° até à base da laje. No primeiro caso, para o valor da tensão acima indicado obtem-se uma carga entre 40 e 55 kN. No segundo caso, a carga situa-se entre 70 e 92 kN. Ora verifica-se que é na segunda hipótese que a carga correspondente ao início da fendilhação nas lajes tem um valor aceitavelmente próximo do observado experimentalmente. Parece então poder concluir-se que a expressão de Westergaard sobrestima a tensão correspondente ao início da fendilhação, a menos que se assuma uma degradação da carga aplicada para a superfície de contacto laje-solo.

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 7 - Padrão de fendilhação desenvolvido nas lajes correspondentes à primeira série de ensaios: (a) SL1s30, (b) SL1sms, (c) SL1s45 e SL1s00.

6 - CONCLUSÕES

A capacidade de carga de lajes apoiadas em solo aumenta significativamente se na composição do betão for incluído fibras em dosagens suficientes ($> 20 \text{ Kg/m}^3$) e com propriedades físicas e geométricas convenientes.

Nas lajes ensaiadas a que se refere o presente trabalho verificou-se que comparativamente com a laje de betão simples (BS), as lajes reforçadas com 30 e 45 Kg/m^3 de fibras (BFR) desenvolveram uma capacidade de carga 38% e 68% superior, respectivamente. A laje armada com rede electrossoldada disposta na face inferior apresentou uma capacidade de carga ligeiramente inferior à da laje reforçada com 45 Kg/m^3 de fibras. É contudo de salientar que enquanto esta última apresenta a mesma capacidade resistente, tanto para acções que lhe induz tracções na face inferior como para acções que lhe induz tracções na face superior, o mesmo não acontece na laje armada numa face. Assim e dado que nos pavimentos industriais se desenvolvem momentos positivos e negativos [14] será necessário dispor de armaduras em ambas as faces, o que encarece bastante a solução. O comportamento em fendilhação é também consideravelmente melhorado com a utilização de BRF dado que se desenvolve maior número de fendas mas de menor abertura, aumentando-se assim a resistência à fendilhação. Esta propriedade pode ser utilizada na diminuição do número de juntas de controlo da retracção e da fendilhação.

Nas lajes de BRF e na laje armada o modo de rotura foi dúctil, por flexão, enquanto na laje de BS a rotura foi frágil, por punçoamento.

Se não se admitir uma degradação da carga aplicada para a superfície de contacto laje-solo, a expressão de Westergaard sobrestima a tensão correspondente ao início da fendilhação.

A energia de fractura ou parâmetros associados a esta propriedade do material, de que são exemplo a resistência equivalente em flexão e os índices de tenacidade [15] devem ser tomados em consideração no dimensionamento dos pavimentos industriais de BRF, por forma a se retirar proveito efectivo das propriedades deste compósito.

7 - AGRADECIMENTOS

Às empresas Bekaert N.V. e sua representante portuguesa, à SEOP (pedreira da Madalena), à Master Builders Technologies e à Socitrel agradece-se a oferta das fibras, brita, aditivo e rede electrossoldada, respectivamente, assim como o empréstimo do equipamento de compactação cedido pela empresa Soares da Costa. Agradece-se também o apoio concedido pelo Programa PRODEP, Medida 4.2, formação de Formandos.

8 - REFERÊNCIAS

- [1] - "State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete", Reported by ACI Committee 544, 1R-82, 22 pages, 1986.
- [2] - Balaguru, P. N.; Shah, S. P., "Fiber Reinforced Cement Composites", McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series, 530 pages, 1992.
- [3] - Nanni, A.; Johari, A., "RCC Pavement Reinforced with Steel Fibers", Concrete International, pp. 64-69, March 1989.
- [4] - Robinson, C.; Colasanti, A.; Boyd, G., "Steel Fibers Reinforce Auto Assembly Plant Floor", Concrete International, pp. 30-35, April 1991.
- [5] - Tatnall, P.C.; Kuitenbrouwer, L., "Steel Fiber Reinforced Concrete in Industrial Floors", Concrete International, pp. 43-47, December 1992.
- [6] - "Dramix Fibres Hors Fils d'Acier pour Renforcement de Beton et Mortier", Specification, BEKAERT N.V., October 1991.
- [7] - "Industrial Floors with Dramix Steel Wire Fibre Reinforced Concrete", Technical Publication of N.V. BEKAERT S.A., 82 pages, 1990.
- [8] - ACI Committee 544, "Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete", Fiber Reinforced Concrete, SP 81, American Concrete Institute, Detroit, MI, pp. 433-439, 1984.
- [9] - Barros, J. A. O.; Figueiras, J. A., "Comportamento de Elementos Estruturais de Betão Reforçado com Fibras de Aço", Encontro Nacional Betão Estrutural, pp. 209-224, 1994.
- [10] - Barros, J.A.O.; Figueiras, J.A.; Veen, C.V.D., "Tensile Behaviour of Glass Fibre Reinforced Concrete", Proceedings of the 10th International Conference on Experimental Mechanics: Recent Advances in Experimental Mechanics, eds, J.F. Silva Gomes et al., Vol. 2, pp.1073-1080, 1994.
- [11] - Hillerborg, A. ; Modéer, M. ; Petersson, P.E., "Analysis of Crack Formation and Crack Growth in Concrete by means of Fracture Mechanics and Finite Elements", Cement and Concrete Research, Vol. 6, pp. 773-782, 1976.
- [12] - Bulletin D'Information n° 213/214, CEB-FIP Model Code 1990.
- [13] - Beckett, D.; Humphreys, J., "Comparative Tests on Plain, Fabric Reinforced & Steel Fibre Reinforced Concrete Ground Slabs", Thames Polytechnic, School of Civil Engineering, Report n° TP/B/1, September 1989.
- [14] - "Dalles de Béton sur Sol", Association Canadienne du Ciment Portland, deuxième édition, 40 p., 1990.
- [15] - Nemegeer, D., "Influence du Renforcement par Fibras d'Acier sur la Ductilité du Béton. Influence de la Ductilité du Béton sur la Capacité Portante d'un Dallage sur Terre-Plein", Contribution à la session n° 321, "Mortiers et Betons Armés de Fibras", organisée par le C.E.I.F.I.C.I., Novembre 1989.