

Utilização de polímeros na melhoria da durabilidade do betão.

Por F.Pacheco Torgal e Said Jalali

O presente artigo analisa as vantagens da utilização de betões com polímeros, seja como aditivos durante a fase de amassadura ou como revestimentos através de impregnação do betão endurecido. É feita uma retrospectiva sobre este tipo particular de betões, a que se segue uma síntese das principais propriedades físicas e mecânicas destes materiais. Particular destaque é dado ao desempenho dos betões relativamente a parâmetros de caracterização da durabilidade.

1. Introdução

O betão é um material poroso e permeável que permite o ingresso de substâncias agressivas para o seu interior, as quais são responsáveis pela degradação das armaduras das estruturas de betão armado., sendo inúmeros os casos de estruturas afectadas precocemente por este problema. A durabilidade do betão, particularmente em termos da maximização da resistência da camada de recobrimento daquele material ao ingresso de fluidos é por isso um tema que desde há algumas décadas preocupa não só a comunidade científica, mas também os agentes do sector da construção, até porque são aqueles que mais directa e frequentemente são responsabilizados pela degradação precoce das estruturas construídas com aquele material. Apesar de conhecidos há algumas décadas a associação entre polímeros e betões, ainda não é uma prática corrente ao nível da indústria da construção em Portugal, a explicação para isso passa por um lado pelo facto dos aditivos poliméricos terem um custo substancial e por outro, pelo facto de só recentemente se começar a acentuar a necessidade de construir para a durabilidade. Como é sabido, até há bem pouco tempo a principal preocupação dos agentes do sector da construção passavam quase exclusivamente, por garantir que o betão cumprisse requisitos de resistência à compressão. Contudo, a recente entrada em vigor da nova Regulamentação sobre betões e ligantes

hidráulicos, analisada pelos autores em artigo anterior [1], iniciou um novo ciclo onde a durabilidade entrou definitivamente na ordem do dia. O presente artigo pretende por isso contribuir para a divulgação de novas formas de melhorar a durabilidades do betão, no caso vertente pela utilização de polímeros.

2. Betões com polímeros. Retrospectiva, características e propriedades.

A utilização de polímeros em betões, remonta a 1923 quando pela primeira vez foi patenteado um betão para pavimentos contendo látex natural, sendo que o cimento portland era utilizado como filler. Somente em 1924 é que seria emitida a primeira patente sobre betões de ligantes hidráulicos modificados com polímeros [2]. Foi contudo na década de 50, que se assistiram às primeiras utilizações de betões modificados com polímeros, nomeadamente na reabilitação de estruturas de betão [3]. As referências a betões e a polímeros misturam por vezes conceitos que importa desde logo clarificar. Os betões modificados com polímeros, também designados por "polymer modified concrete" - PMC ou por "polymer cement concrete" - PCC, são compostos por agregados e por uma matriz ligante onde coexistem fases geradas pela hidratação do cimento portland em conjunto com fases poliméricas.

