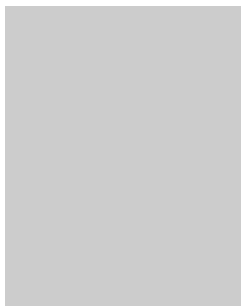


Aplicação de um betão leve na reabilitação da Ponte de Fão



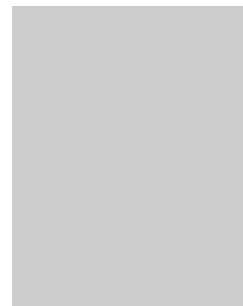
**Raquel da
Fonseca
Magalhães¹**



Aníbal Leite²



Jose Paulo Cruz³



**António Fontes de
Melo⁴**

RESUMO

Os betões de agregados leves estruturais ainda se encontram numa fase embrionária de desenvolvimento em Portugal, apesar de, em vários Países europeus a sua utilização já ser considerada em determinado tipo de obras, onde a conciliação entre a redução do peso próprio da estrutura e a resistência do betão é um requisito básico de concepção. Além das estruturas de grande vão ou de estruturas marítimas, a reabilitação estrutural é um vasto campo de aplicação para esta tecnologia que, apesar de alguma complexidade, apresenta enormes vantagens. Os novos regulamentos, Eurocódigo 2 e NP EN 206-1, facilitam a abordagem ao projecto uma vez que são já definidos procedimentos claros quanto às regras de cálculo e previsão dos respectivos valores característicos relevantes. Os vários trabalhos científicos já executados e em curso em Portugal são o prenúncio do desenvolvimento sustentado da utilização de betões leves estruturais. A existência de produção nacional de agregados leves de elevada resistência, designadamente de argila expandida, juntamente com o facto de existirem já empresas de betão pronto preparadas para garantir a qualidade deste tipo de betões, vem potenciar a sua aplicação em projectos e obras.

Esta comunicação pretende descrever o caso prático de aplicação de um betão leve resistente na reabilitação da ponte de Fão, apresentando a justificação da opção efectuada em termos de projecto e os principais aspectos relacionados com a produção, aplicação e cura de um betão de agregados leves, estrutural, de elevado desempenho. De sublinhar que a aplicação do betão de agregados leves nesta obra de reabilitação desenvolveu-se em dois planos: o da prefabricação, com a produção de pré-lajes em fábrica, e o da obra, com a aplicação *in situ* a partir de uma central de betão pronto localizada a cerca de 60 km da obra.

PALAVRAS-CHAVE

Betão de Agregados leves estrutural, argila expandida, agregado leve e reabilitação.

¹ Mota-Engil Engenharia/Qualibetão, Rua Alto da Serrinha, Terronhas, Recarei, 4585-640 Paredes, Portugal. Raquel.Fonseca@mota-engil.pt

² Mota-Engil Engenharia/MAPREL/Qualibetão, Rua Alto da Serrinha, Terronhas, Recarei, 4585-640 Paredes, Portugal. Anibal.leite@maprel.pt

³ Lisconcebe, Rua Dom Cristóvão da Gama, nº 1 – 1ºA/B, 1400-113 Lisboa, Portugal. Josep.cruz@lisconcebe.pt

⁴ Mestre em Construção de Edifícios

1. INTRODUÇÃO

A Ponte de Fão inaugurada em 1891 e foi considerada pelo IPARR em 1986 como Imóvel de Interesse Público por ser o único exemplar no concelho de Esposende de Arquitectura Industrial. Na reabilitação estrutural da Ponte do Fão – realizada nos anos de 2006/2007 – foi utilizada na laje do tabuleiro um betão LC30/33 com massa volúmica máxima de 1700 kg/m^3 por forma a se diminuir o peso do tabuleiro.

Para dar cumprimento ao Caderno de Encargos do projecto, elaborado pela Lisconcebe, a Mota-Engil Engenharia, um dos adjudicatários desta empreitada, contactou a Qualibetão, a direcção de betões Hidráulicos da Mota-Engil Engenharia e a Maxit, a fim de desenvolverem a melhor solução em betão leve estrutural. No entanto, dadas as quantidades a realizar deste betão, entre laje de tabuleiro *in situ* e as pré-lajes, (no total de 405 m^3), verificou-se a necessidade de utilizar argilas expandidas de elevada resistência mas de diferente qualidade das utilizadas anteriormente no Viaduto Ramalho Ortigão (BETÃO LC40/44 D1.8 S5), o que se revelou mais um desafio.

Em Portugal, os Agregados Leves (AL) de origem portuguesa, nomeadamente a argila expandida Leca®, são maioritariamente utilizados para enchimentos e isolamentos, não se aproveitando os benefícios que este material pode proporcionar na realização de Betão de Agregados Leves com fins estruturais (BALE). O BALE é um produto já utilizado em larga escala no resto do mundo na realização de estruturas com formas arrojadas e com determinadas exigências a nível estrutural, como por exemplo em obras de arte. Na Europa do Norte, a realização de betões leves estruturais com agregados de argila expandida é bastante comum. Atenta a esta situação, a Maxit propôs ao Grupo Mota-Engil uma parceria para o desenvolvimento destes betões, ao mesmo tempo que iniciou a produção de argila expandida de resistência elevada. Simultaneamente, iniciou um processo de divulgação deste tipo de betões junto do meio técnico. Esta é a segunda experiência deste grupo de trabalho na elaboração de BALE, sendo a anterior a Reabilitação do Viaduto da Rua Ramalho Ortigão em Lisboa, com a elaboração de um BETÃO LC40/44 D1.8 S5, conforme definido no projecto elaborado pelo gabinete projectista Lisconcebe.

2. EXIGÊNCIAS DE PROJECTO

Após mais de 100 anos de utilização verificou-se que a estrutura da ponte de Fão não estava em condições de ser mantida aberta ao tráfego sem restrições sendo necessária a sua reabilitação e reforço estrutural. Assim, em 2002 foi decidido que se reabilitaria esta ponte, sendo que se repararia o tabuleiro mantendo-se o perfil transversal existente à data.

A ponte do Fão com uma distância entre eixos de apoios extremos de 267,84 m, correspondente a oito vãos de 33,48 m, apresenta uma largura útil para a faixa de rodagem de 5,5 m e de 1,4 m para cada um dos passeios, situados no lado exterior às vigas metálicas principais, numa largura total entre guarda-corpos de 9,0 m. A laje de rolamento em betão armado apoia em carlingas e longarinas secundárias metálicas. Os pilares e encontros são em alvenaria e cantaria de pedra granítica.

Desde o início da elaboração dos estudos foi um dado assente que a solução seria sempre reabilitar e reforçar a estrutura existente, não se admitindo a substituição do tabuleiro ou o seu alargamento por se tratar de obra classificada pelo IPPAR.

Deste modo, os objectivos da intervenção na Ponte do Fão foram os que se descrevem de seguida:

- manutenção do funcionamento global da estrutura;
- verificação da segurança de acordo com os códigos actuais, para a classe de sobrecargas rodoviárias tipo II, à custa do reforço da estrutura metálica e redução da carga permanente do tabuleiro;
- preservação patrimonial e ambiental;

- adopção de processos construtivos aplicáveis face aos condicionamentos existentes;
- relação equilibrada custo/benefício.

Foi neste âmbito que se verificou que a laje do tabuleiro existente apresentava uma degradação muito elevada não sendo possível a sua recuperação, pelo que era necessária a sua substituição. Face a esta necessidade a Lisconcebe optou pela execução de uma laje de betão leve armado, a coberto de pré-lajes colaborantes, também em betão leve estrutural por forma a se diminuir a carga permanente do tabuleiro. Para ambos os elementos foi prescrito um betão LC30/33 S5 D12,5, tendo-se acordado após os primeiros ensaios à escala real limitar a massa volúmica do betão a 1700 kg/m³.

3. CONCEPÇÃO DA COMPOSIÇÃO DO BETÃO

A concepção de um betão de agregados leves com as características requeridas pelo projecto, mesmo com a utilização de argila expandida estrutural, é de difícil execução exigindo várias amassaduras experimentais para definição da melhor estrutura da composição.