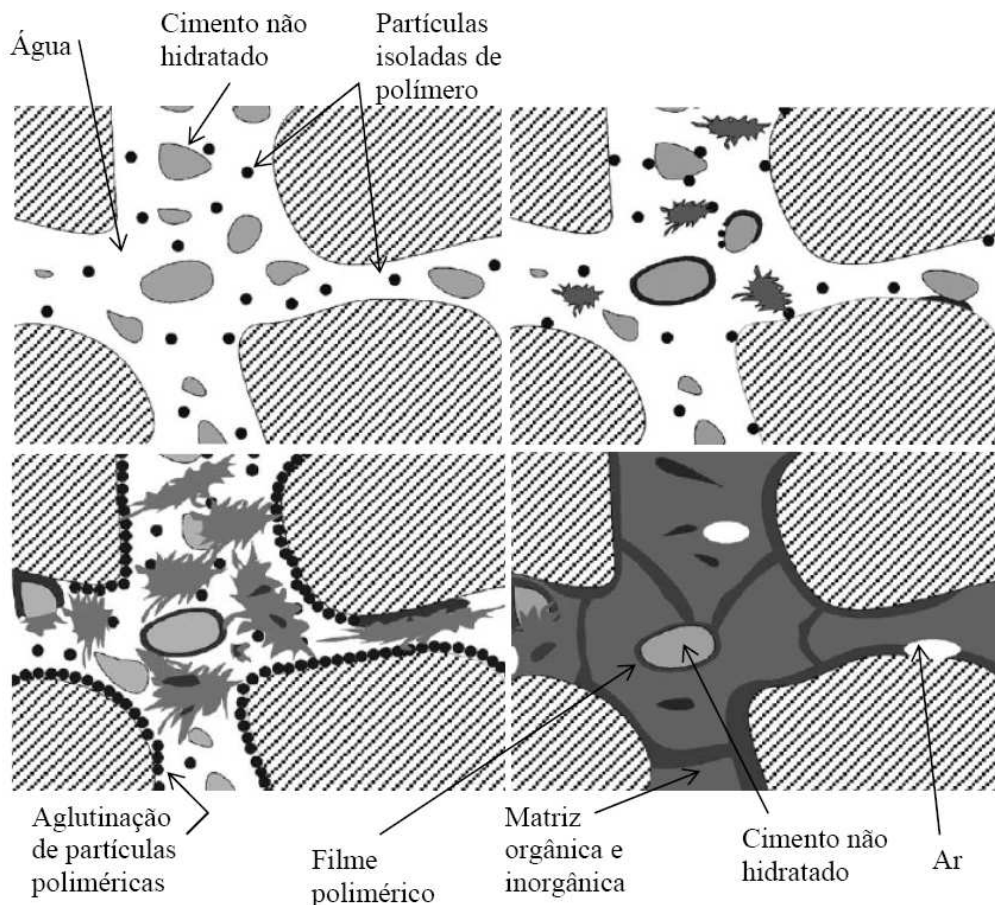


Figura 1 – Etapas da hidratação de pastas de cimento com polímeros [5]

Já o grupo de betões designado por “polymer impregnated concrete” - PIC, designa os betões que são impregnados por um monómero de baixa viscosidade, usualmente metilo de metacrilato, por forma a colmatar a sua estrutura porosa. Quanto aos betões compostos por agregados e por uma matriz polimérica sem cimento portland, recebem usualmente a designação de “polymer concrete” - PC [4]. Durante o endurecimento dos betões modificados com polímeros tem lugar a hidratação do cimento portland e nalguns casos também ocorre a formação de um filme polimérico. A natureza e a extensão destes fenómenos estão no entanto dependentes da razão polímeros sólidos/cimento (P/C). Quando a razão P/C é baixa, a hidratação do cimento é preponderante e os produtos de hidratação, crescem através da matriz polimérica. Já por outro lado se a razão P/C é elevada, a matriz polimérica não é interrompida pelos produtos de hidratação do cimento, resultando num material menos frágil e menos susceptível à ocorrência de fendilhação. Alguns autores [5] descrevem o mecanismo de hidratação de ligantes com cimento portland e polímeros em 4 etapas (Figura 1): 1^a- Após a mistura da água e dos sólidos, começam por formar-se agulhas de etringite (Fig. 1-a); 2^a – As partículas poliméricas interagem

com os agregados e com o cimento e se houver lugar a cura seca, inicia-se a formação de filme polimérico em zonas pontuais (Fig. 1-b). 3^a – A hidratação prossegue e pode haver aglutinação de partículas poliméricas (Fig. 1-c); 4^a – A hidratação continua a ocorrer, acompanhada de formação de filme (Fig. 1-d). Os mesmos autores analisaram a influência do tipo de cura dos betões modificados com polímeros, observando que durante a cura húmida não há formação de filme polimérico, a qual só ocorre no momento em que se inicia um período de cura a seco, pelo que recomendam que estes betões sejam sujeitos a cura húmida durante 28 dias, seguido de um período de cura a baixa humidade para formação do filme polimérico. A presença de filme polimérico no interior dos poros contribui para explicar o menor nível de porosidade dos betões modificados com polímeros [6]. Também outros autores confirmam níveis de porosidade bastante inferiores aos obtidos em betões correntes [7]. No caso dos betões modificados com polímeros, estes adjuvantes são adicionados ao betão durante a fase da amassadura, normalmente em forma de uma suspensão coloidal de látex, em pó, ou como polímeros solúveis em água ou líquidos, sendo que a literatura refere como mais usualmente utilizados os polímeros de estireno-