Em todo este processo teve-se sempre presente o estabelecido pela norma em vigor à data da sua concepção (em 2006) NP ENV 206 (1993) e, o seu DNA Português, a especificação LNEC-E 378. Os materiais utilizados na execução deste betão foram Cimento da Cimpor, Cinzas Volantes da termoelétrica de Sines, Leca[®] 0,5/3 e Leca[®] Lite 4/12 da Maxit, areia natural da figueira da Foz e o adjuvante Glenium Qualibet da BASF.

Os agregados leves utilizados foram de argila expandida fornecidos pela Maxit com a marca comercial Leca[®] 0,5/3 e Leca[®] Lite 4/12. Estas argilas expandidas possuem uma variabilidade de baridade de cerca de 10 %, o que influi no peso do betão executado e obriga a controlo sistemático das suas propriedades. A motivação para a utilização da areia natural (além da sua necessidade para uma estrutura de agregados completa) foi a obtenção da trabalhabilidade do betão necessária sem a ocorrência de exsudação e/ou segregação.

Quadro 1 Resultados médios obtidos laboratorialmente.

<i>Idade</i>	<i>Método</i>	<i>Às 24 horas</i>	<i>Aos 7 dias</i>	<i>Aos 28 dias</i>
Resistência à compressão Cubos 15 cm de aresta (MPa)	NP EN 12390-3	26.5	38.5	47.0
Massa volúmica seca (kg/m ³)	NP EN 12390-7	-	-	1550

Em laboratório obtiveram-se os resultados apresentados no Quadro 1 para a resistência à compressão e para a massa volúmica seca, que cumprem os requisitos solicitados pelo projecto.

A composição definida foi executada na pré-fabricadora (MAPREL UP Rio Maior) e na central de betão (CPB-Alfena).

4. PROTÓTIPO – ENSAIOS À ESCALA REAL

4.1 Execução em obra.

Para a verificação de todas estas características e verificação *in situ* da influência da cura no BALE, foi proposto à obra a execução de um protótipo. Esta opção deveu-se principalmente à particularidade deste betão ser fabricado em Alfena e aplicado em Fão, a cerca de 60 km, o que corresponde a um tempo de transporte de cerca de 1 hora. O BALE durante o transporte é muito sensível à perda de trabalhabilidade por absorção de água pela argila expandida[1].

Este protótipo foi constituído por uma caixa de 1,5x1,5x0,25 m³ onde se procurou simular as condições em obra, ou seja, altura da laje, respectiva inclinação, armadura, vibração e aplicação de produto tipo “anti-sol”.

Durante a betonagem deste protótipo (Figura 1) verificou-se que o betão era uniforme e homogéneo, sem qualquer indício de ocorrência de fenómenos de exsudação e segregação, apresentando mesmo características reológicas normalmente atribuídas ao betão autocompactável. Verificou-se também que o betão mantinha as suas características mesmo na presença de armaduras, sem qualquer dificuldade de enchimento da respectiva caixa.

Desta betonagem foram recolhidas amostras para execução de provetes para análise da evolução da resistência à compressão, retracção e módulo de elasticidade. As normas de ensaio utilizadas são as indicadas no Quadro 2 e Quadro 3. Destas foram extraídos cinco carotes de 94 mm, dos quais foram executados tarolos para verificação da resistência à compressão e massa volúmica real no protótipo de acordo com as normas de ensaio utilizadas e indicadas no Quadro 4.

Quadro 2 Resultados médios obtidos no ensaio de protótipo em obra

<i>Idade</i>	<i>Método</i>	<i>Chegada à obra</i>	<i>Às 24 horas</i>	<i>Aos 2 dias</i>	<i>Aos 7 dias</i>	<i>Aos 28 dias</i>	<i>Aos 64 dias</i>
Resistência à compressão Cubos 15 cm de aresta (MPa)	NP EN 12 390-3	-	30.0	34.5	43.5	39.0	43,0
Resistência à compressão Cilindros de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura (MPa)	NP EN 12 390-3	-	-	-	-	44.5	-
Massa volúmica fresca (kg/m ³)	NP EN 12 390-6	1680	-	-	-	-	-
Massa volúmica seca Cubos 15 cm de aresta (kg/m ³)	NP EN 12 390-7	-	-	-	-	1580	-
Módulo de Elasticidade Cilindros de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura (GPa)	DIN 1048 Parte 1	-	-	-	-	29,9	-

Quadro 3 Resultados médios obtidos no ensaio de protótipo em obra – Expansão

<i>Idade</i>	<i>Método</i>	<i>Aos 7 dias</i>	<i>Aos 28 dias</i>	<i>Aos 60 dias</i>	<i>Aos 90 dias</i>
Expansão (mm/m)	LNEC E- 398	+ 10	+ 60	+80	+80

Quadro 4 Resultados médios obtidos no ensaio de protótipo – resistência à compressão e massa volúmica seca reais

<i>Idade</i>	<i>Método</i>	<i>Aos 7 dias</i>	<i>Aos 28 dias</i>
Resistência à compressão real Carotes h/d=1 (MPa)	LNEC E 226	43,0	47,0
Massa volúmica seca real (MPa)	NP EN 12 390-7	-	1560

No que respeita aos resultados obtidos, é de salientar a não ocorrência de retracção e a estabilização da expansão observada entre os 60 e os 90 dias, provavelmente devido à expulsão progressiva da água do interior dos grãos de argila expandida durante o período de hidratação do cimento, traduzindo-se em

valores de expansão. Estes valores, de certo modo, contrariam os normalmente observados em outros estudos [1], onde se verificam valores de retracção inferiores ao do betão convencional até aos 28 dias, e posteriormente um incremento da retracção.

Verificou-se também a obtenção de um módulo de elasticidade próximos dos valores correntemente obtidos para o betão convencional, que poderá ser devido à elevada quantidade de finos na composição, o que lhe conferiu uma melhor ligação com os agregados.



Figura 1. Betonagem do Protótipo

4.1 Execução na pré-fabricadora.

De forma a simular a realização de uma pré-laje similar às definidas para a obra, foi realizada uma amassadura de 1m³ em central. Desta foi realizada uma pré-laje experimental e recolhidas amostras para ensaios de resistência à compressão e massa volúmica, cujos resultados obtidos estão relatados no Quadro 5.

Quadro 5 Resultados médios obtidos no ensaio de protótipo na Pré-fabricadora

<i>Idade</i>	<i>Método</i>	<i>Aos 3 dias</i>	<i>Aos 7 dias</i>	<i>Aos 28 dias</i>
Resistência à compressão (MPa)	NP EN 12390-3	39,0	43,0	49,5
Massa volúmica seca (kg/m ³)	NP EN 12390-7	-	-	1650

Para além da necessidade de validação da composição face aos meios produtivos da central de betão existente na UP Rio Maior, registou-se a preocupação da verificação do comportamento da pré-laje executada face ao processo construtivo da pré-fabricação e montagem da pré-laje, que teve comportamento idêntico ao das pré-lajes em de betão convencional.

5. APLICAÇÃO EM OBRA

5.1 Execução das pré-lajes

A pré-fabricação decorreu durante 36 dias, onde foram produzidos 108 m³ deste betão. Destes, foram recolhidas cerca de 36 amostras, onde se obtiveram os resultados indicados no Quadro 6. Nos resultados obtidos pode-se comprovar o claro cumprimento dos requisitos de projecto em termos de

massa volúmica máxima e inclusive o cumprimento da classe de resistência à compressão superior à requerida.

Quadro 6 Resultados médios obtidos nas pré-lajes

<i>Idade</i>	<i>Método</i>	<i>Antes de betonagem</i>	<i>Aos 3 dias</i>	<i>Aos 7 dias</i>	<i>Aos 28 dias</i>
Massa volúmica fresca (kg/m ³)	NP EN 12390-6	1770	-	-	-
Resistência à compressão (MPa)	NP EN 12390-3	-	37,5	40,5	44,0
Massa volúmica seca (kg/m ³)	NP EN 12390-7	-	-	-	1620



Figura 2. Pré-lajes em armazenamento na fábrica



Figura 3. Pré-lajes após colocação em obra

Este betão foi aplicado por descarga directa da máquina de transporte para os moldes sobre as mesas de vibração das pré-lajes. Foi utilizado o mesmo método construtivo utilizado correntemente para o

betão convencional. Para o transporte e montagem das pré-lajes foi utilizado o mesmo processo utilizado no transporte e montagem de pré-lajes executadas em betão convencional.