butadieno (SBR), de ester-poliacrilico (PAE), polietileno de acetato vinilico (EVA). Devido ao efeito plastificante dos polímeros, estes betões podem ser executados com menos água comparativamente aos betões correntes. A literatura revela também que em regra apresentam um tempo de presa superior aos betões correntes [8], a qual se fica a dever a causas diversas, entre as quais se inclui a formação de uma membrana de polímero em torno das partículas de cimento.

3. Durabilidade dos betões com polímeros.

3.1 Adição de polímeros durante a fase da amassadura

Os betões modificados com polímeros caracterizam-se por apresentarem uma durabilidade superior aos betões correntes, aferida em ensaios resistência ao ataque de ácidos [6], resistência a acções de gelo-degelo [9], resistência à difusão de cloretos [10]. As explicações para essa diferença de comportamento ficam a dever-se por um lado, a um menor nível de porosidade pela formação de um filme polimérico no interior dos poros [11] e a uma menor permeabilidade à água [12]. Alguns autores [6], referem valores de absorção de água a variar entre 0,8% (28 dias) e 0,4% (90 dias) para betões modificados com látex de estireno-butadieno, que comparam muito favoravelmente com valores de 4,3% e 3,8% em betões correntes. Ao nível do interface pasta-agregado, alguns autores confirmam uma redução da espessura do interface, que podem ir de 30 a 70% [12] e também uma alteração da natureza dos produtos de hidratação, na zona do interface, observando-se uma redução da quantidade da fase de hidróxido de cálcio [13]. Por outro lado, os betões modificados com polímeros apresentam também uma microestrutura mais densa e um menor nível de fendilhação já que os filmes poliméricos actuam como “armaduras” internas contrariando tensões de tracção (Figura 2).

3.1 Utilização de polímeros para impregnação dos betões

A utilização de polímeros na impregnação da superfície exterior dos betões constitui uma outra variante que contribui para o aumento da durabilidade destes materiais. Alguns autores constataram que a impregnação contribui inequivocamente para a redução da absorção de água e da difusão de cloretos do betão [15]. Já outros comprovam que a utilização desta modalidade permite reduções da profundidade de carbonatação entre 58 a 85%, estes autores constataram ainda que enquanto os provetes não revestidos se desintegraram totalmente após 250 ciclos de gelo-degelo, os provetes impregnados permaneceram intactos muito para além disso [16]. Como é evidente a eficácia da impregnação é função da quantidade e do tipo de polímero utilizado na impregnação, bem assim como do número de camadas utilizadas. Investigações sobre este aspecto particular revelam que por exemplo a utilização de 3 camadas de impregnação reduz em 50% a permeabilidade aos cloretos comparativamente à utilização de uma única camada [17]. Regra geral, quando se aumenta a concentração do polímero torna-se mais difícil a penetração no interior do betão, embora uma maior densidade seja mais eficaz na redução da permeabilidade.

4. Resultados experimentais

Apresentam-se nesta secção resultados de investigações levadas a cabo sobre o desempenho de betões impregnados ou aditivados com polímeros, as quais se revelaram bastante promissoras. Na Figura 3 apresentam-se imagens de provetes de betão com e sem aditivo polimérico, onde é bem patente a eficácia da utilização deste aditivo na melhoria da durabilidade dos betões aferida neste caso pela redução da difusão de cloretos [18]. Já na Figura 4 apresentam-se resultados sobre o desempenho de betões modificados com adição de dois polímeros em termos de durabilidade,

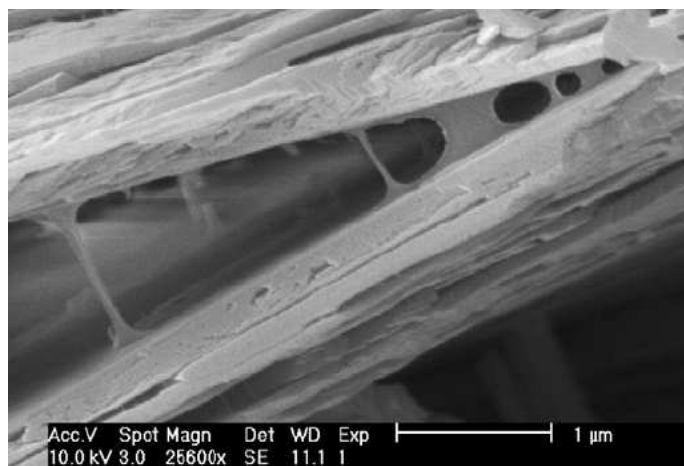
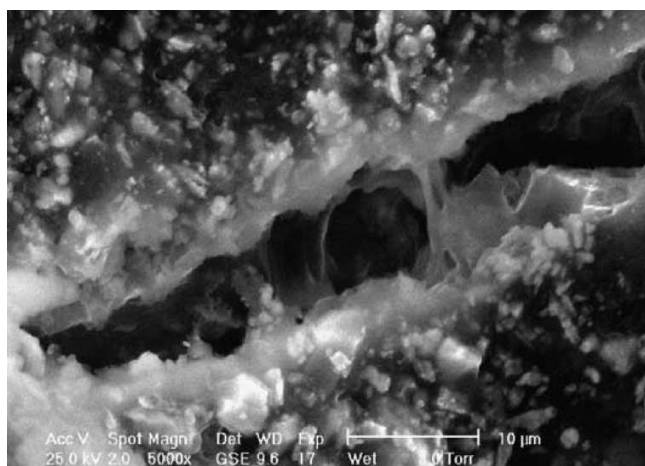


Figura 2 – Imagens da microestrutura de betões modificados com polímeros: a) Filme polimérico contrariando a abertura de uma fissura no betão [5]; b) Cristais de hidróxido de cálcio “ligados” por filme polimérico [14].

sendo que esta foi aferida em termos do comportamento à água, através de ensaios de absorção por imersão, de absorção de água por capilaridade e de profundidade de penetração de água sob pressão. Os resultados apresentados constituem somente uma parte da investigação e no caso em apreço respeitam a estireno-butadieno, sendo um em látex (PA) e o outro uma emulsão (PB).

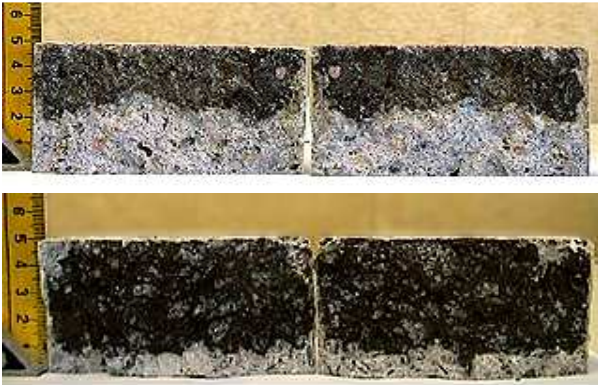


Figura 3 – Profundidade de penetração de cloretos. Provetes de betão com e sem adição de estireno-butadieno [18]

No Quadro 1 apresenta-se a composição de alguns betões utilizados na referida investigação.