5.2 Execução do Tabuleiro.

A execução do tabuleiro foi efectuada em 7 betonagens, correspondendo a 8 tramos de tabuleiro e à produção total de 297 m³ deste betão, dos quais foram recolhidas cerca de 16 amostras. Este betão foi aplicado por descarga directa com balde, tendo-lhe sido aplicada vibração com vibradores de agulhas. Posteriormente, este betão foi aspergido com produto de cura tipo “anti-sol”. Nos resultados obtidos e indicados no Quadro 7, pode-se verificar o cumprimento dos requisitos de projecto em termos de massa volúmica máxima e inclusive obtiveram-se valores de resistência à compressão superior à requerida para este betão.



Figura 4. Colocação de betão



Figura 5. Após a betonagem

Para o controlo da produção de BAL durante a produção deste betão para a execução do tabuleiro, foi definido um Plano de Inspeção e Ensaio específico, no qual, entre outros, era definido como limite de aplicação, o valor de massa volúmica fresca de 1820 kg/m^3 , como medida preventiva, de forma a garantir a não aplicação de um betão que após secagem atingisse uma massa volúmica seca superior a 1700 kg/m^3 .

Quadro 7 Resultados médios obtidos no tabuleiro

<i>Idade</i>	<i>Método</i>	<i>Antes de betonagem</i>	<i>Aos 7 dias</i>	<i>Aos 28 dias</i>
Massa volúmica fresca (kg/m^3)	NP EN 12390-6	1780	-	-
Resistência à compressão (MPa)	NP EN 12390-3	-	38,5	41,0
Massa volúmica seca (kg/m^3)	NP EN 12390-7	-	-	1610

6. Conclusões

Pelos resultados obtidos, pode-se afirmar que os valores limites requeridos para este betão foram amplamente cumpridos. Aliás, em termos de classe de resistência à compressão, o betão demonstrou características de um betão com classe superior à requerida. No entanto, este betão pode ainda ser optimizado no que respeita à variabilidade de densidade e resistência à compressão verificadas.

A possibilidade de utilização de argilas expandidas estruturais portuguesas para o fabrico de betão vem preencher uma lacuna existente e abrir novas potencialidades para a construção com betão de agregados leves. Esta aplicação de sucesso vem comprovar a exequibilidade de produção de Betão de Agregados Leves Estrutural com argilas expandidas estruturais de origem portuguesa, apesar da necessidade evidente de um controlo mais incisivo deste material, de estudos mais aprofundados com exploração dos seus limites e a optimização/adaptação dos meios produtivos para o fabrico de BALE.

Estamos convictos que este exemplo de sucesso, a juntar-se ao da Reabilitação do Viaduto Ramalho Ortigão, na aplicação de betões leves estruturais com agregados leves de argila expandida vai contribuir para que cada vez mais os nossos técnicos e projectistas comecem a considerar este material como uma solução fiável e de eleição sobretudo em obras de reabilitação e reconstrução, sejam elas obras de arte ou edifícios.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de apresentar uma palavra de apreço a todos os envolvidos por parte do EP, respectiva fiscalização e da Mota-Engil Engenharia Obra, assim como aos técnicos de laboratório da Mota-Engil Engenharia da Direcção de Betões Hidráulicos, MAPREL, Qualibetão e Maxit pelo empenho demonstrado.

REFERÊNCIAS

- [1] Cruz, P. [et al.] – Betões Leves: Estado de conhecimento e aplicações estruturais. 1nd ed. Universidade do Minho, 2000. 192 p. ISBN 972-97811-3-3
- [2] NP EN 206-1: 2007, Betão: Parte1 – Especificação, desempenho, produção e conformidade. Lisboa : IPQ. 84 p.