Quadro 1 – Composição dos betões [19]

	Betão Ref ^a	PA_10%	PB_10%
Cimento (Kg)	337,7	337,7	337,7
Areia Fina (Kg)	456,3	456,3	456,3
Areia Grossa (Kg)	456,3	456,3	456,3
Brita (Kg)	912,6	912,6	912,6
Plastificante (l)	2,251	-	-
Polímero (l)	-	88,87	93,81
Água (l)	192,1	137	132,1
A/C	0,576	0,569	0,569
P/C	-	0,10	0,10

Os resultados indicam um elevado desempenho, quer para a permeabilidade à água quer para a capilaridade. Para a permeabilidade água as reduções relativamente ao betão de referência são respectivamente de 49% para o betão com o polímero em látex (PA) e de 72% para o betão com o polímero em emulsão (PB). Já para o ensaio de absorção de água por capilaridade, a redução é 52%, sendo a mesma para os dois polímeros utilizados.

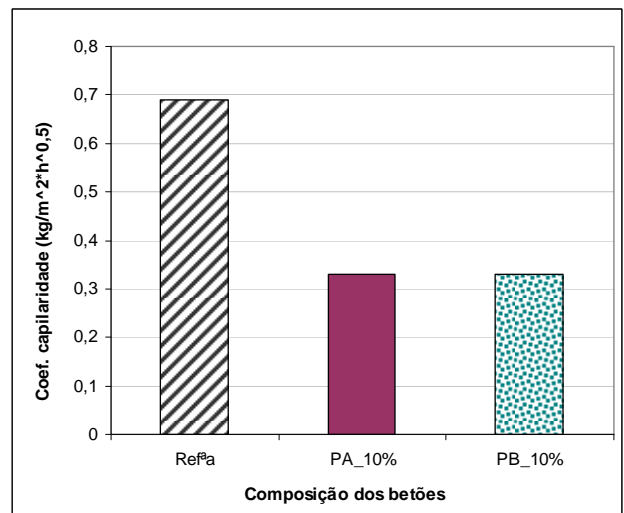
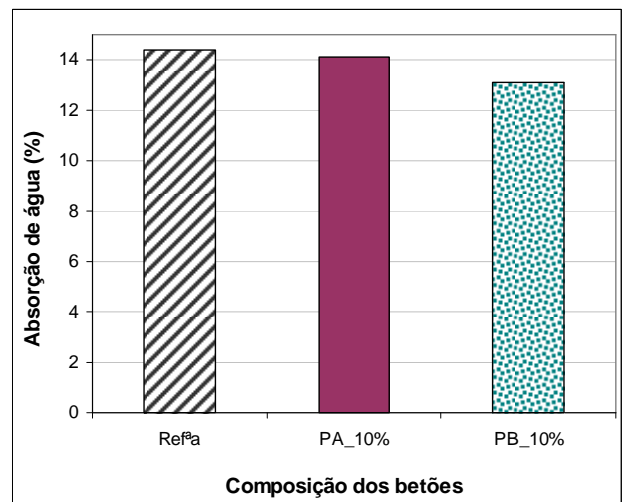
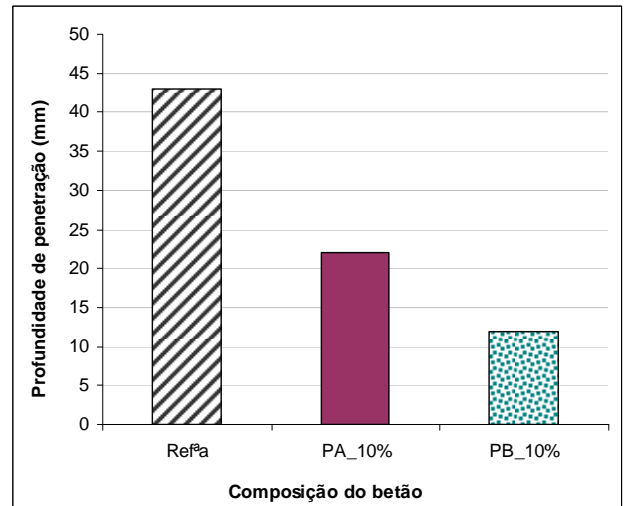


Figura 4 – Betões modificados com estireno-butadieno:

a) Permeabilidade à água; b) Absorção de água por imersão; c) Coeficiente de capilaridade [19]

Contudo, e por outro lado os betões modificados com polímeros não registam alterações substanciais em termos de absorção de água por imersão, o que quer dizer que a adição de polímero faz sentir-se ao nível da estrutura interna e menos em termos da porosidade aberta. Relativamente á variante de impregnação de

betões com polímeros, resultados parciais de outras investigações são apresentados na Figura 5 e respeitam ao desempenho de argamassas impregnadas com polímeros, em termos da sua redução de massa após imersão em ácido sulfúrico durante 56 dias.

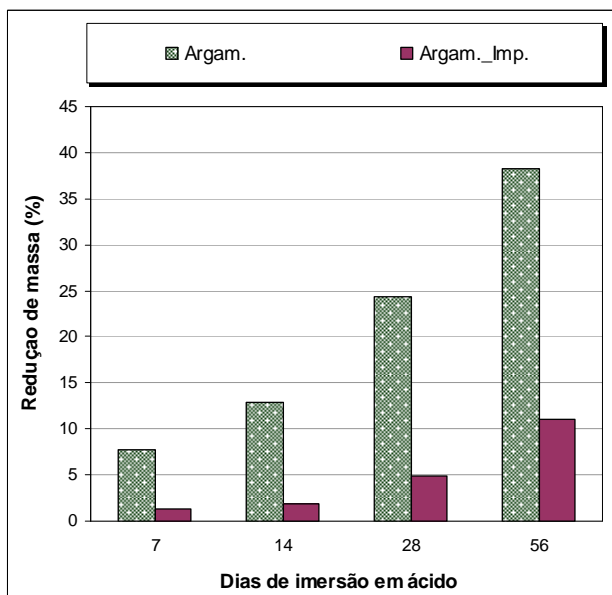


Figura 5 – Perda de massa por imersão em ácido sulfúrico [20]

Os resultados são inequívocos sobre o aumento da durabilidade da argamassa após a sua impregnação com polímeros. E se é facto que o comportamento de uma argamassa não é similar ao de um betão, por via das características particulares da interface pasta agregado, também não é menos verdade que ainda assim os resultados são bastante promissores do desempenho dos betões. Um aspecto fundamental em termos da utilização de betões com polímeros diz respeito à viabilidade económica dessa opção. Investigações levadas a cabo sobre essa questão, concluem que para a indústria da pré-fabricação a opção pela impregnação de betões com polímeros é muito mais económica do que a opção pela adição de polímeros durante a fase de amassadura [21].

5. Conclusões

Construir para a durabilidade constitui um imperativo que deve nortear a indústria da construção com vista a uma maior sustentabilidade, sendo que a utilização de betões com polímeros aditivados ou impregnados constitui inequivocamente uma forma de

contribuir para uma maior durabilidade daqueles materiais.

6. Referências

- [1] Torgal, F. M. Alves S. P.; Jalali, Said – A durabilidade do betão de acordo com a norma NP EN 206-1: 2007. Revista Betão. APEB 45-53, 2008.
- [2] Ohama, Y. – Polymer-based admixtures. Cement and Concrete Composites Vol.20, pp.189-212, 1998.
- [3] Storte, M – Látex estireno-butadieno. Aplicação em concretos de cimento polímero. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de S. Paulo, 1991.
- [4] Fowler, D.W. – Polymers in concrete: a vision for the 21st century. Cement and Concrete Composites Vol. 21, pp.449-452, 1999.
- [5] Gemert, D.; Czarnecki, L.; Maultzsch, M.; Schorn, H.; Beeldens, A.; Lukowski, P.; Knapen, E., - Cement concrete and concrete-polymer composites: Two merging worlds. A report from 11th ICPC Congress in Berlin, 2004. Cement and Concrete Composites Vol. 27, 926-933, 2005.
- [6] Shaker, F.A; El-Dieb, A.S.; Reda, M.N. - Durability of styrene-butadiene latex modified concrete. Cement and Concrete Research Vol. 27, 711-720, 1997.
- [7] Rossignolo, J.- Avaliação da porosidade e do teor de CH de pastas de cimento portland com sílica ativa e látex SBR. Revista Matéria Vol.10, 437-442, 2005.
- [8] Barluenga, G.; Hernandez-Olivares, F. – SBR látex modified mortar rheology and mechanical behaviour. Cement and Concrete Research Vol.34, pp.527-535, 2004.
- [9] Chmielewska, B. – Adhesion strength and other mechanical properties of SBR modified concrete. 12th International Congress on Polymers in Concrete, Chuncheon, Korea, pp.157-166, 2007.
- [10] Yang, Z.; Shi, X.; Creighton, A.; Peterson, M., - Effect of styrene-butadiene rubber latex on the chloride permeability and microstructure of Portland cement mortar. Construction and Building Materials Vol. 23, 2283-2290, 2009.
- [11] Neelamegan, M.; Dattatreya, J.; Harish, K.- Effect of latex and fiber addition on mechanical and durability. Properties of sintered fly ash lightweight aggregate concrete mixtures. 12th International Congress on Polymers in Concrete, Chuncheon, Korea, pp.113-121, 2007.
- [12] Rossignolo, J. – Avaliação da zona de transição interfacial pasta-agregado leve em concretos com sílica ativa e látex SBR. Revista Matéria Vol.12, pp.532-540, 2007.
- [13] Rossignolo, J.A.R. – Interfacial interactions in concretes with silica fume and SBR latex. Construction and Building Materials Vol.23, pp.817-821, 2009.
- [14] Knapen, E.; Gemert, V. – Cement hydration and microstructure formation in the presence of water-soluble polymers. Cement and Concrete Research Vol.39, pp. 6-13, 2009.
- [15] Almusallam, A.; Khan, F.; Dulajjan, S.; Al-Amoudi, O. – Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability. Cement and Concrete Composites 25, pp.473-481, 2003.
- [16] Ogawa, H.; Kano, K.; Mimura, T.; Nagai, K.; Shirai, A.; Ohama, Y. – Durability performance of barrier penetrants on concrete surfaces. 12th International Congress on Polymers in Concrete, Chuncheon, Korea, pp.373-382, 2007.
- [17] Midorikawa, T.; Ishikawa, I. – Effect of water-repellent treatment of concrete tested by migration. 12th International Congress on Polymers in Concrete, Chuncheon, Korea, pp.411-420, 2007
- [18] Torgal, F. M. Alves S. P.; Jalali, Said - Compressive strength, water penetration and chloride diffusion of polymer-modified sensing concrete (PMSC) Construction and Building Materials (submitted)
- [19] Torgal, F. M. Alves S. P; Jalali, Said – Resistência mecânica e durabilidade de betões modificados com polímeros. Revista de Engenharia Civil da Universidade do Minho, nº 35, pp.5-12
- [20] Torgal, F. M. Alves S. P.; Jalali, Said - Resistência ao ataque por ácido sulfúrico de argamassas modificadas e impregnadas com polímeros. Revista Construlink - Estruturas e Construções, Vol. 8 nº 24, pp.15-23.
- [21] Torgal, F. M. Alves S. P.; Jalali, Said - Improving the resistance to sulphuric acid attack of precast concrete pipes with polymers. Technical and economic considerations. Construction and Building Materials Vol.23, 3485-3491.



F.Pacheco Torgal

Engenheiro Civil Sénior, investigador do Grupo de Construção Sustentável da Unidade C-TAC da Universidade do Minho. Autor e co-autor de 135 publicações em revistas e conferências, onde se incluem 34 artigos em revistas internacionais, sendo 20 daquelas listadas no ISI-SCI com 84 citações, o que corresponde a um índice-h=6 (email: torgal@civil.uminho.pt)



Said Jalali

Professor Catedrático Aposentado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, continuando ainda como investigador do C-TAC. Autor e co-autor de 270 publicações em revistas e conferências, incluindo 29 artigos em revistas internacionais ISI-SCI, o que corresponde a um índice-h=5. (email: said@civil.uminho.pt).